



BIOMAS E AGRICULTURA OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Organizadores

Evaldo Ferreira Vilela | Geraldo Magela Callegaro | Geraldo Wilson Fernandes



ACADEMIA
BRASILEIRA
DE CIÊNCIAS



FAPEMIG

BIOMAS E AGRICULTURA

oportunidades e desafios

Biomass e desenvolvimento sustentável
Agroecologia e serviços ecossistêmicos
Água, solo, fauna e flora
Mudanças climáticas, agroenergia e aquicultura
Instrumentação e conexão com o setor privado
Cadeias produtivas agropecuárias
Prioridades de pesquisa e inovação

© Direitos autorais, 2019, de organização, de Academia Brasileira de Ciências
Rua Anfilóbio de Carvalho 29 - 3º Andar | 20030-060 - Rio de Janeiro-RJ, Brasil
Tel.: +55 (21) 3907-8100 | www.abc.org.br

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG
Av. José Cândido da Silveira, 1500 | Bairro Horto | CEP 31.035-536 | Belo Horizonte,
MG, Brasil | Tel.: +55 (31) 3280-2105 | www.fapemig.br

© Direitos de publicação reservados por Academia Brasileira de Ciências e Fundação de
Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

Organizadores

Evaldo Ferreira Vilela

Geraldo Magela Callegaro

Geraldo Wilson Fernandes

Diagramação

Mary Paz Guillén

Clarice Pamplona

Revisão

Edições Urbanas

CIP – Catalogação na Publicação

Elaborada pela bibliotecária Gabriela Faray (CRB7-6643)

B615 Biomás e agricultura : oportunidades e desafios / organizadores:
Evaldo Ferreira Vilela, Geraldo Magela Callegaro, Geraldo
Wilson Fernandes. – Rio de Janeiro : Vertente edições, 2019.
304p. ; 23cm.

ISBN 978-85-63100-15-3

1. Biomás – Brasil. 2. Agricultura - Brasil. 3. Meio Ambiente.
I. Vilela, Evaldo Ferreira. II. Callegaro, Geraldo Magela. III.
Fernandes, Geraldo Wilson. IV. Título.

CDD – 631.52

O conteúdo deste livro é autoral. Poderá ser utilizado em outras publicações citando a referência.

BIOMAS E AGRICULTURA

oportunidades e desafios

Biomass e desenvolvimento sustentável
Agroecologia e serviços ecossistêmicos
Água, solo, fauna e flora
Mudanças climáticas, agroenergia e aquicultura
Instrumentação e conexão com o setor privado
Cadeias produtivas agropecuárias
Prioridades de pesquisa e inovação

Organizadores

Evaldo Ferreira Vilela
Geraldo Magela Callegaro
Geraldo Wilson Fernandes

Rio de Janeiro, 2019



APOIO INSTITUCIONAL DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS



MEMBROS INSTITUCIONAIS DA ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS



APRESENTAÇÃO

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estima que, em 2050, a população mundial se aproximará de 10 bilhões de pessoas e a produção de alimentos precisará acompanhar esse crescimento, com um aumento global de cerca de 50%. O crescimento da oferta de grãos e carne através da expansão da fronteira agrícola não pode ser sustentado. Preservar a biodiversidade do nosso planeta é prioridade crescente e, para alcançar a sustentabilidade em um cenário de aumento da produção de alimentos, teremos que nos valer da mesma quantidade de terra e menores quantidades de água, energia e produtos químicos.

A Academia Brasileira de Ciências (ABC), desde sua fundação, em 1916, tem buscado contribuir para o estudo de temas de primeira importância para a sociedade, visando dar embasamento e subsídios científicos para a formulação de políticas públicas. Neste sentido, é com grande satisfação que apresentamos a publicação “Biomassas e Agricultura: oportunidades e desafios”. A intensificação sustentável da produção de alimentos se mostra fundamental: ciência, tecnologia e inovação serão protagonistas nesse processo.

O presente trabalho é uma versão ampliada do documento das Ciências Agrárias no Projeto de Ciência para o Brasil, obra que envolveu mais de 180 cientistas na redação de 16 capítulos analíticos e propositivos que expõem o cenário atual da inovação tecnológica e das pesquisas em várias áreas do conhecimento, propondo políticas públicas para que o Brasil possa se beneficiar da fronteira do conhecimento. Essa e todas as outras publicações da Academia Brasileira de Ciências estão disponíveis gratuitamente no site da ABC: www.abc.org.br.

Agradeço a inestimável atuação dos coordenadores do grupo de pesquisadores da área de Ciências Agrárias que contribuiu para o Projeto de Ciência para o Brasil, Elíbio Leopoldo Rech Filho e Evaldo Ferreira Vilela, bem como dos organizadores do presente volume, Geraldo Magela Callegaro e Geraldo Wilson Fernandes, além do próprio Evaldo Ferreira Vilela. Em nome deles, expresso a minha gratidão a todos os autores envolvidos. Por fim, destaco, também, a participação fundamental da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Membro Institucional da ABC, que apoiou os trabalhos do grupo de estudos e a publicação deste livro.

Luiz Davidovich
Presidente da Academia Brasileira de Ciências

PREFÁCIO

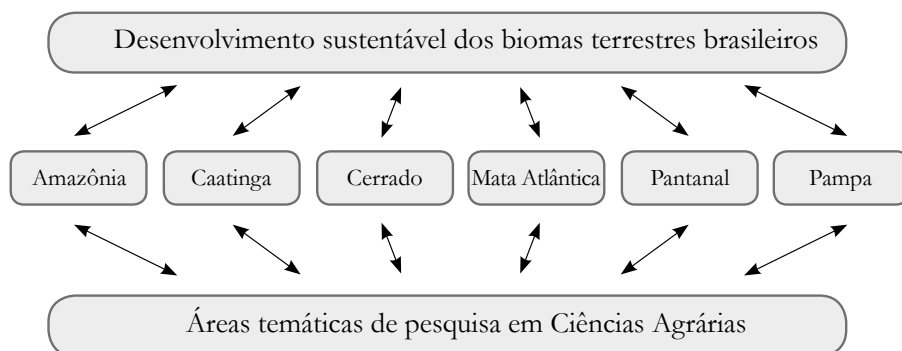
O Brasil dispõe de uma das maiores reservas de recursos naturais do planeta, com ampla biodiversidade, áreas para produção agrícola, pecuária e florestal, inúmeras bacias hidrográficas e uma rica diversidade edafoclimática consolidada em seis importantes biomas terrestres e um bioma marinho – sendo que esse último não se encontra incluído no escopo deste trabalho. Nas últimas décadas, o país se tornou um dos maiores produtores agropecuários e florestais do mundo pelo efeito da expansão da área cultivada e, principalmente, pelo aumento da produtividade, avanço científico e tecnológico alcançado pelas instituições nacionais de ciência, tecnologia e inovação (CT&I), articuladas com universidades e outras instituições nacionais e internacionais de CT&I no campo das Ciências Agrárias.

Em busca de subsídios para “Projeto de Ciência para o Brasil”, a Academia Brasileira de Ciências (ABC) confiou ao Prof. Evaldo Ferreira Vilela (UFV/FAPEMIG) e ao Dr. Elíbio Leopoldo Rech Filho (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia) a missão de coordenar um trabalho de identificação de oportunidades e desafios para a pesquisa em Ciências Agrárias. Esse trabalho foi, então, expandido, considerando-se ainda as características dos biomas nacionais, nos quais se desenvolve a agricultura, e dele resultou esta edição de conteúdo, aos cuidados de Evaldo Ferreira Vilela, Geraldo Magela Callegaro e Geraldo Wilson Fernandes, com a colaboração de renomados especialistas brasileiros.

A primeira parte deste livro trata das oportunidades e desafios de pesquisa nos seis biomas terrestres brasileiros e das interações entre cada um deles (Figura 1), enquanto a segunda parte cobre as principais oportunidades e desafios de pesquisa, incluindo as restrições institucionais, no contexto das áreas temáticas, em apoio ao desenvolvimento sustentável dos biomas. Por seu turno, o desenvolvimento sustentável dos biomas retroalimenta oportunidades e desafios, gerando sinergias entre as áreas temáticas e abrindo espaços para o desenvolvimento sustentável do setor agrossilvipastoril do país.

Para assegurar a expansão mais sustentável da agricultura comercial e de subsistência e o aproveitamento sustentável dos biomas, a médio e a longo prazo, o uso de tecnologias amigáveis é fundamental. Sua utilização evita a superexploração dos ecossistemas, assegurando-se a sustentabilidade, em benefício das gerações atuais e futuras. São essas tecnologias amigáveis que permitem evitar atingir os limites que levam necessariamente à desertificação, à salinização e à mineralização dos solos, garantindo, também, a estabilidade e a qualidade dos lençóis freáticos e protegendo aquíferos, além de, igualmente, buscar a estabilida-

Figura 1: Inter-relações: desenvolvimento sustentável dos Biomas e Ciências Agrárias



Fonte: Figura preparada pelos organizadores

de da fauna e da flora – tão importantes para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos inerentes a cada um desses biomas.

Atuando nesse marco, o país estará alinhado com a agenda internacional para o uso sustentável dos recursos naturais, dos ecossistemas existentes e com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, 2016-2030, no contexto do acordo global das Nações Unidas¹. E, num contexto mais amplo, seguirá orientado pelas pautas e decisões da Conferência de Estocolmo, ou Conferência da Organização das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, de 1972; da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, conhecida como ECO-92, realizada no Rio de Janeiro, nesse ano, com o objetivo de conciliar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação e proteção dos ecossistemas da Terra; do Protocolo de Quioto, de 1997; da Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, de 2015 e da 21ª Sessão Anual da Conferência das Partes (COP 21, do inglês *Conference of the Parties*) atualizando metas de acordo com a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC, do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*), de 1992, entre outras tendências globais.

É nesse cenário dos vários acordos multilaterais internacionais sobre sustentabilidade, dos quais o Brasil é signatário, que este livro coloca a sustentabilidade como prioridade, no centro da produção agropecuária, para cada um dos biomas brasileiros.

Embora o tema *Oportunidades e Desafios de Pesquisa em Ciências Agrárias* seja complexo, este livro, além de se constituir em uma contribuição ao tema, aprofunda o

¹ Ver Portal da ONU para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/sustainabledevelopmentgoals>. Acesso em: 22 fev. 2018.

diagnóstico das restrições e dos potenciais para o aproveitamento sustentável dos recursos naturais dos biomas, com as tecnologias geradas e adaptadas pelas áreas temáticas de pesquisa. Contempla, também, as prioridades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) preparadas pela Embrapa, para o ciclo 2014-2034, que também se concentra no uso sustentável dos biomas ao buscar o aumento da produção e da produtividade das atividades agrossilvipastoris.

Assim, a revisão e a ampliação periódicas das análises e diagnósticos, com identificação de oportunidades e desafios para novas pesquisas em Ciências Agrárias, com a participação das instituições de ensino, pesquisa e extensão do país, corroboram a otimização dos esforços e dos recursos disponíveis para o aumento sustentável da produção agropecuária, em harmonia com os acordos internacionais firmados, no contexto das organizações internacionais bilaterais e multilaterais.

AGRADECIMENTOS

Às Universidades Federais e Estaduais de Minas Gerais, pela disponibilização de vários de seus professores para apoiar na redação de capítulos específicos.

À FAPEMIG, pelo apoio editorial e logístico para coleta de dados e pela bolsa concedida ao Dr. Geraldo Magela Callegaro para apoiar na organização deste livro.

À Academia Brasileira de Ciências – ABC, pela oportunidade de participar da iniciativa “Projeto de Ciência para o Brasil”, no Capítulo das Ciências Agrárias, o que nos levou a esta obra.

À Embrapa, pela disponibilização de dados e informações e pelo apoio de especialistas na redação de alguns capítulos.

Ao Dr. Mário Ramos Vilela, pelo apoio na paciente mobilização de profissionais dos diferentes ramos das Ciências Agrárias e na organização de uma versão preliminar deste livro.

Ao INPA e ao INPE, pela disponibilização de seus pesquisadores para apoiar a redação de capítulos específicos.

Aos autores, pela dedicação e elevado espírito de colaboração.

Aos que nos auxiliaram no dia a dia: Claudia Cristina Couto dos Santos, Isabella Colen Ruas, Luciene Marinho da Silva, Vantuir Francisco de Oliveira e Joenilma Nogueira Leite.

Evaldo Ferreira Vilela
Geraldo Magela Callegaro
Geraldo Wilson Fernandes

SUMÁRIO

Introdução.....	15
Síglas.....	19

BIOMAS BRASILEIROS

1.	Biomass e agricultura no Brasil.....	23
1.1	Caracterização geral.....	23
1.2	A longa história da ocupação dos biomas.....	25
1.3	A expansão agropecuária nos biomas.....	28
	Referências bibliográficas.....	30
2.	Bioma Amazônia: oportunidades e desafios de pesquisa para produção de alimentos e outros produtos.....	31
2.1	Introdução.....	31
2.2	Caracterização do bioma	34
2.3	Diagnóstico das principais atividades desenvolvidas no bioma.....	40
2.4	Diagnóstico das oportunidades e dos desafios de pesquisa em Ciências Agrárias e Ambientais.....	47
2.5	Considerações finais.....	50
	Referências bibliográficas.....	50
3.	Bioma Cerrado: agricultura no Cerrado brasileiro, histórico e desafios da agricultura ambientalmente sustentável.....	55
3.1	Aspectos gerais.....	55
3.2	Ocupação agrícola do Cerrado.....	56
3.3	Efeitos da ocupação agrícola sobre o meio ambiente.....	58
3.4	Temas prioritários para ocupação ambientalmente sustentável.....	60
3.5	Considerações finais.....	62
	Referências bibliográficas.....	63
4.	Bioma Caatinga: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável.....	65
4.1	Características gerais.....	65
4.2	Agropecuária na Caatinga e seus efeitos sobre o meio ambiente.....	67
4.3	Oportunidades e desafios de pesquisa para a sustentabilidade.....	75
4.4	Considerações finais.....	77
	Referências bibliográficas.....	77

5.	Bioma Mata Atlântica: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento ambiental sustentável.....	81
5.1	Ecosistemas da Mata Atlântica.....	81
5.2	Clima, solo e hidrografia.....	84
5.3	Cobertura vegetal e conservação da biodiversidade.....	86
5.4	Ocupação e uso do solo.....	92
5.5	Oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável.....	93
	Referências bibliográficas.....	94
6.	Bioma Pantanal: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável.....	99
6.1	Aspectos gerais e hidrológicos.....	99
6.2	Solos e clima.....	102
6.3	Vegetação.....	105
6.4	Recursos pesqueiros.....	106
6.5	Fauna.....	109
6.6	Produção pecuária.....	110
6.7	Atuação da Embrapa Pantanal com Instituições de Pesquisa.....	113
	Referências bibliográficas.....	116
7.	Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável.....	123
7.1	Características gerais do bioma.....	123
7.2	Diagnóstico dos impactos das atividades agropecuárias.....	129
7.3	Prioridades de ações de pesquisa para a sustentabilidade das atividades agropecuárias.....	132
	Referências bibliográficas.....	136

AGRICULTURA – ÁREAS TEMÁTICAS

8.	Genética e melhoramento de plantas.....	141
8.1	Introdução.....	141
8.2	Re-sequenciamento e genotipagem para seleção assistida, horizonte 2025.....	143
8.3	Sistema de controle de recombinação gênica e eliminação genômica, horizonte 2030.....	144
8.4	Fenotipagem dinâmica no ciclo da planta, horizonte 2040.....	145
8.5	Conclusões.....	146
	Referências bibliográficas.....	148

9.	Segurança alimentar, sustentabilidade e produção de proteína de origem animal.....	149
9.1	Características gerais.....	149
9.2	Sanidade animal e doenças transmitidas por alimentos.....	151
9.3	Produção animal e sustentabilidade.....	154
9.4	Impactos sobre a mudança de hábito alimentar.....	157
9.5	Perspectivas.....	159
9.6	Conclusões.....	160
	Referências bibliográficas.....	161
10.	Genética, sanidade e produção animal.....	163
10.1	Contribuição da genética para o desenvolvimento animal.....	163
10.2	Bovinocultura.....	165
10.3	Avicultura.....	167
10.4	Suinocultura.....	168
10.5	Caprinocultura e ovinocultura.....	169
10.6	Sanidade dos sistemas de produção pecuários.....	171
10.7	Entraves adicionais.....	172
10.8	Conclusões.....	173
	Referências bibliográficas.....	176
11.	Genética e conservação da biodiversidade.....	179
11.1	Características gerais.....	179
11.2	Conclusões.....	182
	Referências bibliográficas.....	184
12.	Recursos dos ecossistemas: genética, produção de plantas e biodiversidade.....	185
12.1	Característica gerais.....	185
12.2	Produção de plantas.....	187
12.3	Genética.....	189
12.4	Biodiversidade.....	191
12.5	Conclusões.....	193
	Referências bibliográficas.....	194
13	Recurso água.....	197
13.1	Características gerais.....	197
13.2	Prioridades de pesquisa.....	198
13.3	Conclusões.....	200
	Referências bibliográficas.....	203

14	Recurso solos agrícolas.....	205
14.1	Agricultura, segurança alimentar e mudança climática.....	205
14.2	Importância dos solos nos ecossistemas.....	207
14.3	Solo fértil e solo produtivo.....	207
14.4	Desafios da baixa fertilidade dos solos tropicais.....	208
14.5	Matéria orgânica do solo versus resiliência dos agroecossistemas.....	209
14.6	Conclusões.....	212
	Referências bibliográficas.....	213
15	Recursos florestais.....	215
15.1	Características gerais.....	215
15.2	Florestas naturais.....	216
15.3	Florestas plantadas.....	216
15.4	Conclusões.....	218
	Referências bibliográficas.....	219
16	Aquicultura.....	221
16.1	Características gerais.....	221
16.2	Oportunidades e desafios de PD&I.....	222
16.3	Conclusões.....	224
	Referências bibliográficas.....	224
17.	Controle biológico, feromônios e interação planta-micro-organismos para o manejo integrado de pragas.....	225
17.1	Considerações gerais.....	225
17.2	Oportunidades e desafios de PD&I.....	226
	Referências bibliográficas.....	229
18	Agroenergia.....	231
18.1	Agricultura brasileira no século XXI.....	231
18.2	Perspetivas da agroenergia.....	233
18.3	Oportunidades e desafios de PD&I.....	235
	Referência bibliográfica.....	236
19	Mudanças climáticas.....	239
19.1	Aspectos gerais e oportunidades e desafios de PD&I.....	239
19.2	Conclusões.....	241
	Referências bibliográficas.....	242
20.	Eficiência das cadeias produtivas agrícolas.....	243
20.1	Características gerais.....	243
20.2	Oportunidades e desafios para PD&I.....	244

20.3	Considerações finais.....	249
20.4	Conclusões.....	250
	Referências bibliográficas.....	251
21.	Instrumentação, robótica, sensores, TI e Big Data.....	253
21.1	Instrumentação, conectividade e agricultura inteligente.....	253
21.2	Conclusões.....	258
	Referências bibliográficas.....	259
22.	Agricultura e interatividade com o setor privado.....	261
22.1	Situação geral.....	261
22.2	Evolução da agropecuária.....	262
22.3	Perspectivas tecnológicas.....	266
22.4	Conclusões.....	267
	Referências bibliográficas.....	269
23.	Rede Nacional de Pesquisa e Inovação para a	
	Agropecuária - RNPA: uma proposta.....	271
23.1	Introdução.....	271
23.2	Caracterização de Redes e Agronegócio.....	273
23.3	Proposta da Rede Nacional de Pesquisa e Inovação para a	
	Agropecuária.....	275
23.4	Considerações Finais.....	276
	Referências bibliográficas.....	277
	Apêndice 1 – Rede de inovação tecnológica para a defesa agropecuária.....	279
	Apêndice 2 – Tendências globais, oportunidades e desafios de inovações.....	281
24.	Desafios e oportunidades institucionais.....	283
24.1	Introdução.....	283
24.2	Desafios e oportunidades institucionais.....	283
	Referências Bibliográficas.....	289
	Apêndice 1 – Futuro da Agricultura Brasileira: Desdobramentos	
	Tecnológicos.....	291

INTRODUÇÃO

Este livro é uma iniciativa da Academia Brasileira de Ciências (ABC), em parceria com a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e fruto do “Projeto de Ciência para o Brasil”, também da ABC, com o apoio de pesquisadores de diversas instituições de ensino e pesquisa do Brasil.

A preparação do capítulo das Ciências Agrárias para a obra “Projeto de Ciência para o Brasil” foi coordenada pelo Professor Evaldo Ferreira Vilela, da UFV, presidente da FAPEMIG, e pelo Dr. Elibio Leopoldo Rech Filho, Pesquisador da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, ambos membros titulares da ABC e por Geraldo Magela Callegaro, Bolsista da FAPEMIG. A preparação dos capítulos do livro foi uma contribuição livre de autores especialistas nos principais temas das Ciências Agrárias. O trabalho de edição foi compartilhado entre os organizadores Dr. Geraldo Magela Callegaro, Bolsista em Desenvolvimento Econômico e Institucional, Professor Geraldo Wilson Fernandes, do Departamento de Biologia Geral da UFMG e Professor Evaldo Ferreira Vilela, da UFV. Assim, este livro é uma ampliação do capítulo das Ciências Agrárias do livro “Projeto de Ciência para o Brasil”.

Em cada um dos 24 capítulos dedicados aos biomas e às áreas temáticas, apresentam-se uma breve caracterização, um diagnóstico e as oportunidades e desafios para ações de pesquisa em Ciências Agrárias, como insumos para o “Projeto de Ciência para o Brasil” da ABC. Além, é claro, dos apêndices, que complementam o conteúdo do livro.

O segmento “Biomas” constitui-se de sete capítulos, sendo o primeiro uma introdução geral aos biomas brasileiros, enquanto os outros seis capítulos incluem a caracterização, o diagnóstico e as oportunidades e desafios para ações de pesquisa em Ciências Agrárias, para cada um dos biomas terrestres, conforme indicado a seguir:

O capítulo 1, Biomas e agricultura no Brasil, apresenta uma introdução ao tema dos biomas, no contexto mais amplo da sua ocupação histórica nos últimos cinco milênios. Os capítulos de 2 a 7 cobrem os seis biomas terrestres

brasileiros – Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa – apresentando uma análise da evolução do uso desses biomas e diagnosticando oportunidades e desafios para o desenvolvimento sustentável, tendo por base as explorações agrossilvipastoris em curso e suas perspectivas. Com vista à preservação dos ecossistemas e sob a perspectiva do uso sustentável dos recursos naturais, com especificidade de clima, solo, sistema hidrológico e biodiversidade de alta complexidade, são elencadas áreas prioritárias para ações de PD&I nas Ciências Agrárias.

O segmento das Áreas Temáticas constitui-se dos capítulos de 8 a 24, com 3 apêndices. Sobre cada área temática apresenta-se uma visão do estado atual do conhecimento nos temas, além da identificação de oportunidades e desafios para ações de pesquisa, com vista ao aumento sustentável da produção e produtividade agrossilvipastoril para o consumo interno e exportação.

Esse bloco de capítulos analisa as características das principais explorações agropecuárias, diagnosticando suas atuais oportunidades e desafios para o desenvolvimento sustentável, tendo por base as explorações agrossilvipastoris em curso e as suas perspectivas, com vista à preservação dos ecossistemas. Elencam áreas prioritárias para ações de PD&I em Ciências Agrárias para assegurar a exploração agropecuária sustentável, competitiva e equitativa para as gerações atual e as futuras. Consideram também temas especiais relacionados ao desenvolvimento de recursos naturais, incluindo aspectos especiais, como a produção de agroenergia, mudanças climáticas, tecnologias de comunicação e informação para a agricultura, eficiência das cadeias produtivas agropecuárias, bem como a conectividade da agricultura com o setor privado, com o intuito de otimizar as sinergias intra e intersetoriais. São identificados oportunidades e desafios para ações de PD&I, conducentes ao aumento sustentável da produção de alimentos, fibras e energia para o mercado interno e externo.

O capítulo 23 apresenta uma proposta para atualizar o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária e o capítulo 24 discorre sobre as principais restrições enfrentadas pelas instituições que se dedicam à pesquisa em Ciências Agrárias no Brasil.

Como complemento, foram inclusos ainda três apêndices, no capítulo 23, o apêndice 1, um exemplo de uma Rede de Inovação Tecnológica para a defesa agropecuária; no apêndice 2, apresentam-se as tendências globais, oportunidades e desafios de inovações; no capítulo 24, apêndice 1, encontra-se uma análise do futuro da agricultura brasileira: desdobramentos tecnológicos, preparada

pela EMBRAPA.

Assim sendo, este livro constitui-se uma fonte de consulta para futuras ações de PD&I, acessível ao público em geral, especialmente professores, pesquisadores e acadêmicos de cursos de graduação e pós-graduação em Ciências Agrárias, Ciências Biológicas e afins, que nele encontrarão uma valiosa referência e temas para pesquisa.

Elibio Leopoldo Rech Filho
Evaldo Ferreira Vilela

SIGLAS

ABAG	Associação Brasileira de Agronegócio
ABC	Academia Brasileira de Ciências
ABCcarb	Agricultura de Baixo Carbono
ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
ACV	Análises de Ciclo de Vida
ANVISA	Agência Nacional de Defesa e Vigilância Sanitária
APPs	Áreas de Preservação Permanente
ATCC	American Type Culture Collection
BID	Banco Interamericano do Desenvolvimento
BM	Banco Mundial
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAIEPAN	Programa de Prevenção e Controle da Anemia Infecciosa Equina no Pantanal Sul-Mato-Grossense
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBD	Convenção da Diversidade Biológica (Convention on Biological Diversity)
CCN	Carne Carbono Neutro
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
CJD	Doença de Creutzfeldt-Jakob
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNVC/MMA	Cadastro Nacional de Unidades de Conservação/MMA
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COP-21	XXI Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC)
CRIT	Centro Regional Integrado de Tecnologia
CRISPR	Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats
CSR/IBAMA	Centro de Sensoriamento Remoto/IBAMA
CTAGRO	Capacitação Científica e Tecnológica nas Áreas do Agronegócio
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
CTNBio	Comissão Técnica Nacional de Biossegurança
DEP	Diferença Esperada na Progenie
DIEESE	Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos

DTAs	Doenças Transmitidas por Alimentos
EEB	Encefalopatia Espongiforme Bovina
EFSA	Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERS	Economic Research Service/USDA
FAMASUL	Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso do Sul
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de MG
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FUNCATE	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais
FTSS	Floresta Tropical Sazonalmente Seca
GEE	Gases de Efeito Estufa
GWS	Genome-Wide Selection
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICTs	Instituições de Ciência e Tecnologia
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IGP-DI	Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
ILPF	Sistema Integrado Lavoura-Pecuária-Floresta
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INCT/MCTIC	Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia do MCTIC
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia do MCTIC
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IoT	Internet of Things
IRGA	Instituto Rio Grandense do Arroz
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre
IUCN	International Union for Conservation of Nature
JICA	Japan International Cooperation Agency
JCVI	J. Craig Venter Institute
LANAPRE	Laboratório de Referência Nacional de Agricultura de Precisão
LPAA	Lima-Paris Action Agenda
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MATOPIBA	Acrônimo para Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDS	Mapeamento Digital de Solos
MIP	Manejo Integrado de Pragas

MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
NDE	Nível de Dano Econômico
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OGM	Organismos Geneticamente Modificados
OIE	Organização Mundial da Saúde Animal
ONU	Organização das Nações Unidas
PANCs	Plantas Alimentícias Não Convencionais
PCBAP	Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)
PDA	Projeto de Proteção da Amazônia
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PFNM	Produtos Florestais Não Madeireiros
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PMDBBS	Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PPCDAm	Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PRODECER	Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados
PRODES	Coordenação-Geral de Observação da Terra
PSA	Peste Suína Africana
RIT DA	Rede de Inovação Tecnológica para Defesa Agropecuária
RNC	Registro Nacional de Cultivares
RNPA	Rede Nacional de Pesquisa e Inovação para a Agropecuária
SCPA	Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária
SCPESCA	Sistema de Controle de Pesca de Mato Grosso do Sul
SEMADE	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas
SGE	Secretaria de Gestão Estratégica da Embrapa
SNPA	Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária
SPD	Sistema de Plantio Direto
TAC	Termo de Compromisso de Conduta
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UFPA	Universidade Federal de Lavras
UFPEL	Universidade Federal de Pelotas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFV	Universidade Federal de Viçosa

UFSCarl	Universidade Federal de São Carlos
UMIP	Unidade Mista de Pesquisa da UFSC
UNESP	Universidade Estadual de São Paulo
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UNIPAMPA	Universidade do Pampa
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USDA-NASS	Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados
WWF	World Wildlife Fund

1

BIOMAS E AGRICULTURA NO BRASIL

Evaristo Eduardo de Miranda¹

1.1 Caracterização geral

Talvez a primeira imagem ou percepção que se tenha do monitoramento por satélites da agropecuária nacional é a sua enorme diversidade, resultado de relações sociais complexas e históricas entre os homens, por meio da natureza. A agricultura brasileira é plural. Constituída de muitas agriculturas, diferenciadas entre si por processos históricos, localização geográfica, sistemas de produção, condições socioeconômicas, ambientais e agrárias, origens e tradições dos produtores rurais, ela não admite generalizações, nem socioeconômicas, nem tecnológicas e ambientais.

Muitos estudos da agricultura brasileira interessam-se apenas pelo impacto ambiental dos sistemas de produção, sem considerar as áreas não exploradas, mantidas em vegetação nativa pelos produtores rurais. Os impactos e interações entre essas duas realidades, áreas exploradas e áreas preservadas, são permanentes e dinâmicos, positivos e negativos, têm uma longa história e variam muito em cada bioma.

Os biomas são um primeiro recorte possível da heterogeneidade da agricultura nacional em macroescala. Um bioma delimita um vasto território e não pode

¹ Doutor em Ecologia, Chefe Geral da Embrapa Monitoramento por Satélite.

ser confundido com uma formação vegetal, já que em seu interior pode ocorrer uma diversidade de ecossistemas, com vários tipos de vegetação em função de solos, topografia etc. Formações florestais, por exemplo, ocorrem em todos os biomas brasileiros, inclusive no Pampa (capões) e no Pantanal (cordilheiras).

O território brasileiro é constituído por seis grandes biomas continentais (Figura 1), todos conceitualmente definidos, mapeados e apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA): Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. O Mapa de Biomas do Brasil, em escala 1:5.000.000, faz parte da série “Mapas Murais” do IBGE, a qual inclui outros temas de base como relevos, solos, geologia, unidades de conservação federais, fauna e flora do país. Segundo o IBGE, “Os biomas servem como referência para o estabelecimento de políticas públicas diferenciadas e para o acompanhamento, pela sociedade, das ações implementadas”.

Figura 1. Mapa de Biomas do Brasil.



Fonte: IBGE, 2004.

Vários programas institucionais e projetos vinculados às políticas agrícolas e ambientais são baseados no recorte territorial dos biomas. Um dos exemplos mais significativo é o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.621 de 5/2012). Outros exemplos de políticas públicas diferenciadas baseadas em biomas são o Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado – Programa Cerrado Sustentável (Decreto nº 5.577 de 11/2005); o Projeto Corredores Ecológicos (Lei 11.428/06), nos biomas Mata Atlântica e Amazônia² e o Plano Agrícola e Pecuário, instrumento da política agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Há também projetos específicos desenvolvidos nos biomas, como é o Projeto Biomas, uma parceria entre a Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), com a participação de mais de trezentos pesquisadores e professores de diferentes instituições, atuando nos seis biomas brasileiros³, pelo prazo de nove anos. A tabela correspondente à área ocupada por cada bioma, expressa em km² (Tabela 1), e o Mapa dos Biomas do Brasil, do ano de 2004, são apresentados a seguir.

Tabela 1. Área dos biomas no território brasileiro.

Identificação	Biomas	Área (km ²)*	% Área Brasil
1	Amazônia	4.198.273	49,30
2	Cerrado	2.047.190	24,04
3	Mata Atlântica	1.110.456	13,04
4	Caatinga	829.436	9,74
5	Pampa	178.831	2,10
6	Pantanal	151.581	1,78
Total		8.515.767	100,00

Fonte: Projeção Cônica de Albers: SIRGAS, 2000.

*Valores calculados.

1.2 A longa história da ocupação dos biomas

A *terra brasilis* e seus biomas são habitados de muito longa data. A história dessa sucessão de povos, expansões e contrações em terras brasileiras nos últimos 15.000 anos, esconde-se em si mesma. Perguntas simples pairam sem respostas

2 Esse e outros projetos podem ser encontrados no Portal do MMA. Disponível em <http://www.mma.gov.br/agua/item/8272-programas-mma>. Acesso em 10 jun. 2018.

3 O sítio na internet do Projeto Biomas traz maiores detalhes. Disponível em: <http://www.projctobiomas.com.br/projeto>. Acesso em: 10 jun. 2018.

precisas. Quantos nativos habitavam o Brasil na chegada dos portugueses? As estimativas variam entre menos de um milhão a quatro milhões de indígenas ou nativos. Alguns falam de cinco milhões⁴. Assim, o impacto ambiental da presença humana no Brasil, em 1500, pode ser multiplicado por três ou cinco, segundo a estimativa adotada⁵. A diferença é enorme.

A natureza intacta, como imaginam alguns, no Brasil, só poderia ser considerada como tal até a chegada das primeiras populações humanas. E o primeiro povoamento⁶ da América do Sul data de mais de 15.000 anos. A partir desse momento, cuja data os arqueólogos tendem a multiplicar em diversos eventos, origens e a recuar no tempo⁷, progressivamente o espaço natural passa a ser objeto de uso, controle, acesso, exploração, mudança, disputa, transferência e transmissão. O espaço e a biodiversidade a ele associada passam a ser natureza humanizada, território social.

Ao longo de milênios, os caçadores-coletores influenciaram na preservação e na extinção de diversos grupos faunísticos e, indiretamente, impactaram a vegetação. O uso do fogo, como técnica de caça, favoreceu a extensão de ecossistemas abertos, como as savanas ou cerrados, em detrimento das áreas florestais. Nos limites das florestas, o fogo ateadado ao cerrado sempre queima parte das árvores, criando clareiras. Ali crescerá mais capim e o fogo será mais intenso da próxima vez. Gradativamente, a floresta cede lugar a formações arbustivas e graminóides. Esse conhecido processo de savanização é antropogênico e ainda segue em curso em várias áreas do Brasil. Ele pode ser observado, com clareza, em sequências de imagens de satélite de áreas indígenas ao norte do Pará, na região dos Tiriós, na fronteira com o Suriname (MIRANDA, 2003). Ali, os indígenas promovem anualmente o aumento da área dos cerrados em detrimento da floresta, pelo uso generalizado do fogo⁸, alterando a dinâmica vegetal com a promoção de gigantescos incêndios anuais.

Um segundo impacto ambiental foi produzido pelo desenvolvimento progressivo da agricultura entre as populações de caçadores-coletores. A agricultura levou o fogo das savanas para o centro das florestas. Foi uma grande revolução ambiental. A coivara, a agricultura itinerante, apesar do nome, permitiu certa fixação dos grupos de caçadores. Os campos, de dimensão restrita, eram como

4 É impressionante a dificuldade em estabelecer essa estimativa com rigor e precisão.

5 A população indígena do Brasil é estimada em quase 500.000 pessoas. Adotando-se a estimativa mais modesta para o ano de 1500, as populações indígenas teriam sido reduzidas à metade em 500 anos. Nos critérios de autodeclararão o efetivo aproxima-se de 1 milhão de pessoas.

6 A palavra povoamento é utilizada para designar o processo de instalação dos portugueses, responsáveis pela segunda onda de povoamento, após o descobrimento do Brasil, no século XVI.

7 Alguns autores, controversos, recuam essa data até 50.000 anos atrás.

8 Essa região, completamente isolada, registra anualmente as maiores queimadas do país, em extensão, alcançando várias centenas de quilômetros.

clareiras em meio à floresta. A capoeira recuperava lentamente os solos, depois de um ou alguns anos de cultivo, sempre precedidos por queimadas. Esse tipo de paisagem, com mosaicos de vegetações em diversos graus de recuperação (fitossequências) em meio à mata, ainda pode ser claramente observado em várias regiões do Brasil, como no norte da Amazônia brasileira, na região conhecida como Cabeça do Cachorro, ou no noroeste do Estado do Maranhão.

A Caatinga, a Mata Atlântica, o Cerrado, o litoral, os vales amazônicos e demais biomas guardam as marcas, os sinais e a memória desses impactos ambientais e das mudanças na biodiversidade, de acordo com conhecimentos e técnicas de cada um dos grupos humanos surgidos (e desaparecidos) no território do Brasil.

Os povos pré-cabralinos dessa epopeia povoadora estão na origem das infinitas colinas de sambaquis⁹. Outros deixaram seu testemunho indelével em grafismos rupestres de temática antropológica, zoológica e cosmológica. São manifestações artísticas em cavernas, grutas, falésias, rochedos e pontos notáveis do relevo, como nos vales do Erepecuru e do Xingu (PA), do Uapés, do Uatumã e do Urubu (AM), na Pedra Pintada (RR), na Serra da Capivara (PI) etc. Além das marcas nos povoamentos vegetais e animais, deixaram testemunhos gravados na rocha, ao longo de toda a costa brasileira, datados de 10.000 a 2.000 a. C., desde a Pedra da Gávea até os costões de Santa Catarina.

Todos esses povos desapareceram bem antes da chegada dos portugueses. Vários sob o impacto da conquista territorial de outros grupos humanos, com menos tecnologia, contudo mais guerreiros, combativos e com outra organização social. A expansão geográfica dos Tupis, principalmente a partir do ano 1500, é um exemplo. Toda essa história humana e ambiental merece uma atenção mais detalhada e certamente será objeto de estudos históricos e antropológicos mais aprofundados neste novo século.

A crença em um pretense equilíbrio paradisíaco entre indígenas e natureza não tem fundamento, nem hoje, nem no passado. Há mais de 400 gerações, e segundo alguns autores controversos há mais de 2.000 gerações, os humanos ocupam e exploram o território brasileiro e seus diversos biomas. No entanto, vale ressaltar que a pressão exercida no passado era muito menor devido à reduzida concentração populacional e aos efeitos das tecnologias que eram insignificantes comparados aos de hoje.

⁹ Esse “trabalho social ordenado visando criar marcos paisagísticos e túmulos” esteve na base do desenvolvimento das pesquisas arqueológicas no Brasil, por volta de 1870. D. Pedro II acompanhou pessoalmente a escavação de sambaquis em São Vicente e a retirada de esqueletos.

1.3 A expansão agropecuária nos biomas

Em 1500, Pero Vaz de Caminha destacou a ausência de culturas: o solo nunca havia sido cultivado. Os indígenas “não lavram, nem criam, nem há aqui boi, nem vaca, nem cabra, nem ovelha, nem galinha, nem nenhum outro animal acostumado a viver com os homens” (CORTESÃO, 1967). Os portugueses introduziram, com critério, tudo aquilo de que sentiam falta ou o que pensavam ser de possível interesse. Um século e meio depois da chegada de Cabral, nos campos, aldeias e povoados, nas mais diversas descrições, encontram-se, lado a lado, algumas plantas indígenas e inúmeras hortaliças, flores, frutíferas, cereais, legumes e fibras trazidas do exterior.

Esse processo de importação de plantas e animais exóticos começou na orla marítima com a introdução da cana-de-açúcar, bovinos e o plantio de coqueiros e prosseguiu por dois séculos, culminando com a introdução “científica” de um grande número de espécies vegetais, vindas das possessões portuguesas pelo Oceano Índico, promovidas por D. Maria I e D. João VI, e com a criação de uma rede de jardins botânicos no Brasil – e, mais tarde, do Real Horto Botânico, no Rio de Janeiro, e das Escolas de Agricultura da Bahia e do Rio de Janeiro. Varias dessas espécies se tornaram pragas, como os capins africanos, além da jaca, no Rio de Janeiro, os pardais e, talvez, até a pomba europeia, entre outras.

A razão do sucesso das introduções transcontinentais de espécies vegetais foi de natureza ecológica, no entanto, seus efeitos foram tanto desejáveis quanto indesejáveis. Eram novas terras, semeadas por novas espécies. Transportadas sem as principais pragas e doenças, em geral na forma de frutas e sementes, as novas culturas – considerando-se a baixa diversidade genética, devido ao pequeno número de indivíduos na origem – vão crescer melhor no Brasil do que em terras africanas, asiáticas ou europeias, da mesma forma que o cacau, a borracha e o abacaxi, originários das Américas, tiveram enorme desenvolvimento ao serem introduzidos na África, Ásia e Oceania, livres de grande parte das pragas e doenças que aqui os assolam (MIRANDA, 2007). Por outro lado, vale também considerar o efeito regressivo das pragas decorrentes da introdução no país, do eucalipto e da cana-de-açúcar, entre outras culturas.

Os portugueses promoveram o aumento da biodiversidade das terras brasileiras e a mudança dos hábitos alimentares e de vestuário com a introdução de um grande número de espécies vegetais. Entre essas se destacam a cana-de-açúcar, o algodão¹⁰, a manga, a banana, a carambola, e também melão, melancia, arroz, feijão, trigo, aveia, sorgo, uva, coco, figo, fruta-pão, jaca, laranja, limão, lima, ta-

10 As variedades introduzidas substituíram espécies locais e chegaram a gerar expressivos excedentes, a ponto dos portugueses adquirirem algodão dos índios do Brasil para vender em Portugal.

marindo, tangerina, café, trigo-sarraceno, cravo, canela, pimenta, caqui, biribá, gengibre, romã, inhame, amora, noz, maçã, pera, pêssego, sapoti, pinha, graviola, abacate, além de inúmeras hortaliças, temperos, ervas medicinais e tubérculos, algo em torno de 100 espécies. Relativamente poucas, se comparadas com as quase 50 mil espécies nativas. Em certo sentido, a introdução de novas espécies tem causado importantes custos para o país.

Os principais animais domésticos e de exploração brasileiros, até hoje, são todos importados: cão, gato, galinha, pato, ganso, bicho-da-seda, coelho, cavalo, bovinos, asininos, muares, ovinos e caprinos, quase todas, espécies exóticas. Os achados biológicos nesta terra, de uso imediato, foram bem menores, à exceção da possibilidade de produção do própolis verde de alecrim, látex para borracha e várias espécies medicinais, entretanto, revolucionaram a dieta de portugueses, africanos e outros povos do planeta, inclusive da Europa: milho, batata, tomate, mandioca, cacau, caju, amendoim, abacaxi e o tristemente famoso tabaco. A batata mudou a alimentação dos europeus, as práticas de estocagem etc., principalmente na Europa do Norte.

Hoje, a dieta do brasileiro é composta de feijão, arroz, salada, ovo, frango, macarrão, pão, biscoito e carne bovina: todos alimentos exóticos, introduzidos pelos portugueses, com reduzido uso para as espécies nativas. Entre as frutas mais consumidas estão laranja e banana, também introduzidas. Até a soja, originária da China, tornou-se hiperpresente na alimentação e nos hábitos cotidianos. Derivados da soja integram produtos que vão desde o dentifrício até o chocolate, passando pelo óleo para fritura e saladas. A soja garante a fração proteica de rações animais com que vacas produzem mais leite, carne de porco, galinha e mais ovos etc. Comer um sanduíche, como um misto quente, é comer soja. Nas exportações brasileiras, responsáveis pelos excedentes comerciais, destacam-se vegetais e animais originalmente importados pelos portugueses ou pelo comércio que estabeleceram e lhes sucedeu: açúcar, suco de laranja, café, soja e carne bovina, suína e de frango (MIRANDA, 2003).

Em cada bioma, a colonização desenvolveu adaptações e inovações, ajustando os sistemas de produção e exploração a cada situação encontrada. Assim, o Pampa, o Pantanal, a Caatinga e os campos de altitude foram progressivamente ocupados por pequenos e grandes ruminantes, adaptados a cada um desses biomas, assim como a agricultura de subsistência dos povoadores. Relações econômicas bastante harmônicas e de complementariedade foram estabelecidas entre os diversos ecossistemas. No Nordeste, a pecuária na caatinga e a produção de alimentos no agreste, apoiavam a produção da cana no litoral. Rotas de transporte de animais e carne (charque) foram estabelecidas entre o Sul (até o Uruguai) e o Sudeste e, da mesma forma, com o Centro-Oeste (Cuiabá) e parte do Nordeste (Maranhão e Piauí).

Durante o século XX, crescimento populacional, urbanização, migrações, inovações tecnológicas e desenvolvimento econômico e da infraestrutura levaram a grandes mudanças no uso e ocupação dos biomas, principalmente no caso dos cerrados. Os capítulos que se seguem apresentarão, de forma resumida, os diversos aspectos que caracterizam a agricultura, e as oportunidades e desafios para ações de pesquisa nos principais biomas terrestres brasileiros, com vista ao desenvolvimento sustentável, competitivo e inclusivo.

Referências bibliográficas

CORTESÃO, J. **A carta de Pero Vaz de Caminha**. Lisboa: Portugália, 1967, 221 p. Disponível em: <http://nonio.eses.pt/brasil/>. Acesso em: 12 de nov. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de biomas e de vegetação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em 22 de out. 2018

MIRANDA, E. E. **Natureza, Conservação e Cultura: Ensaio sobre a Relação do Homem com a Natureza**. Editora Metalivros, 2003. Disponível em: <https://www.estantevirtual.com.br/livros/evaristo-eduardo-de-miranda/.../1817604366>. Acesso em 12 de nov. 2018.

———. **Quando a Amazônia Corria para o Pacífico: Uma historia desconhecida da Amazônia**. Editora Vozes. Petrópolis. 2007. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjH7I-Qq8zeAhXBW5AKHd9fAMQFjACegQICxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.estantevirtual.com.br%2Flivros%2Fevaristo-eduardo-de-miranda%2Fquando-o-amazonas-corria-para-o-pacifico%2F3857195130&usg=AOvVaw0aXqWMfLD5OkU9hg-53N3f>. Acesso em 12 de nov. 2018.

2

BIOMA AMAZÔNIA: oportunidades e desafios de pesquisa para produção de alimentos e outros produtos

Carlos Roberto Bueno¹

Alessandra Rodrigues Gomes²

Charles R. Clement³

Marcos Adami⁴

Haron Abraham Magalhães Xaud⁵

Maristela Ramalho Xaud⁵

Marlúcia Bonifácio Martins⁶

Andréa dos Santos Coelho⁷

2.1 Introdução

A Amazônia ocupa um lugar especial no imaginário brasileiro e mundial, e seu futuro preocupa alguns membros da academia *sensu amplo* e alguns poucos governantes. No imaginário brasileiro, a Amazônia é lugar de animais, plantas e pessoas diferentes, que a academia chama de biodiversidade e sociodiversidade. No imaginário mundial, a Amazônia é patrimônio da humanidade por causa de sua biodiversidade e das florestas que estocam carbono e reciclam água, ajudando a estabilizar o clima do planeta. Para as populações da Amazônia, que vivem em aglomerações urbanas, a região é cada vez mais quente, com estiagens e enchentes cada vez mais extremas, e apresentam alguns dos piores indicadores de desenvolvimento humano, veem, então, na construção de estradas e barragens e no desmatamento para agricultura, soluções alternativas para amenizar os problemas da região. Mas, também há pequenos povoados rurais tradicionais

1 Pesquisador do INPA.

2 Pesquisadora do INPE.

3 Pesquisador do INPA.

4 Pesquisador do INPE.

5 Pesquisadores da Embrapa.

6 Pesquisadora do MPEG.

7 Pesquisadora da Funcate.

que vivem da produção local e para os quais os avanços da instalação de infraestruturas e fronteira agropecuária podem causar fortes impactos.

Nesse cenário, o setor agropecuário assume importância, porque desmata, emitindo gases de efeito estufa e causando erosão e assoreamento de rios, porém produz alimentos, gera emprego para alguns e riqueza para poucos, enquanto alimenta cidades dentro e fora da região, até a China. Alguns afirmam que a Amazônia pode ser o celeiro do mundo, que precisa cada vez mais alimentos para uma população que cresce acima da média nacional, e outros dizem que a floresta precisa ficar em pé para contribuir na estabilização do clima para uma sociedade global cada vez mais displicente.

Neste capítulo pretende-se fazer uma breve introdução e caracterização geral ao bioma, seus ecossistemas e populações, um diagnóstico das principais atividades e suas consequências, bem como oportunidades e desafios de pesquisa em Ciências Agrárias e Ambientais.

O Bioma Amazônia ocupa aproximadamente 6,1 milhões de km² nas terras baixas do norte da América do Sul e se distribui por nove países: Brasil, cuja área representa cerca de 60% do bioma; Peru, com aproximadamente 13%; Colômbia, com cerca de 10% e Bolívia, Equador, Venezuela, Guiana, Guiana Francesa e Suriname, que, juntos, detêm cerca de 17%. No Brasil, o bioma ocupa 4,2 milhões de km², metade do território nacional, abrigando 25 milhões de brasileiros que vivem nos nove estados da região denominada de Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins).

A Amazônia Legal é conectada ao Brasil por algumas rodovias federais importantes (BR 153, BR 364, BR 230 e BR 163), portos e aeroportos. A única ferrovia importante é privada (pertence à empresa multinacional Vale) e liga a Serra de Carajás ao porto Ilha da Madeira, em São Luís, no Maranhão, sem outras conexões com o restante do Brasil. A Amazônia abrange algumas das maiores províncias minerais do mundo e, embora a maioria dos minerais ainda não seja explorada, há grandes empreendimentos que exploram alguns desses recursos, como o minério de ferro na Serra de Carajás, considerado o de maior teor de pureza do mundo, bem como outros minerais, que somam vultosas quantias para as empresas envolvidas, mas oferecem pouco retorno social e econômico para os estados onde essas empresas atuam.

Devido à sua abundância em rios, que escoam para o mar 20% da água doce do planeta, a Amazônia apresenta grande potencial hidroelétrico, com algumas das maiores barragens exportando eletricidade para as outras regiões do Brasil e para o mundo (via a produção de alumínio, por exemplo). No entanto, é a floresta seu maior destaque, pois, estima-se que ela contenha cerca de um trilhão de dólares de madeira aproveitável, além dos imensuráveis serviços ambientais por ela

prestados. Conseqüentemente, a extração madeireira é uma importante atividade econômica, embora entre 80% e 90% seja ilegal, o que acaba não importando para os consumidores do Brasil e da Amazônia, já que não exigem nota fiscal, muito menos certificação do IBAMA.

No entanto, a floresta está sendo substituída para a implantação de culturas agrícolas e, principalmente, pastagens (Tabela 1). Embora a maioria dos pastos não receba manejo adequado, juntos sustentam cerca de 80 milhões de cabeças de bovinos: o triplo da população humana da região e 39% da população nacional de bovinos.

Tabela 1. Usos da terra na Amazônia (km²)

CLASSES	2008	%	2010	%	2012	%	2014	%
Pastagem	399.133	56	396.302	54	395.935	53	437.732	57,4
Vegetação Secundária	198.842	28	228.394	31	218.658	29	215.415	28,3
Outras Classes	50.433	7	57.036	8	84.811	11	48.012	6,3
Agricultura Anual(1)	34.927	5	39.978	5	42.346	6	45.050	5,9
Mosaico de Ocupações	24.417	3	17.963	2	9.590	1	16.256	2,1
TOTAL	707.752	100	739.673	100	751.340	100	762.464	100

Fonte: TERRACLASS, 2016.

(1) A agricultura anual é representada pelos monocultivos de grãos e o mosaico de ocupações está associado à pequena produção agropecuária.

A precipitação abundante e a temperatura alta, os nutrientes liberados durante a queima e, nos anos subsequentes, o apodrecimento dos restos de madeira não queimados e rapidamente usados ou lixiviados resultam na degradação dos agroecossistemas, o que explica a ocorrência de tanta vegetação secundária, a maioria, originalmente, de pastagens. Adubar os agroecossistemas da Amazônia de forma adequada é muito oneroso, dado sua escala, especialmente porque as rodovias são precárias, o que aumenta ainda mais o custo de insumos. A escala das mudanças no uso da terra e, especialmente, a proporção degradada preocupa parte da academia e alguns governantes, que se perguntam o que pode ser feito para mudar esse quadro.

Estudos arqueológicos e etnobotânicos da última década sugerem que as aldeias foram sustentadas principalmente pelo manejo de florestas ricas em frutas e castanhas, roças agroflorestais para a produção de raízes, frutas e plantas medicinais, e pesca e manejo de recursos aquáticos, como tartarugas. A conquista

e subsequente colonização, inicialmente pelos portugueses e, depois de 1823, pelos brasileiros, eliminaram quase todas essas populações nativas (estima-se que 95% dos habitantes nativos morreram entre 1616, com a fundação de Belém, e o início da época da borracha) com uma combinação de doenças europeias e africanas, escravização e guerras (HEMMING, 1995). Com os povos eliminados foram perdidos também seus conhecimentos sobre como viver na Amazônia sem destruir suas florestas e rios e a biodiversidade associada. Será que o pouco que sabemos sobre esse passado e o que nos chegou de informação com os poucos sobreviventes podem contribuir para mudar o quadro traçado acima?

2.2 Caracterização do bioma

O Bioma Amazônia é reconhecido como o mais biodiverso do planeta, embora os números variem. A biodiversidade é definida em lei (Lei 13.123/15) e na Convenção da Biodiversidade Biológica – CDB, 1992, como:

“A variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas.”

Em resumo, a biodiversidade é a soma de todos os alelos de todos os genes de todas as espécies que fazem parte de todos os ecossistemas. Um ecossistema, por sua vez, é o “conjunto dos relacionamentos mútuos entre determinado meio ambiente e a flora, a fauna e os microrganismos que nele habitam, e que incluem os fatores de equilíbrio geológico, atmosférico, meteorológico e biológico”. Antigamente a biodiversidade era chamada de ‘natureza’, termo ainda hoje usado pela maioria das pessoas.

Recentemente, o Ibama concluiu um mapeamento das ecorregiões dos biomas brasileiros, introduzindo um novo nível hierárquico (Figura 1). De acordo com esse mapeamento, a Amazônia é formada por 23 ecorregiões, cada uma com maior similaridade de composição florística e faunística interna do que com ecorregiões adjacentes. Dentro dessas ecorregiões, os ecossistemas são o próximo nível hierárquico de organização. VELOSO et al. (1991) sugerem que existem centenas de ecossistemas distintos na Amazônia, os quais podem ser subdivididos ainda mais com estudos detalhados.

Figura 1. Ecorregiões da Amazônia, mapeamento encomendado pelo IBAMA.



Fonte: IBAMA.

Os números no mapa correspondem a: 1- Florestas de Caquetá, 2- Florestas de altitude das Guianas, 3- Florestas tropicais das Guianas, 4- Várzeas de Guaru-pá, 5- Savanas das Guianas, 6- Várzeas de Iquitos, 7- Florestas úmidas do Japurá/Solimões-Negro, 8- Florestas úmidas do Juruá/Purus, 9- Florestas úmidas do Madeira/Tapajós, 10- Várzeas do Marajó, 11- Florestas secas do Mato Grosso, 12- Várzeas do Monte Alegre, 13- Florestas úmidas do Negro/Branco, 14- Várzeas do Purus, 15- Florestas úmidas do Purus/Madeira, 16- Campinarana do Alto Rio Negro, 17- Florestas úmidas do Solimões/Japurá, 18- Sudoeste da Amazônia, 19- Florestas úmidas do Tapajós/Xingu, 20- Tepuís, 21- Florestas úmidas do Tocantins-Araguaia/Maranhão, 22- Florestas úmidas do Uatumã-Trombetas, 23- Florestas úmidas do Xingu/Tocantins-Araguaia.

Os ecossistemas amazônicos variam em função do clima, dos solos e de sua história. A temperatura média é da ordem de 25°C. A precipitação média é de aproximadamente 2300 mm/ano, embora, em algumas regiões a oeste, na fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela, esse total anual possa atingir mais de 3500 mm/ano.

O desenvolvimento agrícola da Amazônia enfrenta sérios fatores limitantes relacionados à pedologia, destacando-se a baixa fertilidade natural e a grande

diversidade de solos, limitações que requerem o uso intenso de insumos e promovem dificuldades na extrapolação do conhecimento gerado pelas pesquisas. Os levantamentos de solos da Amazônia constataram que apenas 14% da área são ocupados por solos de razoável a boa fertilidade agrícola natural. O restante da área (86%) é constituído por solos de baixa fertilidade, ou seja, com reduzida quantidade de nutrientes para as plantas de interesse agrícola.

TEIXEIRA (2016) mostra as principais classes de solos que ocorrem na Amazônia. Os argissolos representam a maior parte e, apesar de serem cobertos por florestas naturais, apresentam baixa fertilidade natural. Os latossolos são predominantes na Amazônia Central e sudeste do Pará, naturalmente menos férteis que os argissolos, mas com boa infiltração de água, mesmo quando muito argilosos. Os plintossolos são pobres e mal drenados e ocorrem principalmente na região sul do Amazonas. Os espodossolos são os mais arenosos, pouco férteis, cuja vegetação típica é de campinas e campinaranas. Uma importante classe de solos que ocorre no Bioma Amazônia são os gleissolos, ricos em silte, de cores acinzentadas, que ocorrem nas várzeas férteis dos rios de águas barrentas, como os rios Madeira, Juruá, Purus, Solimões e Amazonas. Estimativas calculam gleissolos em mais de 300 mil km². São solos que apresentam alta fertilidade natural, com nutrientes provenientes de erosão na cadeia andina, mas são arriscados para a produção agrícola devido aos enchentes anuais e, mais recentemente, os enchentes extremos das mudanças climáticas.

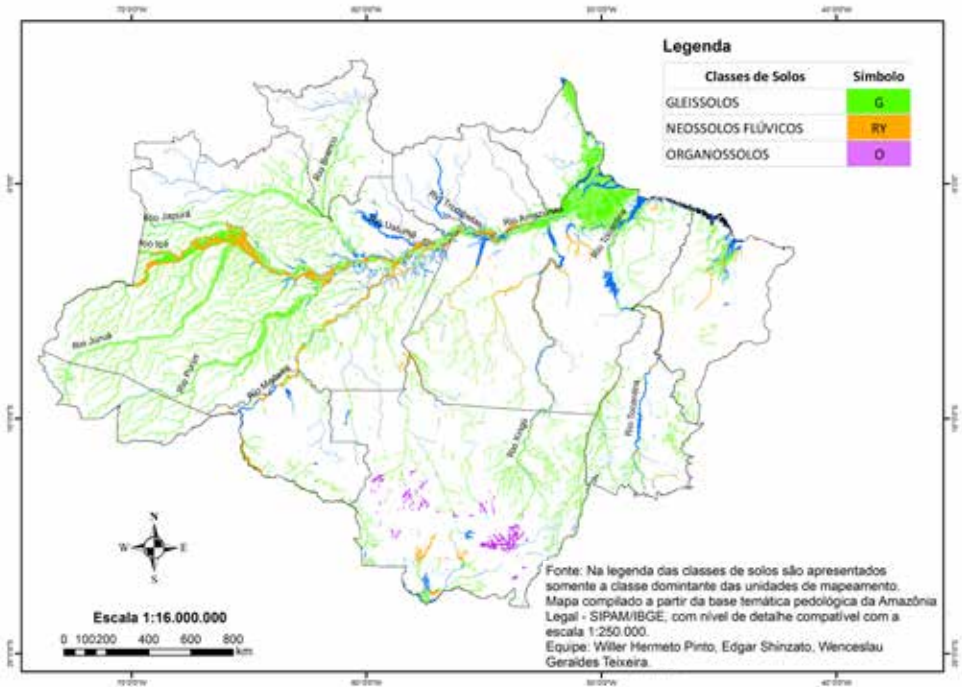
No Bioma Amazônia, tem sido comum diferenciar a terra firme e as várzeas, mas seria mais apropriado fazer a distinção entre terra firme e áreas úmidas, pois as várzeas representam apenas 5% da região (Figura 2), enquanto as áreas úmidas ocupam mais de 25% (JUNK et al., 2011). As áreas úmidas não são homogêneas, precisando ser discriminadas, pelo menos, por tipo de água: branca (rica em sedimentos de erosão nos Andes), negra (sem sedimentos e rica em compostos húmicos) e clara (sem sedimentos e compostos húmicos). Na terra firme, a situação é mais complexa ainda, devido aos diferentes tipos de solos já mencionados.

A Bacia Amazônica abriga o sistema fluvial mais extenso e de maior massa líquida do planeta e é coberta pela maior floresta pluvial tropical. A bacia hidrográfica do rio Amazonas é constituída pela mais extensa rede hidrográfica do globo terrestre, ocupando uma área total da ordem de 6.110.000 km², desde suas nascentes nos Andes Peruanos até a sua foz no Oceano Atlântico, na Região Norte do Brasil.

LEWINSOHN e PRADO (2002) examinaram o estado atual do conhecimento sobre a biodiversidade brasileira, em termos do número de espécies descritas, chegando a um número de 204 mil, com margem de erro entre 179 mil e 229 mil. Se para o território brasileiro a margem de erro é tão grande, imagine-se para o caso da Amazônia, onde o número de pesquisadores que executam inventários e classificam espécies é menor do que o existente no Estado de São

Paulo, por exemplo. No entanto, é possível organizar nosso desconhecimento de forma aproximada, citando as seguintes estimativas para os números de espécies dos diferentes grupos de organismos: 5 a 7 mil vertebrados; 15 a 20 mil plantas superiores; 20 a 100 mil micro-organismos; 1 a 10 milhões invertebrados.

Figura 2. O mapa da Hidrologia do Bioma Amazônia no Brasil, com uma aproximação das principais ordens de solo, preparado pela EMBRAPA.



Fonte: EMBRAPA.

Cerca de 1.200 novas espécies de plantas e vertebrados foram descobertas no Bioma Amazônia apenas entre 1999 e 2009. Um relatório para o período 2010-2013 revelou que 441 novas espécies de animais e plantas foram descobertas ao longo desses quatro anos na Amazônia. Recentes estudos sobre a diversidade da região mostraram que, apenas nos anos 2014 e 2015, 381 novas espécies foram descritas, sendo essas 216 plantas, 93 peixes, 32 anfíbios, 19 répteis, uma ave e 20 mamíferos (2 fósseis). Não foram contabilizados nesse levantamento os invertebrados. Segundo esses estudos, uma nova espécie foi descrita a cada 1,9 dias (WWF – BRASIL, INSTITUTO MAMIRAUÁ, 2017).

Recentemente, TER STEEGE et al. (2015) analisaram a diversidade arbórea da Amazônia e encontraram quase 5.000 espécies de árvores e palmeiras, iden-

tificadas em 1.200 parcelas de inventário do *Amazon Tree Diversity Network*. Com base nesse número, os pesquisadores estimaram um total de 16.000 espécies arbóreas. Observaram também que a metade dos indivíduos arbóreos na região compõe-se de apenas 227 espécies, a que chamaram de *hiperdominantes*.

Segundo KINUPP e LORENZI (2014), cerca de 10% da biodiversidade vegetal de qualquer bioma são formados por plantas comestíveis. Isso significa que, das 300 mil espécies de plantas conhecidas no mundo, cerca de 30 mil servem como alimento. Em termos de Amazônia, isso sugere que pelo menos 500 espécies arbóreas devem possuir frutos, sementes ou até folhas comestíveis. Entre as espécies hiperdominantes, 20 espécies possuem populações domesticadas em algum grau (LEVIS et al., 2017). CLEMENT (2018) calculou a quantidade de comida, especialmente proteína, produzida por seis dessas hiperdominantes (Tabela 2). Somente a Castanha-do-Brasil produz mais proteína do que todos os bois existentes na Amazônia atualmente. Esses cálculos mostram uma oportunidade que não está sendo adequadamente aproveitada.

Tabela 2. Estimativas de produção de alimentos e proteína de espécies da flora amazônica.

ORDEM	ESPÉCIE	ABUNDÂNCIA	POLPA (t)	SEMENTE (t)	PROTEÍNA (t)	BOI (M)
1	<i>Euterpe precatoria</i>	5,4 x 10 ⁹	3,2 x 10 ⁷		6,5 x 10 ⁵	15,3
7	<i>Oenocarpus bataua</i>	3,6 x 10 ⁹	2,3 x 10 ⁷		7,6 x 10 ⁵	17,8
8	<i>Euterpe oleracea</i>	3,6 x 10 ⁹	2,2 x 10 ⁷		4,3 x 10 ⁵	10,1
22	<i>Mauritia flexuosa</i>	1,5 x 10 ⁹	1,5 x 10 ⁷		2,3 x 10 ⁵	5,3
24	<i>Theobroma cacao</i>	1,4 x 10 ⁹		2,0 x 10 ⁶	5,9 x 10 ⁴	1,4
178	<i>Bertholletia excelsa</i>	4,0 x 10 ⁹		4,0 x 10 ⁷	6,0 x 10 ⁶	141,2

Fonte: As estimativas são de CLEMENT (2018); somente a abundância é de TER STEEGE et al.(2015).

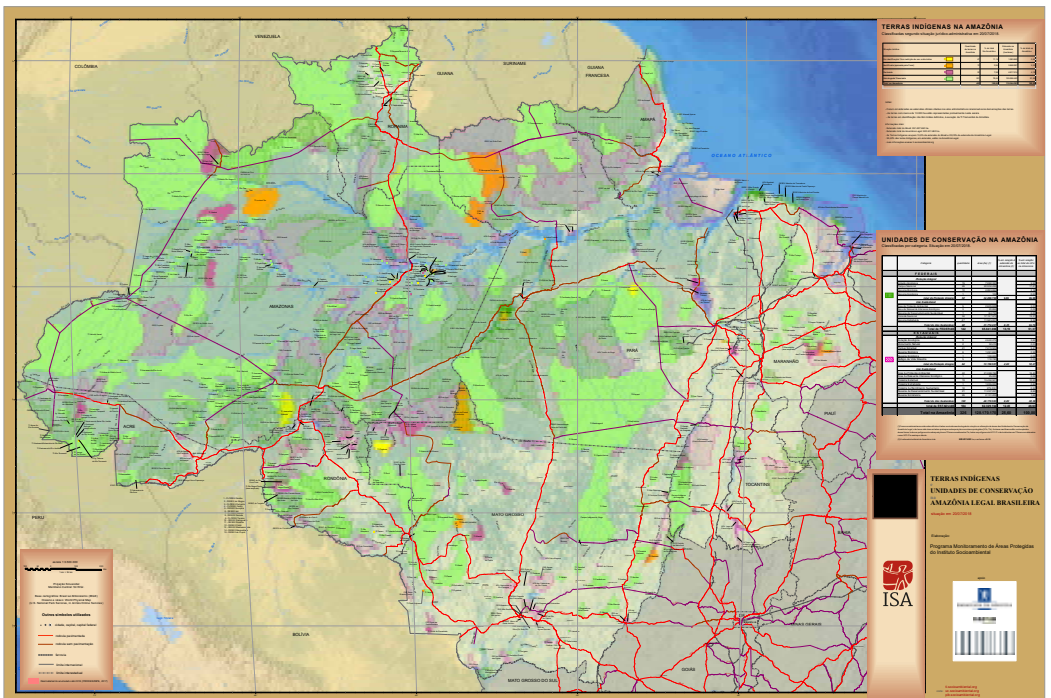
A Tabela 2 apresenta estimativas conservadoras de produção de alimentos e proteína de seis espécies hiperdominantes da flora amazônica, por ordem de abundância (TER STEEGE et al., 2013), e seu equivalente em número de bois de 500 kg (dos quais 42,5 kg são de proteína). As menores estimativas de produtividade, de porcentagem de parte útil e de proteína na parte útil fresco foram usadas (CLAY et al., 1999).

O pescado é um dos principais recursos naturais do bioma e a pesca uma das atividades comerciais e de subsistência mais importantes para a região. Segundo FERREIRA (2009), estima-se na Amazônia entre 3 mil e 5 mil espécies de peixes. No entanto, a exploração comercial não envolve mais que 100 espécies, sendo que menos de uma dezena são responsáveis por 90% da produção, revelando um grande esforço de pesca sobre poucas espécies e incluindo a sobrepesca.

Em 2011, a população da Amazônia Legal ultrapassou os 25 milhões de pessoas, das quais 25% vivem fora dos centros urbanos. Os 75% dos habitantes em centros urbanos dependem dos 25% das zonas rurais para a produção e a extração de alimentos. Desses 25 milhões mencionados, apenas 400 mil são indígenas, a maioria vivendo na zona rural. De uma forma geral, a população da Amazônia Legal é pobre, com IDH médio de 0,683, contra uma média nacional de 0,727 (SUDAM, 2016).

Segundo levantamento do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon) e do Instituto Socioambiental (ISA), ao final de 2010, 43,9% do território da Amazônia Legal, isto é, 2.197.485 km², estavam inseridos em Áreas Protegidas (Figura 3). As Áreas Protegidas incluem as Unidades de Conservação do Sistema Nacional e os Territórios de Ocupação Tradicional (Terras Indígenas ou Territórios Remanescentes de Quilombo). As Unidades de Conservação da Amazônia Legal, criadas até dezembro de 2010, somavam 1.110.652 km², o que representa 22,2% do território da Amazônia Legal. As Terras Indígenas somavam 1.086.950 km² ou 21,7% da região.

Figura 3. Áreas Protegidas na Amazônia Legal.

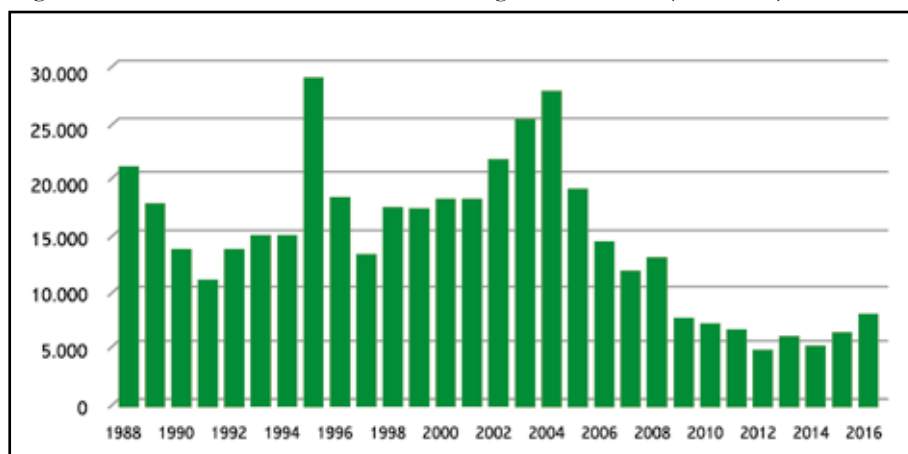


Fonte: IMAZON/ISA, 2018.

2.3 Diagnóstico das principais atividades desenvolvidas no bioma

Nas décadas de 1970 e 1980, o Bioma Amazônia passou por um acelerado processo de tecnificação do território, estimulado pela implantação de grandes empreendimentos, financiados por recursos públicos, nos setores rodoviário, energético, de comunicação e mineração. No entanto, durante a década de 1990, houve o arrefecimento dos investimentos estatais e a desaceleração dos investimentos, pois o modelo até então vigente vivia uma profunda crise. As consequências da implantação desse modelo de desenvolvimento para a Amazônia Legal Brasileira, que se mostrou predatório, se expressam nos altos índices de desmatamento até 2004 (Figura 4).

Figura 4. Desmatamento na Amazônia Legal 1988-2016 (km²/ano).



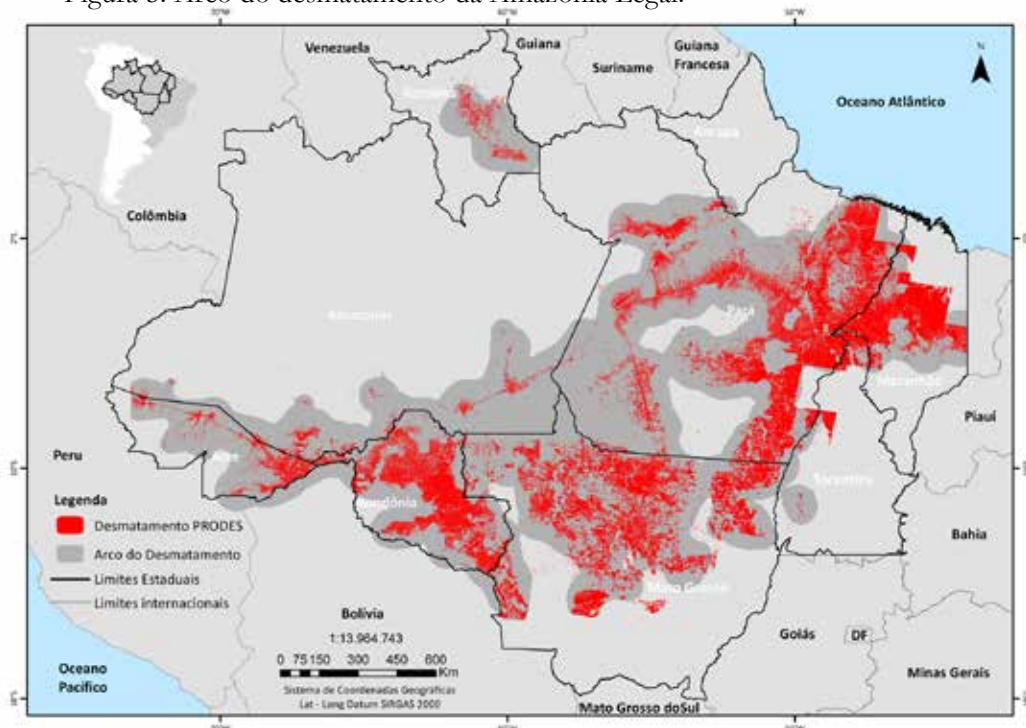
Fonte: MMA/PRODES, 2017.

A partir de 2009, as taxas anuais de desmatamento passam a decrescer em razão dos programas e ações adotadas, principalmente o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), criado em 2004, bem como o esfriamento econômico mundial iniciado naquele ano. O desmatamento é um processo em que a floresta original é completamente substituída por coberturas como pastagens e culturas agrícolas, depois de passar pelo corte raso, que é a supressão total da vegetação, e finaliza com a queima da área para limpeza. É um processo que não se dá de forma homogênea no espaço e que está associado a fatores como o mercado e políticas de governo, de incentivo ou combate ao desmatamento, o qual envolve diferentes atores e atividades produtivas, como a pecuária, a exploração madeireira, a mineração e a agricultura de pequeno

e grande porte (FEARNSIDE; GRAÇA, 2006; FERREIRA; COELHO, 2015; VALERIANO et al., 2012; ALMEIDA et al., 2016).

O desflorestamento é mais acentuado nos estados que estão dentro da área definida como *arco do desmatamento* (Figura 5). Não apenas as atividades de uso da terra, técnicas de produção e os atores envolvidos são heterogêneos, mas também as formas de ocupação e apropriação da terra, nas quais o desmatamento muitas vezes é usado como estratégia para garantir posse legal, ou ilegal, processo conhecido como grilagem, que, na região, ainda é muito presente.

Figura 5. Arco do desmatamento da Amazônia Legal.



Fonte: MMA/PRODES, 2017.

Com o sistema de monitoramento do desmatamento desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em 1988, o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite – PRODES, que tem por objetivo mapear e estimar as taxas de desmatamento por corte raso acima de 6.25 ha (0.0625 km²), fez com que o Brasil se tornasse referência mundial no monitoramento de florestas tropicais. Com base neste mapa de desflorestamento, foi desenvolvido, pelo INPE e Embrapa, o projeto TerraClass, que tem por objetivo mapear os usos e coberturas das áreas desflorestadas na

Amazônia Legal Brasileira (ALMEIDA et al., 2016). Esse projeto mapeou o total dessa área para os anos de 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. A síntese desses resultados encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3. Uso e cobertura das áreas desflorestadas na Amazônia Legal Brasileira entre 2004/ 2014.

CLASSES	ÁREA (km ²)					PROPORÇÕES (%)				
	2004	2008	2010	2012	2014	2004	2008	2010	2012	2014
Agricultura Anual	18.354	34.927	39.978	42.346	45.050	3,0	4,9	5,4	5,6	5,9
Área não observada	48.566	45.406	45.849	69.132	30.056	7,9	6,4	6,2	9,2	4,0
Área Urbana	2.579	3.818	4.474	5.341	6.010	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Mineração	799	731	967	1.049	1.272	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Mosaico de ocupações	16.284	24.417	17.963	9.590	16.256	2,7	3,4	2,4	1,3	2,1
Outros	4.637	478	2.731	6.113	7.752	0,8	0,1	0,4	0,8	1,0
Pasto com solo exposto	106	594	373	43	63	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Pasto limpo	306.039	335.715	339.852	345.420	377.470	49,8	47,4	45,9	46,0	49,6
Pasto sujo	55.250	62.824	56.077	50.472	60.199	9,0	8,9	7,6	6,7	7,9
Regeneração com pasto	60.641	48.027	63.165	46.468	42.028	9,9	6,8	8,5	6,2	5,5
Reflorestamento ⁽¹⁾	0	0	3.015	3.176	2.922	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4
Vegetação secundária	100.674	150.815	165.229	172.190	173.387	16,4	21,3	22,3	22,9	22,8
TOTAL	613.928	707.752	739.673	751.340	762.464	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: ALMEIDA et al., 2016.

(1) A classe reflorestamento começou a ser mapeada no Projeto TerraClass apenas a partir de 2010.

Na comparação entre 2004 e 2014, as classes de pastagem tiveram um crescimento proporcional próximo a zero, apesar de variar ao longo do tempo. A classe Pasto Limpo teve uma participação relativa próxima a 50% da área total desflorestada, sendo que a área desta classe passou de 306 mil km², em 2004, para 377 mil km², em 2014, com a taxa média anual de aumento de 2%, com menor participação relativa em comparação à classe Pasto Sujo (~8%). A classe Pasto Sujo apresentou certa estabilidade de área, o que representou taxa média de crescimento próxima a zero. Por outro lado, a classe Regeneração com Pasto apresentou perda de área de aproximadamente 18 mil km² nesses 10 anos avaliados.

Mesmo assim, as classes de pastagem continuam a ser aquelas que mais ocupam as áreas desflorestadas, sendo que, em 2014, representavam aproximadamente 65% da área desflorestada.

Entre 2004 e 2014 (Tabela 4), a perda de cobertura florestal foi de 149 mil km², ou seja, aproximadamente 4% da área florestada original da Amazônia Legal foram suprimidos nesse período. Entre os demais usos e coberturas, a classe Vegetação Secundária foi a que teve maior saldo (ganho) em área, totalizando incremento de 73 mil km², seguida das classes Agricultura e Pastagem, com aumentos de área de 27 mil km² e 56 mil km², respectivamente. A pastagem, nesse mesmo período, foi a principal classe substituindo as áreas de floresta. Aproximadamente 45% (64 mil km²) das áreas desflorestadas, entre 2004 e 2014, foram substituídos por esse uso. Um quinto da área desflorestada no período (25 mil km²) encontra-se em processo de regeneração.

Tabela 4. Matriz de transição dos usos e coberturas na Amazônia Legal Brasileira entre os anos de 2004 e 2014, com áreas em km².

CLASSES	Floresta	Agricultura Anual	Pastagens	Vegetação Secundária	Outras Classes	TOTAL	PERDA
Floresta	3.139.392	7.665	64.616	25.367	49.089	3.287.928	148.536
Agricultura Anual		16.504	1.585	150	115	18.354	1.850
Pastagens		17.794	323.957	57.917	24.048	423.716	99.759
Vegetação Secundária		1.884	28.488	58.634	11.668	100.674	42.040
Outras Classes		1.203	61.114	31.318	14.368	116.344	101.976
TOTAL	3.139.392	45.050	479.760	173.387	99.288	3.947.016	
GANHO	-	28.546	155.803	114.753	84.920		
SALDO	-148.536	26.696	56.044	72.713	-17.056		

Fonte: ALMEIDA et al., 2016.

Como já mencionado, a Vegetação Secundária teve um incremento de área da ordem de 72 mil km², aumento significativo em termos proporcionais, passando de 16,4% (2004) para 22,8% (2014), o que representa um crescimento próximo a 5% ao ano. Por outro lado, observa-se que, em termos da participação relativa, os últimos três anos apontam para uma estabilidade da Vegetação Secundária, em torno de 22% a 23% da área desflorestada. Uma vez que a legislação ambiental e acordos com a sociedade civil, a exemplo da moratória da soja (RUDORFF et al., 2011) e do TAC do boi, limitam a expansão da agricultura e pastagem sobre as áreas florestadas, pode ser que isso faça com que aumente a pressão antrópica sobre as áreas de Vegetação Secundária.

O predomínio das pastagens na região (Tabela 4) pode ser explicado pelo modelo de produção adotado, que se baseia em criação de bovinos de forma extensiva (1,88 cabeça/ha), demandando grandes áreas de pasto. Há um aumento da produtividade onde houve incremento tecnológico na cadeia de produção, como o melhoramento genético, mas ainda predomina a prática do uso de técnicas rudimentares na produção e, portanto, há necessidade de grandes áreas para se produzir.

As queimadas e incêndios florestais são uma grave ameaça à biodiversidade amazônica, pois, além de provocarem perda de espécies animais e vegetais, torna as florestas cada vez mais suscetíveis ao fogo, em virtude do aumento da carga de combustível e seca do sub-bosque, o que aumenta muito o poder de combustão da vegetação (BARLOWS; PERES, 2008; XAUD et al., 2013). No mais, esses processos são acompanhados pela emissão de gases de efeito estufa, como o CO₂ (FEARNSIDE, 2005).

Observando os dados anuais de desmatamento e focos de calor de 1999 a 2004, ARAGÃO et al. (2008) verificaram tendência de crescimento, denotando correlação positiva entre ambos. Porém, houve notável queda na taxa de desmatamento a partir de 2005, não acompanhada da mesma diminuição em relação à quantidade anual de focos de calor. A manutenção do alto número de focos de calor desde 2005, segundo os autores, estaria relacionada às condições extremas de seca e de altas temperaturas favorecendo queimadas e incêndios florestais.

Atualmente estamos diante de um provável rompimento no paradigma observado em condições de crescimento do desmatamento, a ideia de que a ocorrência de focos de calor estivesse atrelada, principalmente, a desmatamentos novos. A partir de 2009, os dados do Programa de Monitoramento de Queimadas, do INPE, estão mostrando que, dentro de uma periodicidade curta (até dois anos), a Amazônia está apresentando número de focos de calor acima de 120.000, como se estivesse com taxas de desmatamento 150% maiores. Em anos mais críticos esses valores têm ultrapassado a casa dos 160.000 focos de calor (2005, 2010, 2015 e 2017). Em termos absolutos, os estados com maior número de focos de calor, em ordem crescente, são Maranhão, Pará e Mato Grosso, com cerca de 20.000; 30.000 e 35.000 focos, respectivamente. Em anos críticos, geralmente associados a secas, esses estados apresentaram recordes de focos de calor alcançando cerca de 31.000, 48.000, e 77.000 ocorrências, respectivamente.

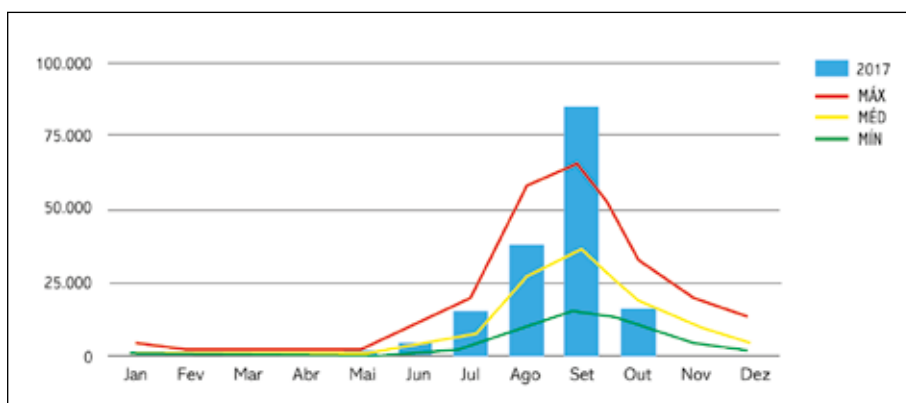
Ainda não está claro o porquê do aumento de focos de calor sem que haja um aumento proporcional do desmatamento, mas levantamos como possíveis causas: (i) a ocorrência de pequenos desmatamentos não mapeados na escala do PRODES, seguidos de queima ilegal; (ii) a exploração madeireira ilegal a partir do corte seletivo, que aumenta a susceptibilidade a incêndios florestais; (iii) o manejo inadequado de pastagens com uso do fogo e (iv) incêndios florestais criminosos visando uma conversão de médio a longo prazos de floresta para pasto, sem desmatamento prévio por corte raso ou corte seletivo.

Como pano de fundo há ainda: (i) a não governança adequada (mapeamento, controle e fiscalização) sobre as terras na Amazônia e (ii) o aumento da temperatura e diminuição da umidade, devido tanto às mudanças climáticas globais (efeito regional), como também à fragmentação florestal (efeito local). Na maioria dos casos, o aumento do número de queimadas e incêndios florestais, monitorados por meio de focos de calor, está ligado a mais de um dos fatores relacionados acima que apresentam efeito sinérgico entre si, imprimindo à Amazônia um cenário periódico de aumento anual de riscos de fogo na maior parte da região.

Considerando-se que a biodiversidade não consiste apenas do conjunto de organismos vivos presentes em uma dada área, mas também do conjunto de relações que se estabelecem entre esses organismos e os efeitos resultantes da sua interação com o meio físico, a avaliação do impacto do desmatamento e queimadas sobre a biodiversidade não é uma questão trivial.

O Comparativo dos dados de focos de calor do ano corrente com os valores máximos, médios e mínimos, no período de 1998 até out. de 2017, mostrando o período de maior concentração de focos de calor (jul-out) na Amazônia Legal brasileira são apresentados na Figura 6.

Figura 6. Comparativo dos dados de focos de calor do ano corrente.



Fonte: Programa de Monitoramento de Queimadas-INPE.

Os principais processos responsáveis pela diminuição da biodiversidade são o desaparecimento e a fragmentação dos habitats, que, na Amazônia, são causados pelo desmatamento, a introdução de espécies e doenças exóticas, a exploração excessiva de espécies de plantas e animais, o uso de híbridos e monoculturas na agroindústria e nos programas de reflorestamento, a contaminação do solo, da água, e da atmosfera, por poluentes, as mudanças climáticas globais e as queimadas e os incêndios florestais.

Esforços de estimativa de perda de espécies na Amazônia existem para poucos grupos biológicos e apresentam pouca eficiência, dada a escassez de dados, diante da extensão territorial e a complexidade dos ambientes amazônicos (GRAÇA et al., 2014). No entanto, em 2015, TER STEEGE e colaboradores, usando uma base de dados de 1.485 inventários florestais, estimaram os efeitos do desflorestamento sobre 10.247 espécies de árvores consideradas raras e 4.953 espécies comuns. Os pesquisadores demonstraram, então, que, com 11% da Amazônia desmatada (dados para 2013), 7,5% das espécies comuns já haviam sofrido redução de suas populações em mais de 30%, entrando nas classes críticas de risco de extinção, segundo a International Union for Conservation of Nature, IUCN. Com o mesmo percentual de desmatamento, 9% das espécies consideradas raras já estão nessa mesma categoria.

Os autores, utilizando processos de modelagem com dois tipos de cenários, projetaram a situação dessas espécies em 2050 e identificaram que, em um cenário seguindo as tendências atuais de desmatamento, que estima cerca de 40% de floresta perdida em 2050, 35% das espécies comuns e 43% das espécies raras estarão na categoria de espécies ameaçadas. Em um cenário mais otimista, onde todos os mecanismos atuais de controle de desmatamento funcionem favoravelmente, o desmatamento esperado é de 21% da Amazônia e, nesse caso, 16% das espécies comuns e 25% das espécies raras devem estar na categoria de espécies ameaçadas. Ambos os cenários mostraram que os efeitos não são homoganeamente distribuídos, com um percentual cerca de 30% mais intenso para os riscos de extinção no centro de endemismo Belém, na porção nordeste da Amazônia (TER STEEGE et al., 2015).

Os efeitos da fragmentação, uma consequência da degradação ambiental, sobre as populações da floresta amazônica são resumidos por LAURENCE e VASCONCELOS (2009). Estes efeitos incluem tanto a redução do número de espécies nos fragmentos menores, quanto a redução da densidade de espécies por unidade de área nestes fragmentos. Os autores ressaltam ainda a extrema fragilidade das populações amazônicas aos efeitos de borda, que provocam uma extrema deterioração da biodiversidade mesmo em fragmentos maiores. O processo de fragmentação florestal também afeta a dinâmica de biomassa em florestas, com menor biomassa nos menores fragmentos. Os efeitos da exploração seletiva de madeira são evidentes e mostram uma redução drástica em biomassa para as espécies mais exploradas (OLIVEIRA et al., 2003).

Uma consequência importante do desmatamento e degradação da floresta ainda invisível para a maior parte das ações de conservação é a perda das interações biológicas. A funcionalidade da floresta é diretamente dependente dessas interações, no entanto, a delimitação e análise das redes interativas de um ecossistema estão cobertas por poucas iniciativas e nenhum estudo com esse escopo foi

ainda realizado na Amazônia brasileira. Como exemplo, no início dos anos 1980, KERR e VENCOVSKY (1982) chamaram a atenção para a importância da manutenção da floresta para garantir a função da polinização. A quase totalidade das 300 a 350 espécies de abelhas conhecidas vivem em ocos de árvores, que são destruídas com os desmatamentos e a extração seletiva das árvores maiores e mais antigas.

Um último efeito do desmatamento sobre a biodiversidade para o qual se deve atentar é relativo aos impactos sobre a saúde humana. Apesar de o tema ser pouco explorado na literatura, em estudo recente foram encontrados indícios de que o desmatamento da floresta amazônica contribui para a propagação dos casos de malária. Foi estimado que a cada 10km² de mata nativa desmatada aumentam de 1,2% a 1,4% as internações por malária no município onde ocorreu o desmatamento. Ainda, o desmatamento localizado em um município também possui influência sobre os casos de paludismo nos municípios vizinhos, sendo que 10km² de desmatamento geram um efeito *spillover* de incremento da doença na ordem de 0,9% a 1,7%. Assim, o efeito total de 10km² de desmatamento aumenta de 1,4% a 2,9% os casos de infecção por malária.

A intensificação dos efeitos sinérgicos entre fatores biológicos sociais e econômicos tende a aumentar com o desflorestamento, porque a redução da eficiência da floresta em prover serviços ambientais, tais como a estabilização climática, pode amplificar em muito a extinção de espécies, a introdução de espécies exóticas, a alteração na composição das comunidades, redução da polinização, perda de funcionalidade dos solos, e a falha na regulação e controle da dispersão de organismos patogênicos. A consequência final de todas essas perdas em biodiversidade será inadiavelmente a redução da qualidade de vida das populações humanas.

2.4 Diagnóstico das oportunidades e dos desafios de pesquisa em ciências agrárias e ambientais

O Brasil assumiu compromissos perante a comunidade internacional durante a COP do Clima, em Paris, para reduzir o desmatamento ilegal e manter grande parte da floresta em pé. Estudos liderados por pesquisadores do INPE sugerem que o sul e leste da Amazônia podem sofrer de savanização em médio prazo se o desmatamento continuar por muito tempo (NOBRE et al., 2016). A porcentagem de floresta que precisa ficar em pé para evitar esse processo de savanização ainda é assunto de debate, mas, como LOVEJOY e NOBRE (2018) observaram, é melhor não chegar a esse ponto crítico para descobrir.

Uma forma de evitar o desmatamento é transformar o setor madeireiro em motor da economia amazônica, em lugar de uma atividade oportunista e ilegal

como acontece atualmente (CLEMENT; HIGUCHI, 2006). Os principais desafios para que isso ocorra são governança e investimentos, embora existam desafios para a comunidade de P&D também (CLEMENT; HIGUCHI, 2006). A falta de governança e investimentos são típicos de uma situação de colonização interna, que requer mudanças na estrutura de decisão federal do Brasil, pois o centro de poder político e econômico do país atualmente decide o que será feito e o que não será feito na Amazônia. Em situações de falta de governança e investimentos, o setor privado investe como julga apropriado, o que explica a forte expansão não planejada do agronegócio nas últimas décadas. É verdade que o governo central investe um pouco em infraestrutura e até em governança e P&D, mas basta perguntar a qualquer empresário, ou mesmo cidadão da Amazônia, se julga os investimentos suficientes e a resposta será sempre negativa.

O agronegócio é muito bem servido de P&D, pois os centros da Embrapa são de qualidade internacional e têm apoiado a expansão do setor com eficiência, especialmente, para aumentar a produtividade por hectare, que é uma forma de evitar desmatamento desenfreado. Esse aumento de produtividade é atingido, tanto pelo melhoramento genético dos cultivos e rebanhos, como por melhorias no manejo agrícola e pecuário. Os empresários do setor com capital suficiente usam essas tecnologias, no entanto, nem todos têm capital suficiente, o que explica a baixa produtividade média na região. O desafio aqui, portanto, não é de P&D, mas, sim, de serem encontrados meios para que recursos e tecnologias cheguem aos produtores. Evidentemente, os centros da Embrapa merecem maiores investimentos para continuar a gerar e/ou adaptar tecnologias apropriadas.

A biodiversidade é sempre apontada como a principal oportunidade para contribuir para o desenvolvimento da Amazônia. No entanto, não contribuía mais do que 3% do PIB da Amazônia, em 2004 (CLEMENT, 2007), embora esse porcentual tenha aumentado com a expansão do mercado de açaí. A expansão do açaí começou sem a participação da comunidade de P&D (BRONDÍZIO, 2008), mas, hoje, recebe apoio eficiente (OLIVEIRA et al., 2009; HOMMA et al., 2014). A Tabela 2 sugere que há oportunidades que já estão sendo aproveitadas e outras não.

Infelizmente, o Governo Federal permitiu o sucateamento da CEPLAC, que apoia a cacauicultura na Amazônia e no Brasil. Atualmente, há um grande interesse internacional em chocolates *gourmet* oriundos de populações específicas de cacau em diferentes partes da Amazônia, tanto no Brasil, como na PanAmazônia. Essa moda não recebe o apoio da comunidade de P&D brasileira. As populações tradicionais da Amazônia podem participar dela, via manejo de cacau na floresta, como foi feito antes da CEPLAC, pois as técnicas são simples e do conhecimen-

to de todos (LEVIS et al., 2018). No entanto, é necessário haver uma ligação entre as comunidades e o mercado para o sucesso da empreitada, bem como o apoio da comunidade de P&D para identificar as melhores matrizes, em termos de qualidade do chocolate e produtividade em condições florestais.

Existem pelo menos 85 espécies perenes com populações domesticadas em algum grau (CLEMENT, 1999; LEVIS et al., 2017). Existem numerosos projetos dentro dos centros da Embrapa na Amazônia para transformar algumas dessas em oportunidades de mercado, mas a falta de financiamento adequado para a Embrapa como um todo faz com que os cultivos do agronegócio recebam a maioria dos recursos e as novas oportunidades recebam pouco ou nada. Cada uma dessas espécies representa um desafio que pode ser abordado de forma convencional (HOMMA, 2012) ou via manejo de florestas em pé (LEVIS et al., 2018). Muitas das 85 espécies perenes produzem alimentos, que hoje não são convencionais. Ou seja, são PANCs – plantas alimentícias não convencionais. Como mencionado acima, pelo menos 10% da flora de qualquer região é comestível (KINUPP; LORENZI, 2014) e a Amazônia possui muitas espécies que não são perenes também.

Os povos indígenas da Amazônia domesticaram cultivos anuais também (CLEMENT, 1999), como a mandioca, a batata doce, o abacaxi, para mencionar apenas as mais importantes. Tanto as espécies com populações domesticadas como as que são apenas coletadas podem ser melhoradas para os agricultores familiares. Evidentemente, esse desafio requer envolvimento da comunidade de P&D, mas também requer apoio do SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas e de outras entidades para abrir mercados para a produção familiar.

Os peixes da Amazônia são um componente importante da biodiversidade que contribui para a economia, como alimentos ou animais de estimação (aquariofilia). A pesca em ambientes naturais da Amazônia é altamente predatória e alguns estoques já estão ameaçados de extinção na natureza, mesmo que a comunidade de P&D tenha contribuído muito para apoiar o Ibama com informações para manejar esses estoques corretamente. No entanto, a situação da pesca é problemática, assim como a do setor madeireiro, no qual muitas atividades ilegais não podem ser fiscalizadas porque o Ibama e outras agências não recebem os investimentos necessários. A situação da piscicultura, ou da aquicultura em geral, é diferente, pois são atividades técnicas que requerem investimentos específicos para serem bem-sucedidas. A comunidade de P&D tem apoiado atividades, mas muito aquém do necessário, especialmente, em termos de melhoramento genético.

Talvez o maior desafio para a Amazônia e, por conseguinte, sua comunidade de P&D, seja o reaproveitamento das áreas degradadas (Tabela 1). Essas áreas

representam algo como a área do estado de São Paulo e, atualmente, nem mesmo estocam carbono de forma eficiente.

2.5 Considerações finais

Há necessidade do estabelecimento de uma política para o Bioma Amazônia. A decisão de desenvolver a região, considerando as dimensões gigantescas, logística, clima, solo, geologia, hidrografia, diversidades e cultura, associada aos potenciais estratégicos existentes, deve ser embasada em recursos humanos, financeiros e educacionais em dimensões compatíveis com o tamanho do desafio. No entanto, essa não é a decisão atual (VILLAS BÔAS, 2012). Como NOBRE et al. (2016) comentaram, para aproveitar adequadamente as oportunidades da biodiversidade da Amazônia são necessários investimentos contínuos, da mesma ordem daqueles aplicados pelos Estados Unidos para colocar um homem na lua. São grandes as mudanças desejadas para atender ao bem-estar da população da Amazônia e às necessidades de sobrevivência da floresta.

O avanço dos conhecimentos sobre o Bioma Amazônia tem mostrado um caminho possível para conciliar desenvolvimento e preservação da floresta. Para isso, de acordo com diversos projetos e trabalhos produzidos por renomados cientistas da região, é prioritário valorar ambientalmente sustentável e economicamente viável os seus recursos naturais. O novo modelo deve usar o patrimônio natural sem destruí-lo, atribuindo valor à floresta para que os bens e serviços produzidos a partir dela possam competir com outras *commodities*.

As instituições de ensino e pesquisas da Amazônia têm papel fundamental nesse cenário, dada a sua experiência e o conhecimento científico e tecnológico produzidos na região. O desafio consiste em preparar-se para produzir de forma eficaz e eficiente um padrão de CT&I, fortalecendo a capacitação de recursos humanos altamente qualificados no contexto de uma economia verde.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, C.A. et al. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 291-302, 2016.
- ARAGÃO, L. E. O. C et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of Royal Society: B**, v. 363, p. 1779–1785, 2008.
- BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in

- an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of Royal Society: B**, v.363, p.1787–1794, 2008.
- BRONDÍZIO, E. S. **The Amazonian caboclo and the açai palm: forest farmers in the global market**. Bronx, NY: The New York Botanical Garden Press, 2008. 403 ISBN 978-0-89327-476-4.
- CLAY, J. W.; SAMPAIO, P. D. T. B.; CLEMENT, C. R. **Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização**. Manaus: Sebrae / Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1999.
- CLEMENT, C. R. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. **Economic Botany**, v. 53, n. 2, p. 188-202, 1999.
- _____. Um pote de ouro no fim do arco-íris? O valor da biodiversidade e do conhecimento tradicional associado, e as mazelas da lei de acesso: uma visão e proposta a partir da Amazônia. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v.3, n. 5, p. 7-28, 2007.
- _____. Da domesticação da floresta ao subdesenvolvimento da Amazônia. In: MENDES DOS SANTOS, G. (Ed.). **Cadernos de Debate do Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2018. no prelo.
- _____. HIGUCHI, N. A floresta amazônica e o futuro do Brasil. **Ciência e Cultura**, v. 58, p. 44-49, 2006.
- FEARNSIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A. 2006. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the Arc of Deforestation to Central Amazonia. **Environmental Management**, 38:705-716.
- FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, volume 1, nº 1, Julho, 2005.
- FERREIRA, E.J.G. Recursos Pesqueiros: uma análise conjuntural. In: VAL, A.; MENDES DOS SANTOS, G. (Ed.). **Cadernos de Debate do Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Tomo II. 2009 p.19-64. ISBN 978-85-211-0050-8.
- FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, vol.53, no.1 Brasília: Jan./Mar. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032015000100091>. Acesso em: 9 fev. 2018.
- GRAÇA, P.M.L.A.; SANTOS JR.M.A.dos; ROCHA, V.M.; FEARNSIDE, P.M.; EMILIO, T.; MENGER, J.S.; MARCIANTE, R.; BOBROWIEC, P.E.D.; VENTICINQUE, E.M.; ANTUNES, A.P.; BASTOS, A.N.; ROHE, A.N. Cenários de desmatamento para região de influência da rodovia BR-319: perda potencial de habitats, status de proteção e ameaça para a biodiversidade. p. 91-101 In: T. EMILIO; F. LUIZÃO (eds.). **Cenários para a Amazônia: Clima, Biodiversidade e Uso da Terra**. Manaus: Editora INPA, 2014.

- HEMMING, J. **Red gold: the conquest of the Brazilian Indians**. 2. London: Papermac, 1995.
- HOMMA, A. K. O. Plant extractivism or plantation: what is the best option for Amazonia? **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 167-186, 2012. ISSN 0103-4014.
- HOMMA, A. K. O. et al. Açaí: novos desafios e tendências. In: HOMMA, A. K. O. (Ed.). **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 7, p.133-148. ISBN 978-85-7035-335-1.
- IMAZOM/ISA. Áreas Protegidas na Amazônia brasileira: avanços e desafios. Adalberto Veríssimo et al.(Org). Belém: Imazon; São Paulo: Instituto Socioambiental, 2011.
- JUNK, W. J. et al. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011. ISSN 0277-5212, 1943-6246.
- KERR, W. E.;VENCOVSKY, R. Melhoramento genético em abelhas I. Efeito de número de colônias sobre o melhoramento. **Braz. J. Genetics** 5:279- 285, 1982.
- KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. Nova Odessa, São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 2014. ISBN 8586714461.
- LAURANCE, W.F.; VASCONCELOS, H.L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis** 13:434-451, 2009.
- LEVIS, C. et al. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. **Science**, v. 355, n. 6328, p. 925-931, 2017. ISSN 0036-8075.
- . How people domesticated Amazonian forests. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 5, p. 171, 2018. ISSN 2296-701X.
- LEWINSOHN, T.; PRADO, P. I. **Biodiversidade brasileira: síntese do estado atual do conhecimento**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. ISBN 8572442111.
- LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. A. Amazon tipping point. **Science Advances**, v. 4, p. eaat2340, 2018.
- MMA/INPE/PRODES (2017) Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 15 dez.2017.
- NOBRE, C. A. et al. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 113, n. 39, p. 10759-10768, 2016.
- OLIVEIRA, M. D. S. P.; MOCHIUTTI, S.; FARIAS NETO, J. T. Domesticação e melhoramento do açaizeiro. In: BORÉM, A.;LOPES, M. T. G., et al.

- (Ed.). **Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas**. Viçosa: Editora da Univ. Fed. Viçosa, 2009. p.207-235.
- OLIVEIRA, L. C.; VALENTIM, N.W.; FIGUEIREDO E. O. FRANKE, I.L. Impactos da Exploração Seletiva de Madeira em áreas em processo de fragmentação florestal. **Cerne**, Lavras, v.9, n. 2, p. 213-220, jul./dez. 2003.
- PPCDAm. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal. Fase I. Brasília, DF: Casa Civil, 2004.
- RUDORFF, B. F. T. et al. The Soy Moratorium in the Amazon Biome Monitored by Remote Sensing Images. **Remote Sensing**, v.3, p.185–202, 2011.
- SUDAM. **Boletim Amazônia - Indicadores socioeconômico-ambientais e análise conjuntural da Amazônia Legal**. POLÍTICAS, D. D. P. E. A. D. Belém: Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia. 2: 1-147 p. 2016.
- TEIXEIRA, W. Solos da Amazônia. 10.13140/RG.2.2.33866.98247. **Exposição** realizada no Museu Nacional do Rio de Janeiro, dez 2016.
- TER STEEGE, H. et al. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. **Science**, v. 342, n. 6156, p. 1243092, 2015.
- TERRACLASS. Dinâmica do uso e cobertura da terra no período de 2004 a 2014. Dez anos nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal Brasileira. MCTI/MMA/MAPA/INPE/CRA, 2016.
- VALERIANO et al. Dimensões do desmatamento na Amazônia brasileira. In: MARTINE, G. **População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais: contribuições para uma agenda brasileira**. P. 233-238, Inprint. Jun 2012.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. ISBN 8524003847.
- VILLAS BÔAS, E. D. C. Segurança nacional na Amazônia. In: VAL, A. L. e MENDES DOS SANTOS, G. (Ed.). **Caderno de Debates, Grupo de Estudos Estratégicos Amazônicos (GEEA)**, Tomo V, 2012. p.151-173. ISBN 978-85-211-0109-3.
- WWF - BRASIL / INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MAMIRAUÁ. **Novas espécies de vertebrados e plantas na Amazônia: atualização e composição da lista: 2014-2015**. Brasília, 2017.
- XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. S. R. V.; SANTOS, J. R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 97-106, 2013.

3

BIOMA CERRADO: agricultura no Cerrado brasileiro, histórico e desafios da agricultura ambientalmente sustentável

Edson Eyji Sano¹

3.1 Aspectos gerais

O bioma Cerrado, com uma extensão de 203,92 milhões de hectares, ocupa a porção central do país, estendendo-se desde o litoral do Maranhão até o norte do estado do Paraná, com uma variação de mais de 22° em latitude (IBGE, 2004). O Cerrado faz limite com os biomas da Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal, cobre 1.389 municípios e o Distrito Federal na sua totalidade e a maior parte dos estados de Goiás e Tocantins (97% e 91%, respectivamente). Os outros estados que possuem mais de 50% dos seus territórios cobertos pelo Cerrado são o Maranhão (65%), o Mato Grosso do Sul (61%) e Minas Gerais (57%). Porcentagens menores de Cerrado também são encontradas nos estados de Mato Grosso (40%), Piauí (37%), São Paulo (33%), Bahia (27%), Paraná (2%) e Rondônia (0,2%). Vale ressaltar que existem áreas de Cerrado no Amapá e ainda várias ilhas disjuntas de Cerrado dentro do bioma Amazônia, mas que não pertencem ao bioma de Cerrado.

Até meados de 1960, a ocupação esparsa do Cerrado era dominada pela pecuária de subsistência, baseada no uso de pastagens nativas. Naquele tempo, havia um paradigma de que os solos ácidos, profundos e com baixa fertilidade do Cer-

¹ Pesquisador da Embrapa Cerrados.

rado não eram aptos para a implantação de agricultura em larga escala. Somente árvores e arbustos tortuosos poderiam sobreviver nesse tipo de solo com baixa aptidão agrícola.

Atualmente, o Cerrado é a principal região do Brasil em termos de produção de grãos, notadamente soja, milho, algodão e café irrigado, com destaque ainda para produção de carne bovina e açúcar/etanol. Regiões como Luís Eduardo Magalhães no oeste da Bahia, Jataí e Rio Verde no sudeste de Goiás, Lucas do Rio Verde e Sinop em Mato Grosso são algumas das principais fronteiras agrícolas do Brasil, com as produtividades mais altas do mundo. Atualmente, a região de MATOPIBA (bordas dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), no norte do Cerrado, é a mais nova fronteira agrícola do Brasil. Nessa região, a área plantada com soja aumentou 253% no período de 2000 a 2014 (de 0,97 milhões para 3,42 milhões de hectares) (AGROSATÉLITE, 2015), mas com todos os problemas disso decorrentes. Nesse texto, é apresentado um breve histórico da ocupação agrícola do Cerrado, suas principais consequências para o meio ambiente e políticas públicas prioritárias para a agricultura ambientalmente sustentável.

3.2 Ocupação agrícola do Cerrado

Em 1973, o governo brasileiro criou a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), instituição que foi uma das principais responsáveis pelo desenvolvimento de novas variedades de culturas agrícolas mais adaptadas às condições de clima e solo do Cerrado. Vários experimentos de campo e de laboratório foram conduzidos com cooperação técnica e suporte financeiro da *Japan International Cooperation Agency* (JICA), principalmente no período de 1977 a 2000. A pesquisa mostrou que era possível produzir 3 toneladas/ha de soja, enquanto a média nacional era de 1 tonelada/ha. A produtividade do milho atingiu 6 toneladas/ha, enquanto a média nacional foi de 1,4 toneladas/ha. Recomendações para o uso de novas variedades de culturas e para aplicação de calcário e fertilizantes em quantidades corretas para atender às necessidades das culturas de forma mais eficiente foram logo disponibilizadas aos agricultores. Algo como 5 toneladas/ha de calcário começaram a ser espalhados na superfície do solo para corrigir a sua acidez, uma técnica conhecida como calagem.

O governo também criou o Sistema Nacional de Crédito Rural, oferecendo, aos agricultores, acesso ao crédito subsidiado para compra de terras, produção de grãos e comercialização. A região teve ainda um rápido crescimento urbano depois que Brasília se tornou a capital do país em 21 de abril de 1960, melhorando a rede rodoviária para o transporte de grãos. Planos e programas governamentais foram criados para aumentar a produção e modernização da agricultura, espe-

cialmente o Programa de Cooperação Japão-Brasil para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER, 1979-2001) – (HOSONO et al., 2016).

Em 1960, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná eram os principais produtores de soja no Brasil (Figura 1), evidenciando a dependência do país no uso de variedades de soja desenvolvidos por países do Hemisfério Norte para climas temperados. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), havia, no Brasil, em 1960, 0,4 milhão de hectares de soja. Os esforços para desenvolver novas variedades adaptadas ao clima e às condições do Cerrado permitiram a expansão da soja para a parte sul do Cerrado em meados de 1970. Cerca de 5 milhões de hectares de soja foram plantados nessa década. Em 2002, a soja podia ser encontrada em grande parte do Cerrado, inclusive avançando para a Amazônia brasileira, especialmente na Região Sul do estado do Pará. Em 2000/2005, 44 milhões de hectares de soja foram plantados no país.

Figura 1. Distribuição aproximada do plantio de soja no Brasil em 1960, 1975 e 2002.



Fonte: Com base na ilustração do Dr. Plínio Itamar de Sousa, pesquisador aposentado da Embrapa Cerrados (dados não publicados).

O estudo coordenado pelo Dr. Bernardo Rudorff, ex-cientista do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE (AGROSATÉLITE, 2015), mostrou alguns números impressionantes relacionados à agricultura neste bioma:

- No plantio da safra 2013/2014, 52% (16 milhões de hectares) da área agrícola do Cerrado foram cultivadas com soja;
- A área plantada com soja, milho e algodão aumentou de 9,33 milhões de hectares em 2000/2001 para 17,4 milhões de hectares em 2013/2014 (87% de aumento); e
- Considerando-se apenas a soja, a área plantada aumentou de 7,5 milhões de hectares em 2000/2001 para 15,7 milhões de hectares em 2013/2014 (aumento de 108%).

Em termos de extensão em área, predominam as pastagens cultivadas no Cerrado, resultado do desenvolvimento de novas variedades de espécies cultivadas a partir de sementes originalmente trazidas da África, tais como a braquiariinha (*Brachiaria decumbens*), braquiaraço (*Brachiaria brizantha*) e *Brachiaria humidicula* (bem adaptada para solos úmidos). Essas espécies são de 5 a 10 vezes mais produtivas em termos de biomassa aérea e mais resistentes a solos ácidos do que as espécies de gramíneas nativas presentes no Cerrado (principalmente *Melinis minutiflora*², popularmente conhecida como capim-gordura). Eles também são mais resistentes às cigarrinhas e cochonilhas.

De acordo com o mapa mais recente de uso da terra do Cerrado (Brasil, 2015), aproximadamente 43% (88 milhões de hectares) do bioma Cerrado estavam sendo utilizados para a produção de alimentos e energia em 2013 (Figura 2) e 55% do bioma ainda estavam cobertos com vegetação natural. Os 2% restantes consistiam de corpos de água, áreas queimadas ou áreas cobertas com nuvens e sombras de nuvem que não foram mapeadas.

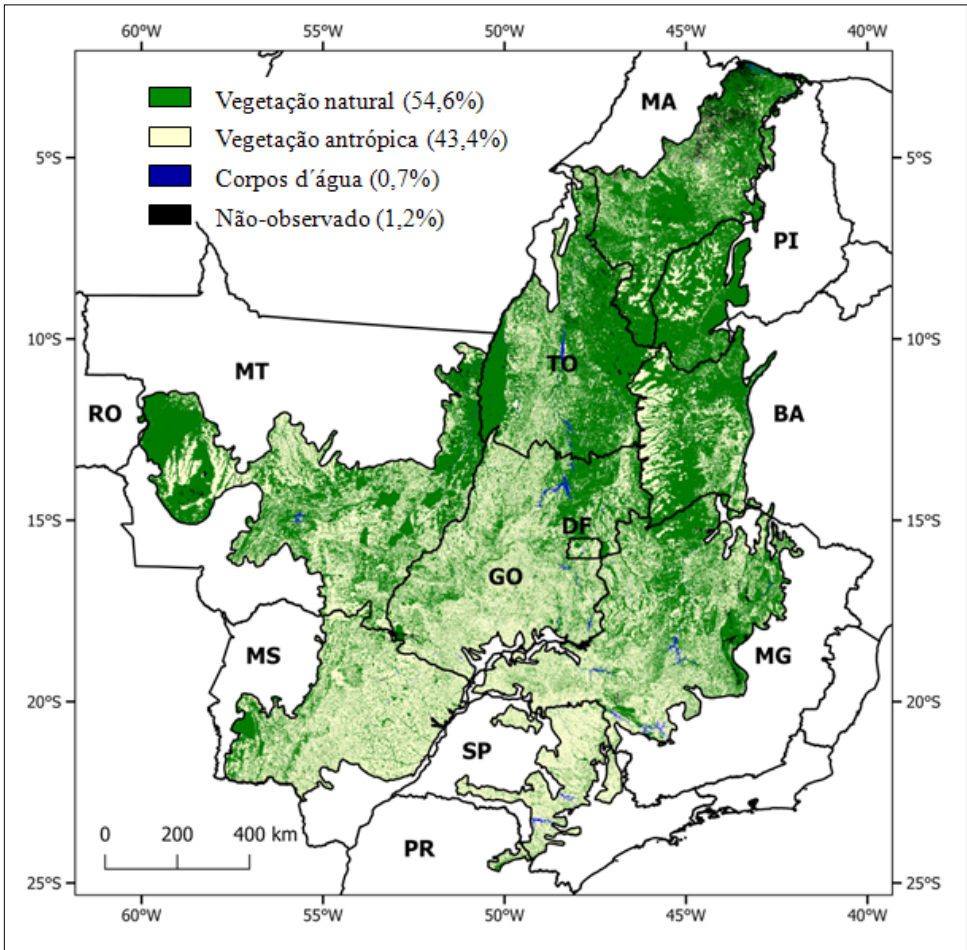
3.3 Efeitos da ocupação agrícola no meio ambiente

O Censo Agropecuário publicado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostrou que as pastagens cultivadas na parte central do país aumentaram de 9 milhões de hectares em 1970 para 45 milhões de hectares em 1996. Ao contrário dos fazendeiros, os pecuaristas aplicam uma quantidade reduzida de fertilizantes apenas, para não reduzir a produtividade da biomassa a níveis irreversíveis. Como consequência, depois de alguns anos (> 10 anos), as pastagens começam a degradar-se, reduzindo a capacidade produtiva de biomassa vegetal. Começam a aparecer termiteiros e a erosão do solo começa a se acentuar. Outros efeitos nocivos ao meio ambiente são a redução na capacidade de absorção de CO₂ da atmosfera devido à redução nas atividades fotossintéticas e as perdas na capacidade de retenção da umidade de solos. Aumenta-se ainda a pressão por novos desmatamentos no Cerrado, uma vez que os pecuaristas buscam novas terras para substituir as suas pastagens degradadas.

Quanto às atividades de produção de grãos, o principal problema ambiental é a perda da biodiversidade vegetal do Cerrado por causa do desmatamento por corte raso em grandes extensões. Apesar do Novo Código Florestal Brasileiro (Lei no. 12.651 de 25 de maio de 2012) estabelecer que, no bioma Cerrado, são necessários preservar apenas 20% (ou 30% se a propriedade estiver dentro da

² A espécie não é nativa, mas de origem africana e foi trazida muito cedo pelos portugueses. Saint-Hilaire refere-se a ela no seu livro, de 1723, e sobre os problemas que poderia causar.

Figura 2. Distribuição espacial de classes naturais e antrópicas do Cerrado brasileiro em 2013.



Fonte: Brasil (2015).

Nota: A classe Não-observado corresponde a áreas com queimadas ou cobertas com sombra de nuvens impossíveis de serem mapeadas.

Amazônia Legal) da propriedade com vegetação nativa, o desmatamento ao longo dos córregos e rios e ao redor das nascentes causam dano ambiental imediato que é o assoreamento dos rios. A instalação de sistemas de irrigação, notadamente por pivô-central nas nascentes, reduz drasticamente a oferta hídrica ao longo de todo o curso d'água. A contaminação da água superficial e subterrânea do Cerrado por causa do uso excessivo de fertilizantes, pesticidas e herbicidas ainda

é pouco estudada, não havendo ainda estimativas precisas sobre o nível de contaminação no Cerrado como um todo.

3.4 Temas prioritários para ocupação ambientalmente sustentável

Atualmente, uma das tecnologias mais promissoras para a agricultura ambientalmente sustentável do Cerrado é a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Trata-se de um sistema misto para produzir, simultaneamente, carne, grãos e madeira. Inicialmente, divide-se uma fazenda em quatro partes. Em uma dessas partes, planta-se uma determinada cultura agrícola, por exemplo, soja ou milho, sem remover a pastagem cultivada. Para o plantio de soja ou milho, é necessário corrigir a acidez e a fertilidade do solo com fertilizantes e calagem. No segundo ano, repete-se a operação em outra parte da fazenda. Ao final de quatro anos, tem-se toda a fazenda com pastagem recuperada e o pecuarista obtém ainda lucro extra com a venda de grãos. Adicionalmente, o pecuarista pode ainda plantar linhas de Eucalipto³ ou outra espécie florestal exótica. O sistema é particularmente vantajoso para pecuaristas que sofrem com degradação de pastagens. O ILPF apresenta as seguintes vantagens:

- Redução dos riscos de incidência de insetos, nematoides, doenças e ervas daninhas, por meio da diversificação de produtos;
- Redução da erosão do solo e da infiltração do solo;
- Redução da pressão para novos desmatamentos;
- Aumento do lucro pela produção adicional de grãos e madeira;
- Recuperação e renovação de pastagens degradadas mais rapidamente e com menor custo e
- Aumento do teor de matéria orgânica do solo.
- Redução da perda de produção devido a períodos secos, uma vez que a ILPF pode melhorar a porosidade do solo e a profundidade dos sistemas radiculares da planta;
- Maior nível de absorção de CO₂ e redução da emissão de metano pelo gado devido à melhoria da qualidade das pastagens;

³ Trata-se de uma espécie com grandes impactos no uso da água, como evidenciado cientificamente. O uso foi feito sem que, ao mesmo tempo, fossem feitos investimentos no desenvolvimento de espécies nativas. No caso do Cerrado, o carvoeiro (*Sclerobium paniculatum*) é uma espécie fantástica que tem crescimento rápido, mas que nunca foi estudado. Ai está um tópico central: desenvolver espécies arbóreas nativas para este fim.

- Mais empregos nas fazendas e maior motivação para a qualificação profissional dos trabalhadores agrícolas.

A adoção da tecnologia ILPF por parte dos pecuaristas deve ser incentivada. No entanto, por causa do mosaico de ocupações dentro de uma mesma propriedade, o monitoramento de áreas ocupadas com ILPF constitui-se em um desafio, uma vez que as técnicas convencionais de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto aplicadas ao monitoramento de áreas plantadas funciona a contento quando os produtores adotam sistemas de monoculturas extensas.

A conservação de recursos hídricos do Cerrado é outro tema prioritário, pois o bioma Cerrado é o berço das águas do Brasil, desempenhando papel essencial na distribuição de recursos hídricos para oito das 12 grandes regiões hidrográficas do país. No Cerrado, a demanda por recursos hídricos é cada vez maior, por causa do crescimento populacional em áreas urbanas e também por causa do aumento no número de áreas irrigadas, principalmente para produção de café, feijão, hortaliças e soja (nesse último caso, para produção de sementes). Em 2002, eram encontrados 6.001 pivôs-centrais no Cerrado, isto é, 478.632 hectares irrigados (LIMA et al., 2015). Em 2013, foram identificados 10.942 pivôs-centrais, totalizando 835.695 hectares irrigados. Portanto, nesse período de 11 anos entre os dois levantamentos, verificou-se um crescimento de 82,3% no número de equipamentos e 74,6% na área irrigada por pivô-central. Por isso, seria conveniente avaliar a sustentabilidade de sistemas de irrigação e/ou de cultivos alternativos.

Uma das providências mais urgentes na conservação de recursos hídricos do Cerrado é a conservação da vegetação nativa ao longo de drenagens e nascentes, consideradas como áreas de proteção permanente (APPs) pelo Novo Código Florestal Brasileiro. Para isso, os passivos ambientais ao longo dessas APPs hidrológicas precisam ser estimados por meio de análise de imagens de satélite com resolução espacial fina, da ordem de 1-5 metros. Políticas de incentivo de recuperação desses passivos ambientais precisam ainda ser adotadas, com vegetação nativa. Porém, a recuperação seria mais efetiva se, com a vegetação nativa, para se reduzir perdas da biodiversidade.

Finalmente, os responsáveis pelas políticas públicas precisam estar atentos também para a questão de mudanças climáticas globais. Há suspeita de que o aumento no número de dias sucessivos com temperaturas máximas superiores a um determinado limiar (suspeita-se de um limiar de 31°C) podem causar perdas na produtividade e, principalmente, perdas na qualidade dos grãos, por exemplo, redução na quantidade de proteína na soja, semelhante ao já conhecido fenômeno de isoporização⁴ da cana-de-açúcar devido ao aumento na temperatura média

4 O florescimento da cana é uma característica indesejada para a produção da cana-de-açúcar, pois ele acarreta uma série de prejuízos para a cultura. Quando a cana floresce os colmos param de emitir novos entrenós e iniciam um processo conhecido como isoporização.

da superfície, entre outros fatores climáticos externos a essa cultura. Esse monitoramento com estudos de caso precisa ser feito. Além disso, é preciso testar o efeito que essas mudanças causarão nas espécies cultivadas no bioma.

3.5 Considerações finais

Segundo o IBGE (2006), o Cerrado produziu 22,3 milhões de toneladas de soja em 2006 (49% da produção nacional), bem como 2,5 milhões de toneladas de carne bovina por ano, o que representa cerca de 40% da oferta nacional. Ao mesmo tempo, o Cerrado hospeda pelo menos 12.300 espécies de plantas, muitas das quais são endêmicas (SANO et al., 2008), bem como as cabeceiras das três principais bacias hidrográficas do país, constituídas pelo Amazonas, Paraná e São Francisco. Em outras palavras, não existe nenhum outro lugar no mundo que seja capaz de produzir tamanha quantidade de alimentos e energia, preservando aproximadamente 50% do ecossistema. Isso ocorre apenas no Cerrado, o que abre uma oportunidade única para promover tanto as políticas de desenvolvimento agrícola sustentável quanto as políticas de conservação da biodiversidade na mesma região. No entanto, é nesse ponto que se encontra o problema, pois não se sabe a resiliência do que restou. Apenas no MATOPIBA ele está intacto, mas é lá que se concentram mais de 50% dos tratores de esteiras equipados com correntes para desmatamento dos Cerrados. O Cerrado é o bioma mais desmatado, a taxas 5 vezes maiores do que a da Amazônia.

O Brasil é um país tropical, isto é, não há inverno rigoroso como nos Estados Unidos, Canadá ou Europa setentrional. De acordo com Eduardo Assad, pesquisador da Embrapa, o Brasil não pode se dar ao luxo de usar a fazenda apenas durante quatro meses do ano. A ILPF surge como alternativa viável para utilizar a fazenda durante os 12 meses do ano. O sistema de plantio direto (SPD), que implica em revolvimento do solo superficial em níveis mínimos, manutenção de restos vegetais de culturas anteriores na superfície do terreno e redução de custos de mecanização, é uma tecnologia consolidada e adotada parcialmente ou integralmente por praticamente todos os produtores de grãos do Cerrado. O ILPF tem tudo para se tornar um novo SPD do Cerrado. Produtores e tomadores de decisão precisam investir esforço e recursos financeiros na preservação dos recursos hídricos do Cerrado. Já se percebe uma demanda muito maior do que a oferta de água no Cerrado, que depende quase que exclusivamente das chuvas. O uso de água subterrânea deve ser evitada ou usada de forma sustentável, pois o Cerrado é o local de recarga de aquíferos importantes do país, notadamente o aquífero Guarani, a despeito de se encontrar áreas em que a água jorre com facilidade.

Referências bibliográficas

- AGROSATÉLITE. **Análise geoespacial da dinâmica das culturas anuais no bioma Cerrado: 2000 a 2014**. Florianópolis: Agrosatélite, 2015, 28 p.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente. Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: MMA, 2015, 67 p.
- HOSONO, A.; ROCHA, C.M.C.; HONGO, Y. **Development for Sustainable Agriculture. The Brazilian Cerrado**. Houndmills: Palgrave Macmillan, 2016, 257 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas e de vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 3/6/18.
- _____. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf. Acesso em: 7/6/18.
- LIMA, J.E.F.W.; SANO, E.E.; EVANGELISTA, B.A.; LOPES, T.S.S. Variação da área irrigada por pivô central no Cerrado entre 2002 e 2013. **Item**, n. 104/105, p. 68-72, 2015.
- SANO, S.M., ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado. Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, v. 2, 2008, 1279 p.

4

BIOMA CAATINGA: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável

Lúcia Helena Piedade Kill¹
Diogo Denardi Porto²

4.1. Características gerais

Em escala global, a Caatinga faz parte da maior e mais diversificada floresta tropical sazonalmente seca do Novo Mundo (FTSS), um bioma global que não foi reconhecido pela comunidade científica como distinto até poucos anos atrás. Em geral, a maioria desse bioma ainda permanece pouco estudada e protegida em comparação com as florestas tropicais e savanas adjacentes. No entanto, dos biomas do FTSS abrigam quase 1 bilhão de pessoas em todo o mundo e estão entre os sistemas ecológicos mais vulneráveis às mudanças climáticas. A má gestão dos FTSSs pode levar à perda de biodiversidade e à redução dos custos dos serviços ecossistêmicos que sustentam milhões de pessoas de baixa renda. A falha em abordar esse desafio pode exacerbar os conflitos sociais e as migrações maciças. Portanto, os FTSSs são áreas socioecológicas que merecem atenção muito próxima de três grandes grupos internacionais: as comunidades científicas, de conservação e de desenvolvimento.

O Semiárido brasileiro, como parte dos FTSSs, constituído pela Caatinga, está localizado no nordeste do país e nele habitam cerca de 28,6 milhões de pessoas, sendo a maioria carente e dependente dos recursos naturais da região (IBGE, 2010). A maior parte de seu território é revestida pela formação vegetal

¹ Pesquisadora da Embrapa Cerrados.

² Pesquisador da Embrapa Semiárido.

denominada Caatinga, uma FTSS cujas espécies apresentam características morfofisiológicas adaptadas ao estresse hídrico e às altas temperaturas, tornando-as uma opção para o desenvolvimento da região, pois servem de suporte para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais.

Nas últimas décadas, a pressão sobre a exploração dos recursos naturais da Caatinga vem aumentando, devido, principalmente, ao consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e não sustentável para fins domésticos e industriais, ao sobrepastoreio e à conversão para pastagens em agricultura. Esse modelo de exploração predatória tem impactado, principalmente, os recursos naturais renováveis do bioma. Hoje, já são registradas alterações na composição e diversidade da flora e fauna locais, bem como aceleração do processo de erosão e declínio da fertilidade do solo e da qualidade da água, cujo efeito agregado gera a desertificação, o que já ocorre em algumas áreas do Bioma Caatinga.

Essa situação se agravou pela ocorrência, nos últimos seis anos, de taxas de precipitação significativamente menores do que a média histórica, com consequências diretas para os pequenos produtores, em virtude da estrutura fundiária existente. Verifica-se, que muitos são os desafios para o desenvolvimento sustentável da região. Aqui apresentaremos alguns deles e algumas das ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação – PD&I – que poderiam contribuir para minimizar essa situação.

O desmatamento elevado no Bioma Caatinga vem gerando processos de desertificação em diversas áreas, alterando diretamente a biota, o microclima e os solos, sendo fundamental o desenvolvimento de técnicas de pesquisa capazes de incorporar informações que identifiquem o estado dos recursos naturais, apontando os seus relacionamentos e alguns caminhos a serem tomados para uma intervenção eficiente que gere a recuperação e o aproveitamento sustentável das terras nesse ambiente. O Método de Transecto Linear para Fanerófitos e Caméfitos constituiu-se em um conjunto de técnicas utilizado pela primeira vez no Brasil para analisar áreas submetidas à desertificação, apresentando indicadores biogeográficos, climatológicos, geomorfológicos e hidrológicos. Através da aplicação do método em uma área do município de São Domingos do Cariri (PB), foi identificada uma diversidade vegetal muito baixa (13 espécies e 489 indivíduos), dominância de poucas espécies (5) e baixa abundância, com maior número de indivíduos nos estratos arbustivo alto e arbustivo, tendo como causa a retirada excessiva de vegetação, as queimadas e o uso contínuo pelo gado caprino. O Balanço Hídrico apresentou-se negativo, havendo indicação de que a atividade vegetativa depende da precipitação oculta³. Os solos apresentaram crosta superficial de origem

3 Precipitação oculta é entendida como o fenômeno em que a vegetação (ou outro objecto, natural ou não) captura, por um processo de impacto ou colisão, as minúsculas gotículas de água existentes no nevoeiro e que na sua ausência seriam mantidas em suspensão na atmosfera.

antrópica, tornando a aridez edáfica ainda mais acentuada, associada aos baixos níveis de fertilidade, particularmente o potássio e a matéria orgânica.

4.2 Agropecuária na Caatinga e seus efeitos sobre o meio ambiente

A área de ocorrência do bioma Caatinga sobrepõe-se em grande medida à do semiárido brasileiro, considerada como uma das regiões de clima semiárido mais povoadas do mundo (SALCEDO; MENEZES, 2009). O resultado dessa combinação de fatores é uma diminuição progressiva da cobertura vegetal desse bioma, como resultado de diversas ações antrópicas. O resultado dessa combinação de fatores é uma diminuição progressiva da cobertura vegetal desse bioma, por efeito dos diversos tipos de clima da Caatinga, de acordo com a Figura 1. Paralelamente, a Caatinga é um dos biomas brasileiros menos estudados e que conta com menos unidades de conservação (SANTOS et al., 2011). O resultado dessa combinação de fatores é uma diminuição progressiva da cobertura vegetal desse bioma.

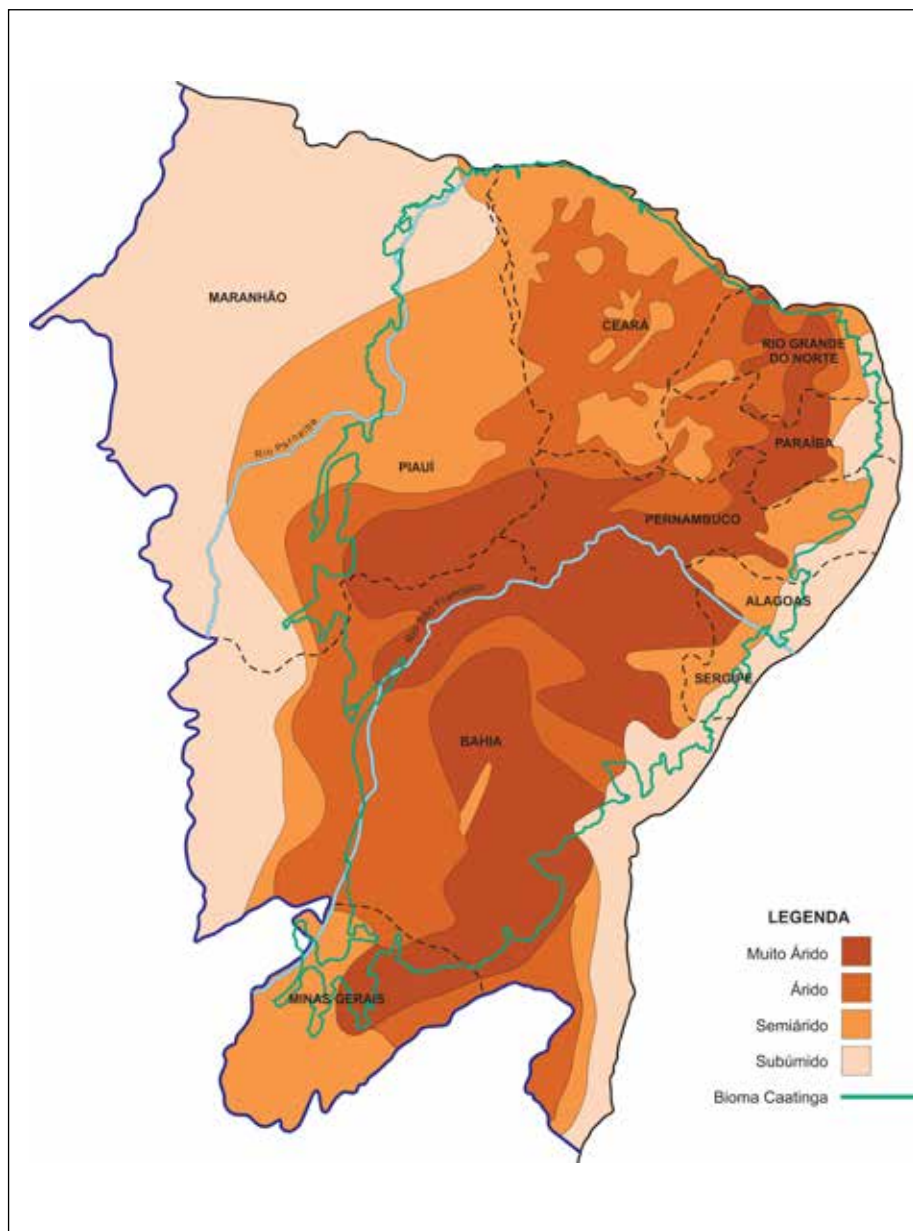
Essa situação pode ser acompanhada pela análise de imagens de satélite, que demonstram a conversão do uso da terra em diversas regiões. BEUCHLE et al. e colaboradores (2015) observaram uma redução líquida média de 0,3% ao ano na cobertura vegetal da Caatinga entre os anos de 1990 e 2010, resultando em uma redução da taxa de cobertura de 67,4% para 63,2% no período.

A taxa de redução foi mais intensa no período entre os anos 2000 e 2010, quando comparada à década de 1990, demonstrando uma tendência de aumento de desmatamento. A cobertura vegetal e o uso das terras do bioma Caatinga atualmente são apresentados na Figura 2.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2011), a taxa de cobertura da Caatinga em 2009 situava-se em 53,4%. As diferenças dos resultados entre esse levantamento e o anterior referem-se a pequenas diferenças metodológicas, como os tipos de formações considerados como vegetação nativa. Ainda segundo os dados do MMA, em termos percentuais de área (2008 a 2009), a Bahia foi o estado no qual a vegetação da Caatinga sofreu maior supressão no período, seguida pelo estado do Ceará. No entanto, a Bahia também é o estado que possui a maior extensão de remanescente de Caatinga.

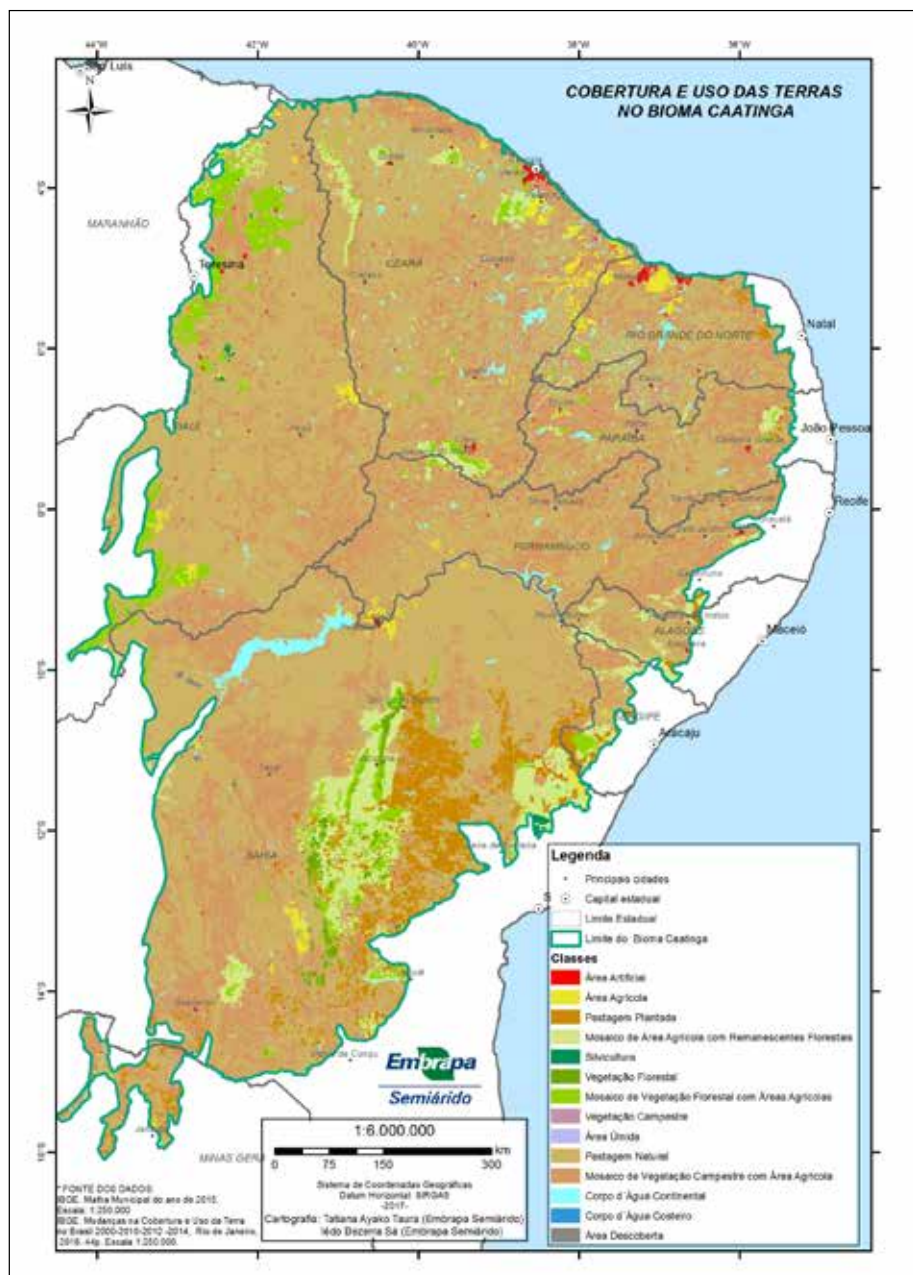
A vegetação da Caatinga, mesmo durante a estiagem, quando está quase completamente sem folhas e com o crescimento interrompido, continua desempenhando a importante função de proteger o solo contra agentes erosivos. Outras

Figura 1. Tipos de Clima do Bioma Caatinga.



Fonte: Hargreaves, 1974.

Figura 2. Cobertura e Uso das Terras do Bioma Caatinga.



Fonte: IBGE, 2004.

formas de uso da terra frequentemente não protegem o solo desses agentes. Como resultado, a degradação ambiental causada pelo desmatamento culmina no fenômeno da desertificação, ou seja, a perda da capacidade produtiva da área, tanto do ponto de vista ecológico como do econômico.

A desertificação é um fenômeno que ocorre tipicamente em regiões de clima árido, semiárido ou subúmido e pode ter causas naturais ou antrópicas. As causas antrópicas envolvem o desmatamento, a extração predatória de recursos florestais, as queimadas, o sobrepastejo e o manejo inadequado do solo (SÁ et al., 2010). As áreas atingidas pela desertificação tornam-se totalmente improdutivas, gerando reflexos socioeconômicos graves. A população rural das áreas desertificadas é obrigada a abandonar a área ou viver em condições de extrema dificuldade. Nesse contexto, a Figura 3 apresenta as mesorregiões do Bioma Caatinga.

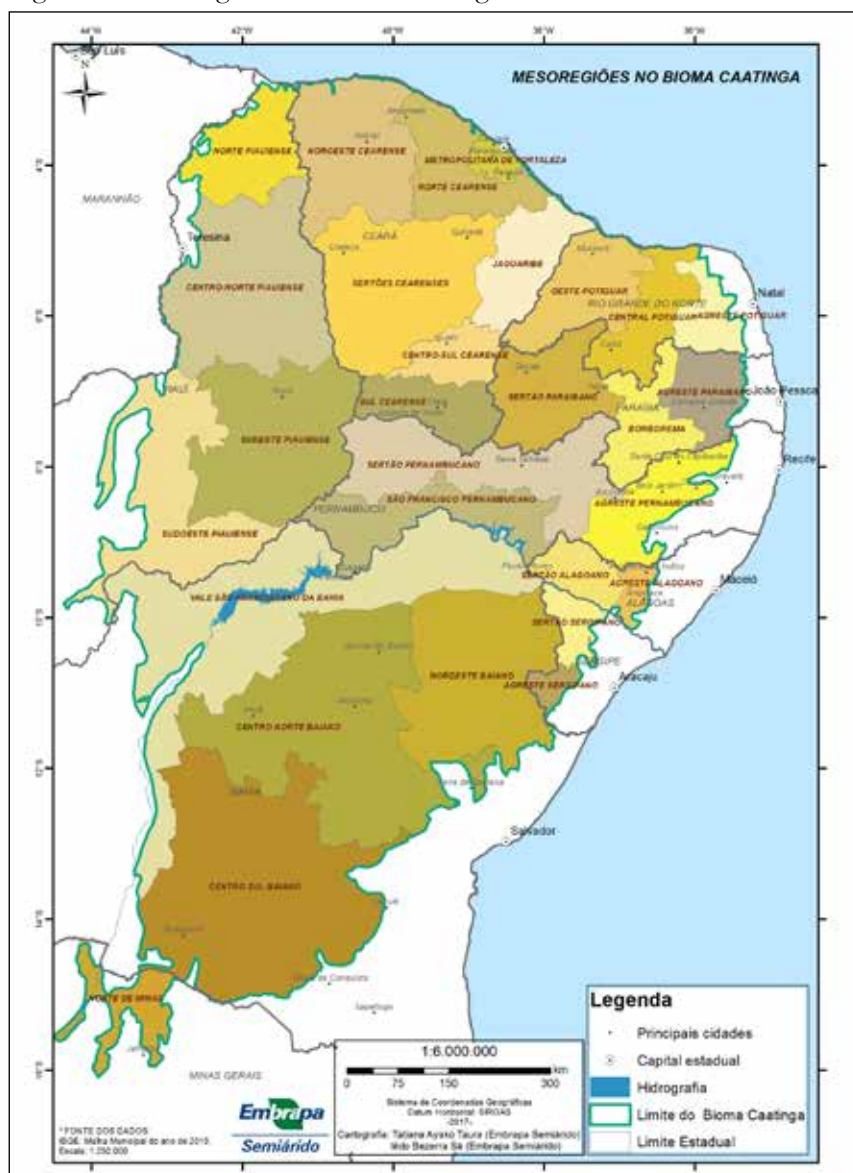
As causas da diminuição da cobertura natural da Caatinga são diversas e muitas vezes derivadas de especificidades regionais. No Estado da Paraíba, o desmatamento indiscriminado para atendimento da demanda de madeira e lenha da região fez com que aproximadamente 85% do Semiárido paraibano se tornasse sensível à desertificação (SÁ et al., 2013). Já na Região de Desenvolvimento do Vale do Rio São Francisco, no extremo oeste do estado de Pernambuco, as áreas com moderado e severo risco de desertificação compreendem 74% e 23% das áreas totais, respectivamente (SÁ et al., 2015). Esse processo deve-se à substituição da vegetação natural por campos de cultivos, pastagens e outros usos do solo. No Seridó da Paraíba e do Rio Grande do Norte, a degradação ambiental resulta de atividades de mineração, pastoreio extensivo de bovinos e caprinos, abandono de áreas agrícolas e extração de lenha (COSTA et al., 2009). Nessa região, a Caatinga se apresenta como uma vegetação esparsa, de aspecto arbóreo-arbustivo, crescendo sobre solos rasos e muito propensos à erosão.

As áreas de Caatinga que são desmatadas têm recuperação extremamente lenta. Levantamentos que comparam áreas com diferentes graus de preservação estimam que poderão ser necessários 50 anos para que a vegetação se recupere totalmente de um episódio de desmatamento (ARAÚJO FILHO, 2013). Isso é consequência do crescimento descontínuo da vegetação, afetados por períodos de estiagem que podem se estender por oito ou até 10 meses ao ano, por vários anos.

Entre as atividades agropecuárias que impactam a Caatinga encontra-se o sistema tradicional de pousio, no qual uma área é desmatada, queimada, cultivada com culturas de subsistência (milho, feijão, mandioca e legumes) por certo período e, em seguida, abandonada. Essa estratégia foi, por muito tempo, a forma predominante de uso da terra no Semiárido brasileiro e em outras regiões da América Latina (KASS; SOMARRIBA, 1999). Na Caatinga, depois de 3 a 5 anos de produção de culturas como milho, feijão e mandioca, a área é abandonada

para regeneração natural por um período de cerca de 10 anos, já muito inferior, portanto, ao período necessário para o pleno restabelecimento da vegetação arbórea. Com o crescimento populacional, contudo, esse período de regeneração natural praticado pelo pequeno produtor diminuiu ainda mais. Assim, os efeitos deletérios do corte e queima da vegetação aumentaram.

Figura 3. Mesorregiões do bioma Caatinga.



Fonte: IBGE, 2004.

A regeneração natural no período de pousio é praticada empiricamente como função de restauração da fertilidade do solo, que por sua vez decorre do ingresso, no solo, de matéria orgânica derivada da biomassa vegetal produzida no período (TIESSSEN; SAMPAIO; SALCEDO, 2001). A prática tradicional da queima da vegetação diminui drasticamente o estoque de carbono, reduzindo fertilidade e mostrando-se inadequada para o manejo sustentável de solos no Semiárido (SACRAMENTO et al., 2013). O solo menos fértil suporta uma comunidade menor de espécies nativas que, por sua vez, produzirá menos aporte de matéria orgânica ao solo no próximo ciclo de crescimento, em uma retroalimentação negativa característica de processos de desertificação.

O corte e a queima também afetam diretamente a viabilidade e diversidade do banco de sementes do solo. MAMEDE e ARAÚJO (2008) observaram que o fogo causou uma diminuição de 80% da densidade de plântulas emergentes do banco de sementes, o que representa uma séria ameaça à conservação de comunidades vegetais da Caatinga. A regeneração natural de áreas de Caatinga é altamente dependente da viabilidade de seu banco de sementes como fonte de propágulos para o restabelecimento da flora (SILVA et al., 2013). Sem isso, a área corre sérios riscos de sofrer episódios de erosão, que podem progredir a um processo de desertificação.

Além da matéria orgânica e do banco de sementes, as queimadas afetam seriamente outro componente importante e, por vezes, negligenciado do solo, a comunidade microbiana. Essas comunidades são responsáveis por diversos processos no solo, como a ciclagem de nutrientes, a fixação biológica de nitrogênio e a manutenção da sua estrutura. Áreas que passam por queimadas apresentam diminuição significativa da atividade microbiológica no solo em camadas superficiais (OLIVEIRA et al., 2010).

Outra atividade que impacta os recursos renováveis do bioma é o uso da lenha e do carvão como matriz energética. A utilização da lenha da Caatinga intensificou-se a partir de 1974, quando a política do Governo Federal enfatizou a biomassa como fonte energética. No início dos anos 1990, 35% da energia primária consumida na Região Nordeste eram provenientes dessas fontes (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010). A partir de então, o perfil energético mudou com a diminuição da população rural e a adoção de gasodutos por setores da indústria. Entretanto, em alguns estados, o consumo de lenha permanece em patamares altos, como no Rio Grande do Norte, onde alcança 24% do total do consumo energético, sendo essa proporção ainda maior para uso residencial (53%). Como essa exploração de lenha por extrativismo não foi acompanhada por projetos de reflorestamento da Caatinga para a reposição da biomassa, em muitos locais ocorreu a exaustão dos recursos florestais.

O corte da vegetação da Caatinga na região do Araripe pernambucano é emblemática como representação da exploração desordenada dos recursos madeireiros do bioma. Essa região compreende os municípios de Araripina,

Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri, que formam o polo responsável por 95% da produção nacional de gesso (SÁ et al., 2010). A alta demanda de lenha dessa indústria resultou em significativa pressão ecológica sobre os recursos madeireiros da biodiversidade local. Estima-se que até 65% da área da região foram desmatados até 2009 (DRUMOND et al., 2015).

A substituição da comunidade vegetal complexa por uma monocultura resulta em uma fragilização ecológica, já que a monocultura não tem a plasticidade adaptativa para suportar as adversidades típicas do Semiárido brasileiro (ARAÚJO FILHO; BARBOSA, 1999). Essa plasticidade é derivada tipicamente da diversidade de espécies encontradas nas comunidades naturais. Comunidades diversificadas são mais resistentes a eventos como secas atípicas ou pragas, já que as espécies que os suportam podem ocupar o espaço deixado para trás pelas demais.

As monoculturas costumam ser encontradas em sistemas produtivos altamente especializados e tecnificados e podem demandar alta quantidade de insumos para permanecerem economicamente viáveis. Muitos desses sistemas produtivos têm raízes em regiões de clima temperado e sofrem adaptações para adequarem-se ao clima tropical semiárido. Entretanto, uma série de práticas inadequadas permanece, como o excessivo revolvimento do solo e o baixo aporte de matéria orgânica, que comprometem seriamente a fertilidade da área a médio prazo. Essas práticas ensejam o significativo aporte de insumos necessários à sua permanência, e, quando o sistema é interrompido, a área perde rapidamente as suas propriedades produtivas, devido à quebra dos ciclos biogeoquímicos naturais que mantinham a cobertura vegetal original.

Já a agricultura tradicional na Caatinga, embora relativamente pouco produtiva, é tipicamente praticada com baixo uso de insumos e composta de mais de uma atividade produtiva na mesma área, incluindo muitas vezes a pecuária extensiva. No entanto, as práticas utilizadas são muitas vezes tão danosas quanto aquelas das monoculturas. O período inadequado de pousio, as práticas da queima e das capinas frequentes, que mantêm o solo descoberto, além da exploração predatória dos recursos naturais da Caatinga, são fatores que ocasionam ampla degradação do bioma (ARAÚJO FILHO, 2013).

A Região Nordeste tem uma posição destacada na pecuária nacional, especialmente devido à grande presença de rebanhos de caprinos e ovinos (ARAÚJO FILHO, 2013). Mais de 90% dos rebanhos de caprinos do Brasil situam-se no Nordeste, a maior parte no Semiárido. Esses animais são criados segundo o manejo extensivo, utilizando-se a Caatinga como principal, senão única, fonte alimentar.

A utilização da Caatinga como pastagem para pecuária extensiva é muito disseminada e causa a degradação acentuada da cobertura vegetal (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009; ARAÚJO FILHO; BARBOSA, 1999). A expansão dessa atividade, a partir do século XVII, é considerada um dos principais fatores

que levaram à degradação de paisagens do bioma, tanto pela sua conversão a pastagens cultivadas quanto pelo consumo das plantas nativas pelos rebanhos. Cerca de 70% das espécies da Caatinga são consumidas por caprinos, ovinos e bovinos (ARAÚJO FILHO, 2013). Os caprinos, como pastejam arbustos além de gramíneas e outras herbáceas, distribuindo a biomassa consumida com maior uniformidade entre os estratos vegetais, causam menor impacto em relação a bovinos e ovinos, que se alimentam predominantemente de herbáceas.

O pastejo por caprinos, entretanto, é considerado um fator importante de degradação da Caatinga devido à grande população desses animais no Nordeste brasileiro. A região possui um dos maiores rebanhos caprinos do mundo, a maior parte localizado no Semiárido. O sobrepastejo de caprinos na Caatinga está associado à redução do recrutamento, do crescimento e da distribuição geográfica de várias espécies de plantas herbáceas, arbustivas e arbóreas, afetando a estrutura e a capacidade de regeneração da vegetação (LEAL; VICENTE; TABARELLI, 2003). Além das comunidades vegetais nativas, foi demonstrado que o sobrepastejo diminui o conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nas camadas superficiais do perfil (SCHULZ et al., 2016).

A pressão de pastejo sobre a Caatinga cresce com o aumento da população humana e, em consequência, dos rebanhos. Além disso, a extensão das propriedades que praticam a pecuária extensiva apresenta-se menor a cada ano, aumentando-se, então, a carga animal praticada nesses estabelecimentos. O sobrepastejo agrava o estado de degradação das pastagens, que, por sua vez, suporta uma carga animal cada vez menor, em uma espiral negativa dos pontos de vista social, econômico e ambiental (ARAÚJO FILHO, 2013).

Outra atividade que vem sendo praticada na região é a fruticultura irrigada, que foi responsável por grande desenvolvimento local devido ao volume e à alta qualidade das frutas, que abastecem tanto a demanda doméstica quanto a internacional (MENEZES et al., 2008). Essa atividade é hoje possível graças a investimentos em infra-estrutura hídrica, que possibilitou o bombeamento a partir do rio São Francisco, quer seja de reservatórios ou de estações de captação ao longo do curso. Essa estrutura tem impactos tanto positivos quanto negativos sobre o equilíbrio ecológico da região. Um dos efeitos observáveis é a diminuição da amplitude térmica diária decorrente do aumento da quantidade de vapor de água presente na atmosfera (CORREIA et al., 2011). O maior teor de umidade relativa provoca uma maior temperatura noturna, o que contribui para o aumento da temperatura média da região. Esse fenômeno alinha-se com o cenário de mudanças climáticas globais, que já prevê tendências de temperaturas mais altas em várias regiões do planeta.

A própria conversão da Caatinga para áreas de pastagens ou agrícolas causa uma diminuição significativa do teor de carbono no solo (GIONGO et al., 2011;

SCHULZ et al., 2016). As temperaturas médias anuais relativamente altas e a baixa precipitação pluviométrica, características típicas do Semiárido brasileiro, acentuam as taxas de mineralização e perda do carbono presente no solo. Esse carbono ingressa na atmosfera na forma de gases que contribuem para alterações climáticas devido ao efeito estufa.

Assim, a Caatinga pode ser considerada como um bioma especialmente vulnerável às mudanças climáticas, uma vez que as condições atuais já são relativamente impeditivas à regeneração natural da vegetação, principalmente como resultado da escassez de água e de nutrientes no solo; conta com poucas Unidades de Conservação em comparação com outros biomas brasileiros e ainda é relativamente pouco conhecida cientificamente, não havendo estudos suficientes sobre o manejo das áreas nativas (SANTOS et al., 2014). Além disso, a Caatinga é um bioma que apresenta muitas áreas suscetíveis à desertificação, que é um processo extremamente deletério e que demanda grande quantidade de recursos para ser revertido. A desertificação não é um problema apenas do ponto de vista ambiental, mas, sim, um grande entrave para o desenvolvimento econômico e o bem-estar social nas regiões atingidas, e pode ser considerada a expressão máxima da degradação ambiental. O melhor caminho para se evitar a desertificação é a implementação de práticas de manejo do solo que atendam ao paradigma da sustentabilidade.

4.3 Oportunidades e desafios de pesquisa para a sustentabilidade

As atividades agropecuárias desenvolvidas na Caatinga impactam de forma considerável os recursos naturais do bioma. Assim, enormes são os desafios a serem enfrentados pelas instituições de pesquisa para desenvolver sistemas produtivos e tecnologias que estejam focados na competitividade, sustentabilidade e equidade.

Diante dos cenários de mudanças climáticas para a região, faz-se necessário ampliar as pesquisas voltadas para as análises de tendências do clima, o monitoramento dos seus parâmetros e sua evolução em anos futuros, como forma de subsídios para compreender essas alterações. Ainda nesse sentido, estudos em modelagem matemática dos sistemas produtivos e simulação de cenários são necessários para antever os impactos sobre o desenvolvimento das culturas, bem como a ocorrência de pragas ou doenças.

Ações voltadas para o uso eficiente dos recursos hídricos serão fundamentais. Nessa ótica, temas como a eficiência do uso da água em diferentes escalas de

produção, estabelecimento de sistemas de captação e de reuso da água, agricultura biossalina, bem como a identificação de genótipos vegetais menos demandantes desse recurso devem ser considerados como temas prioritários de pesquisa.

A identificação dos recursos hídricos para produção animal em cada região também deve ser uma tarefa prioritária, preferencialmente executada com o apoio das prefeituras para mapeamento dos recursos municipais. Com isso, o planejamento do uso eficiente desses recursos pode ser realizado com maior precisão, de acordo com o volume da oferta de água, sua qualidade e as tecnologias disponíveis.

A busca por práticas de manejo de solo com baixo impacto ambiental e modelos de recuperação de áreas em processo de degradação deve ser considerada pauta de futuras pesquisas, visando o desenvolvimento de uma agricultura menos impactante e com baixa emissão de carbono. Nessa ótica, estudos voltados para a identificação de espécies tolerantes aos estresses salinos e térmicos, identificação e uso das interações microbiológicas nativas, adição de condicionadores ao solo, associados a sistemas de plantio direto, com adubos verdes, figuram entre os temas prioritários que podem contribuir para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa.

A obtenção de Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM) sob os aspectos econômico, ambiental e social, se mostra uma opção para o desenvolvimento sustentável da Caatinga, com geração de emprego e renda para as comunidades locais, e proporcionando segurança alimentar para as populações de menor poder aquisitivo. Esses produtos geralmente estão associados a boas práticas dos pontos de vista ecológico e de proteção do meio ambiente em seu processo produtivo. Por esse motivo, a demanda das indústrias nacionais e internacionais por matérias-primas oriundas de PFNM vem crescendo, tendo em vista a boa aceitação desses produtos.

Porém, poucas são as plantas nativas da Caatinga que vêm sendo manejadas de forma sustentável para geração de PFNM. Os principais entraves referem-se à falta de conhecimento da ecologia e do manejo dessas espécies. Dessa forma, estudos voltados para a prospecção e manejo dessas espécies são fundamentais, bem como aqueles que tratam da estruturação de sistemas associados, quer seja de forma extrativista, ou integrados com as atividades agropecuárias.

No que se refere à produção animal, a disponibilidade de forragem em quantidade e qualidade ainda é um entrave. Nessa ótica, os projetos de pesquisas devem buscar formas alternativas de produção e estocagem de alimento, bem como a identificação e o melhoramento genético de espécies nativas ou exóticas que poderiam atender a esse propósito.

Ressalta-se que a maior parte dos componentes da flora da Caatinga pode ser utilizada para alimentação animal, especialmente de caprinos. Assim, esses componentes podem ser melhor aproveitados por meio do estudo detalhado

desses recursos genéticos, dando início à seleção de variedades de ocorrência natural com características de interesse, que podem subsidiar programas de melhoramento. Além disso, outras ferramentas de aproveitamento desses recursos, como, por exemplo, a utilização dessas plantas como fonte de genes, podem ser empregadas.

Os sistemas agrossilvipastoris são alternativas de manejo da vegetação nativa que já se mostraram adequados para a produção animal em diversas regiões do país, incluindo o Semiárido. Sob a designação de sistemas Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), já são considerados uma frente promissora de verticalização da produção, enquanto satisfazem a grande demanda por tecnologias de baixo impacto ambiental. Assim, Sistemas ILPF devem ser propostos para as diferentes regiões do Semiárido, com adaptações, para que se adequem às particularidades locais.

Por fim, as pesquisas deveriam focar em sistemas de criação intensiva adequados para a realidade da produção animal da região. Com a implantação desses sistemas, poderia ser feito o manejo do rebanho de forma mais eficiente, com coberturas controladas, melhorando a qualidade do rebanho e diminuindo as taxas de consanguinidade e mortalidade.

4.4 Considerações finais

As pesquisas em PD&I para a Caatinga devem se alinhar aos novos modelos de agricultura, que hoje estão fortemente embasados em Ciência e Tecnologia. Por conseguinte, devem buscar a eficiência no uso dos recursos naturais da região, principalmente solo e água, juntamente com a preocupação de redução de impactos negativos ao meio ambiente. Além disso, devem também buscar sistemas cada vez mais dinâmicos e complexos, voltados para agricultura sistêmica, inteligência territorial, gestão de riscos, entre outros.

Referências bibliográficas

- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. do. Degradação da Caatinga: uma Investigação Ecogeográfica. **Revista Caatinga**, 22(3), p. 126–135, 2009.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo pastoril sustentável da Caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013. 200 p.
- _____; BARBOSA, T. M. L. **Sistemas agrícolas sustentáveis para regiões**

- semiáridas**. Sobral: Embrapa Caprinos, 1999. 18 p.
- BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; SHIMABUKURO, Y. E.; SELIGER, R.; EVA, H. D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, 58, p. 116-127, 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por Satélite. Acordo de cooperação técnica MMA/IBAMA. **Monitoramento do bioma Caatinga 2008 e 2009**. Brasília, DF, 2011.
- CORREIA, M. F.; SILVA, F. S., ARAGÃO, M. R. S.; **SANTOS**, E. P.; MOURA, M. S. B. Impacto da expansão agrícola na amplitude térmica diária em ambiente semiárido. **Ciência e Natura**, Edição Suplementar, VII Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p. 311-315. Santa Maria: UFSM, 2011.
- COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J., ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13, 961–974, 2009.
- DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; FARIAS, S. M.; OLIVEIRA, V. R.; SÁ, I. B., PEREIRA, P. S.; SANTOS, D. E. P. S. Desenvolvimento de Espécies Nativas da Caatinga em Áreas Degradadas na Chapada do Araripe, Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, Petrolina: Embrapa Semiárido, 2015.
- GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. S.; MENDES, A. M. S.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J. F. Soil Organic Carbon in the Brazilian Semi-arid Tropics. **Dynamic Soil Dynamic Plant**, 5, 12-20, 2011.
- HARGREAVES, Gil. **Climate zoning for agricultural production in Northeast Brazil**. Logan, UT: Utah State University/USAID, 1974.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de biomas e de vegetação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso: 22 de out. 2018.
- , —. **Censo Demográfico 2010: características gerais da população, religião e das pessoas com deficiência, com Projeções 2017**. Rio de Janeiro: 2012. 221p.
- KASS, D. C. L.; SOMARRIBA, E. Traditional fallows in Latin America. **Agroforestry Systems**, 47, 13–36, 1999.
- LEAL, I. R.; VICENTE, A.; TABARELLI, M. Herbivoria por caprinos na Caatinga da região de Xingó: uma análise preliminar. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**.

- Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2003. p. 695-716.
- MAMEDE, M. D. A.; ARAÚJO, F. S. de. Effects of slash and burn practices on a soil seed bank of caatinga vegetation in Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, 72(4), 458-470, 2008.
- MENEZES, E.A.; SILVA, P.G.; QUEIROZ, M.A.; PORTO, E.R. O Semiárido tropical brasileiro. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. (Ed.). **Agricultura Tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 359-374.
- OLIVEIRA, L. C.; FIALHO, J. S.; AGUIAR, I.; OLIVEIRA, T. S.; CAMPANHA, M. M. Impacto da Queimada sobre a atividade microbiana de um Luvisolo Crômico Órtico. REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18, 2010. **Anais ...**, Teresina, 2010, p 1-3.
- PEREIRA, I.; ANDRADE, L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; BARBOSA, M. Use-history Effects on Structure and Flora of Caatinga. **Biotropica**, 35(2), 154-165, 2003.
- RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (Ed.). **Uso e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: SFB, 2010. p. 65-75.
- SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TAURA, T. A.; DRUMOND, M. A. Mapeamento da desertificação do semiárido paraibano com base na sua cobertura vegetal e classes de solos. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013. **Anais ...**, Foz do Iguaçu, 2013, p 3112-3118.
- _____. Mapeamento da desertificação da Região de Desenvolvimento Sertão do São Francisco com base na cobertura vegetal e nas classes de solos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, 8, p. 510-524, 2015.
- SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, De, M. S. B.; SÁ, I. B. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. **Mercator**, Fortaleza, 9(19), p. 143-163, 2010.
- SACRAMENTO, J.; ARAÚJO, A.; ESCOBAR, M.; XAVIER, F.; CAVALCANTE, A.; OLIVEIRA, T. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37, p. 784-795, 2013.
- SALCEDO, I.H.; MENEZES, R.S.C. Agroecosystem functioning and management in semi-arid Northeastern Brazil. In: TIESSEN, H., STEWART, J.W.B. (Eds.), **Applying Ecological Knowledge to Land Use Decisions**. Inter-American Institute for Global Change Research. IICA-IAI-Scope, Paris, p. 73-81, 2009.
- SANTOS, J. C.; LEAL, I. R.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; FERNANDES, G. W.; TABARELLI, M. Caatinga: The Scientific Negligence Experienced by a

Dry Tropical Forest. **Tropical Conservation Science**, 4(3), p. 276-286, 2011.

SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, M. T.; FIGUEIREDO, K. V.; FALCÃO, H. M., ARRUDA, E. C. P.; ALMEIDA-CORTEZ, J.; SAMPAIO, E. V. B.; OMETTO, J. P. H. B.; MENEZES, R. S. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; POMPELLI, M. F.; ANTONINO, A. C. D. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes? **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, 26(1), p. 83-99, 2014.

SCHULZ, K.; VOIGT, K.; BEUSCH, C.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S.; KOWARIK, I.; WALZ, A.; CIERJACKS, A. *Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil*. **Forest Ecology and Management**, 367, p. 62-70, 2016.

TIESSEN, H.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Vol. 61, p. 99-103, 2001.

5

BIOMA MATA ATLÂNTICA: oportunidades e desafios de pesquisa em ciências agrárias para o desenvolvimento sustentável

Jennifer Viezzer¹

Mateus Motter Dala Senta²

Rodrigo Martins Vieira³

5.1 Ecossistemas da mata atlântica

A Mata Atlântica é um complexo formado por 15 ecorregiões terrestres, sendo oito referentes a tipologias florestais e sete a outros ecossistemas, conforme segue: Floresta Atlântica do Alto Paraná, Atlântica Seca, Costeira da Bahia, Costeira de Pernambuco, da Serra do Mar, de Araucárias, do Interior da Bahia e do Interior de Pernambuco; Brejo de Altitude; Campos Rupestres; Mangues da Bahia, da Ilha Grande, do Rio Piranhas e do Rio São Francisco; e Restingas da Costa Atlântica (OLSON; DINERSTEIN, 2002; WWF, 2017).

A Lei nº 11.428, de 22/12/2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa da Mata Atlântica, a chamada Lei da Mata Atlântica, por sua vez, considera como integrantes do bioma cinco formações florestais nativas e cinco ecossistemas associados, conforme regulamento (Figura 1): Florestas Ombrófila

1 Engenheira Florestal, M.Sc., Analista Ambiental do Departamento de Conservação de Ecossistemas, Secretaria de Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, D.F.

2 Biólogo, Analista Ambiental do Departamento de Conservação de Ecossistemas, Secretaria de Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, D.F.

3 Cientista Político, Coordenador-geral de Conservação, Recuperação e Uso Sustentável dos Ecossistemas, Departamento de Conservação de Ecossistemas, Secretaria de Biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente. Brasília, D.F.

Aberta, Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Decidual, e Estacional Semidecidual; Brejos Interioranos; Campos de Altitude; Encraves Florestais do Nordeste; Manguezais; e Restingas (BRASIL, 2006).

Figura 1. Área de aplicação da Lei da Mata Atlântica no. 11.428/2006.



Fonte: MMA, 2018, adaptado de IBGE, 2012, 2ª edição.

O Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428/2006 (Lei da Mata Atlântica) que tem como base técnica o Mapa da Distribuição Regional da Vegetação Natural do Brasil (IBGE, 2004a) e o Mapa dos Biomas do Brasil, primeira aproximação (IBGE, 2004a), são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

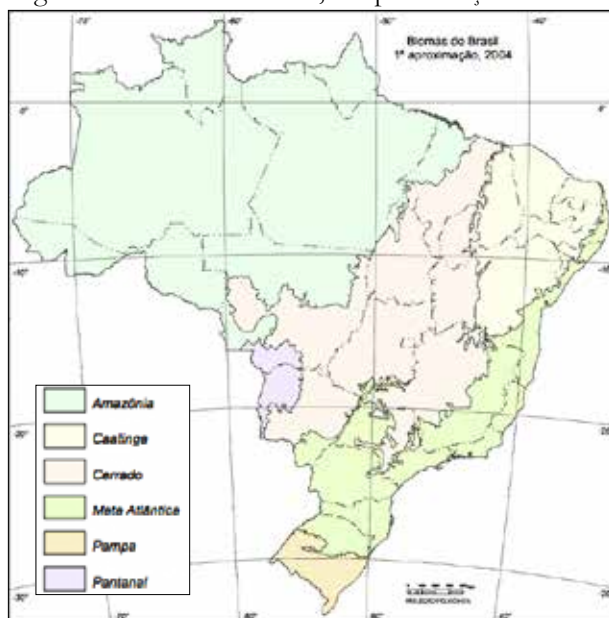
É possível notar, então, que, devido aos diferentes ecossistemas que compõem a Mata Atlântica, o bioma é extremamente heterogêneo. Sua fisionomia perpassa pelas restingas e manguezais, ambos com pouquíssimas espécies, altamente adaptadas às condições extremas de salinidade e instabilidade do solo e vitais para a vida costeira e marinha; e campos de altitude, típicos de ambientes montano e alto-montano, contando principalmente com gramíneas e vegetação arbustiva; até florestas pluviais com elevado grau de riqueza e endemismo de espécies, com árvores que podem chegar a 40 metros de altura (VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991; IBGE, 2012). Essa variedade se explica pela diversidade de características geomorfológicas, climáticas, pedológicas e hidrográficas, que serão tratadas a seguir.

Figura 2. Distribuição da vegetação natural do Brasil.



Fonte: IBGE, 2004a.

Figura 3. Biomas do Brasil, 1ª aproximação.



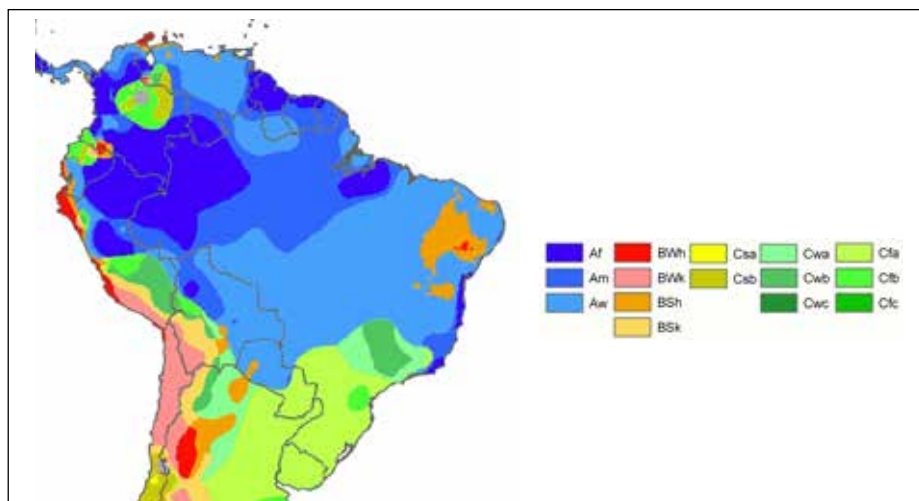
Fonte: IBGE, 2004a.

A altitude da Mata Atlântica tem uma amplitude que vai de 0 m, iniciando-se ao nível do mar, até 2.891 m, no Pico da Bandeira, localizado na Serra do Caparaó, entre Minas Gerais e Espírito Santo, o terceiro ponto mais alto do país (IBGE, 2016). O bioma passa por diversos compartimentos do relevo brasileiro, como serras, planaltos, planícies, tabuleiros, patamares e depressões (IBGE, 2006).

5.2 Clima, solos e hidrografia

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), a Mata Atlântica abrange os climas Af, Am, Aw, BSh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb (Figura 4).

Figura 4. Classificações Climáticas de Köppen-Geiger no Brasil.



Fonte: PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007.

Os climas que se iniciam com a letra *A* referem-se a climas tropicais, com temperatura média do mês mais frio do ano igual ou superior a 18°C; os que começam com *B* referem-se a climas áridos, com precipitação anual inferior a 500 mm; e os que começam com *C* referem-se a climas subtropicais ou temperados, com temperatura média do mês mais quente acima de 10°C e temperatura média do mês mais frio entre 0°C e 18°C, e estações de verão e inverno bem definidas.

A segunda letra sendo um *f* refere-se a clima úmido, com ocorrência de precipitação significativa em todos os meses do ano, inclusive com precipitação do mês mais seco igual ou acima de 60 mm, então, sem estação seca definida, como

nos casos de Af, Cfa e Cfb. A segunda letra *m* refere-se a um clima de monção, com precipitação total anual média acima de 1500 mm e precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm, diferenciando-se da categoria *f* por apresentar uma estação seca mais bem definida. A segunda letra *w* refere-se a ocorrência de chuvas concentradas durante o verão e inverno seco, como nos casos Aw, Cwa e Cwb e a segunda letra *S* refere-se a um clima das estepes, com precipitação anual total média entre 380 mm e 760 mm, como no caso BSh. Por fim, no terceiro nível de classificação, as letras *h*, *a* e *b* referem-se, respectivamente, a um clima quente, com temperatura média anual superior a 18°C; um verão quente, com temperatura média do mês mais quente igual ou superior a 22°C e temperatura média no mês mais frio acima de 10°C; e um verão temperado, com temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e com quatro ou mais meses com temperaturas médias acima de 10°C.

Assim como altitude e clima, a Mata Atlântica apresenta uma grande variedade também de classes de solos, que podem variar substancialmente em intervalos de poucos metros, de afloramentos rochosos e solos rasos até solos profundos, e de solos distróficos ou álicos até solos eutróficos. RESENDE, LANI e DE REZENDE (2002) sintetizaram os principais sistemas pedológicos da Mata Atlântica em 10 ambientes principais, conforme segue: (i) solos eutróficos das elevações (fora das várzeas), em geral ocupados por atividades agropecuárias; (ii) solos distróficos e planos das elevações (fora das várzeas); (iii) solos distróficos e acidentados, geralmente com menor influência antrópica devido ao declive acentuado e a pobreza de nutrientes; (iv) várzeas não mais inundáveis, onde localiza-se a maior parte das atividades produtivas, tanto rurais quanto urbanas, de muitos municípios; (v) várzeas inundáveis; (vi) restinga; (vii) solos de mangue; (viii) solos gleizados e tiomórficos, sem influência marinha atual, que possuem particular valor para a fauna, porém são usados como pastagens; (ix) solos húmicos nas partes mais elevadas e (x) áreas com grandes afloramentos de rocha.

Além disso, oito das 12 regiões hidrográficas brasileiras localizam-se na Mata Atlântica (Figura 5): Atlântico Sul, Uruguai, Paraná, Atlântico Sudeste, Atlântico Leste, São Francisco, Atlântico Nordeste Oriental e Parnaíba (CNRH, 2003). No bioma, estão mananciais que abastecem grande parte da população brasileira. É função dos ecossistemas naturais, especificamente das matas ciliares, a proteção dos recursos hídricos por meio de estabilização de taludes e encostas; manutenção da morfologia do rio; retenção de sedimentos e nutrientes; regulação da temperatura da água; controle do ciclo de nutrientes na bacia hidrográfica e diminuição e filtragem do escoamento superficial, impedindo ou dificultando o carreamento de sedimentos para o sistema aquático, contribuindo, dessa forma, para a manutenção da qualidade da água nas bacias hidrográficas (CICCO; ARCOVA, 1999; MMA, 2018).

Figura 5. Regiões hidrográficas do Brasil.



Fonte: CNRH, 2003.

5.3 Cobertura vegetal e conservação da biodiversidade

A Floresta Atlântica originalmente cobria cerca de 1.345.300 km² em três países, Argentina, Brasil e Paraguai, chegando a cobrir quase 10% de todo o território do continente sul-americano (WWF, 2017). Só no Brasil, a Mata Atlântica ocupava aproximadamente 1.309.736 km², estendendo-se ao longo de 17 estados do país: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí (IBGE, 2012; MMA, 2017).

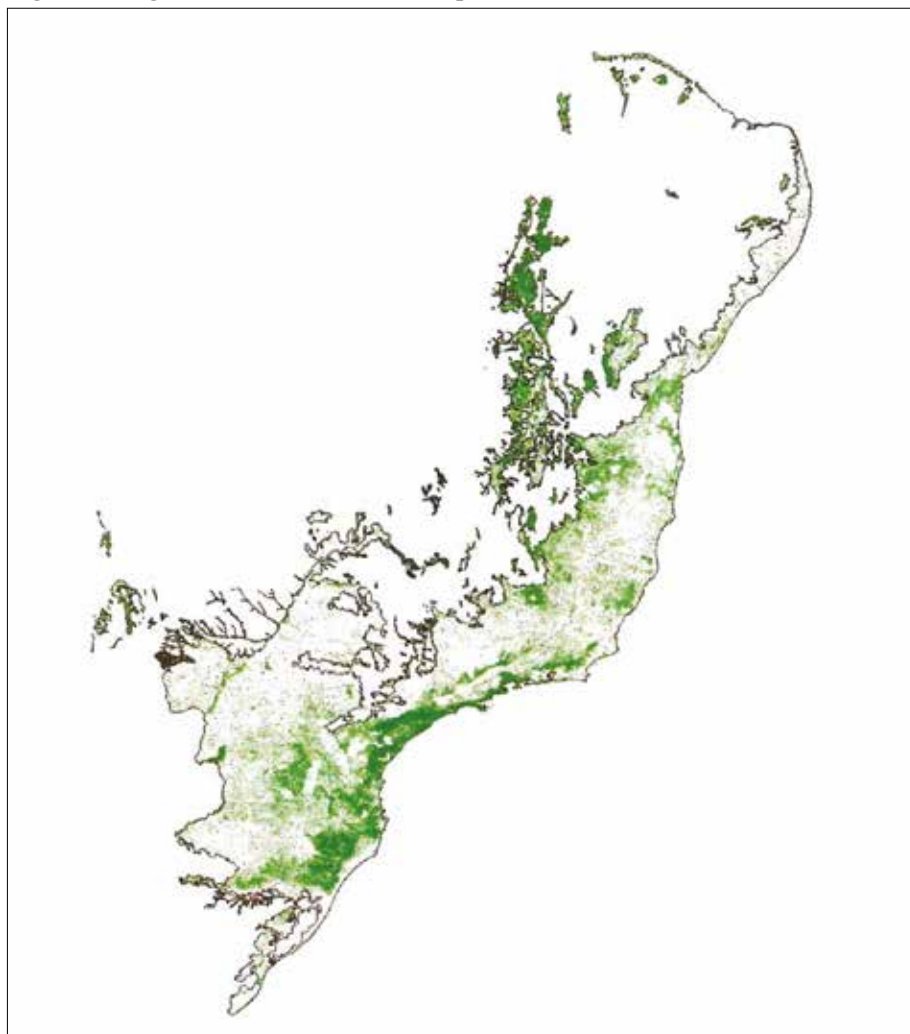
A principal característica que define a Mata Atlântica hoje, principalmente no Brasil, é a alta fragmentação e alteração dos seus ecossistemas originais, devido ao seu histórico de ocupação humana, carecendo de um planejamento e responsável pelo desmatamento de suas florestas e demais ecossistemas associados, e pela degradação, urbanização e impermeabilização de suas áreas. Há, porém, alguns estudos e fontes que divergem sobre a porção remanescente da Mata Atlântica, principalmente devido às diferenças de dados, ano-base, escala e métodos utilizados.

O estudo intitulado Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica foi realizado pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), o Departamento de Geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF) e o Instituto de Estudos Socioambientais do Sul da Bahia (SB), no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), e lançado em 2007 pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Com o objetivo de mapear a cobertura vegetal, diagnosticar iniciativas de mapeamento e completar lacunas de conhecimento existentes em relação ao tema, esse estudo levou em consideração dados com ano-base 2002, adotando o recorte estabelecido pelo Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004b), com unidade mínima de mapeamento de 40 a 100 hectares, e escala final de 1:250.000, considerando todas as formações florestais e ecossistemas associados que compõem a Mata Atlântica. O resultado encontrado foi de 285.640,79 km² de remanescentes de vegetação nativa do bioma, representando 27% da sua cobertura original. Desses remanescentes, 230.900,49 km² (22%) referem-se às tipologias florestais da Mata Atlântica.

A partir de 2008, com a intenção de atualizar o mapa de cobertura vegetal nativa da Mata Atlântica realizado anteriormente, porém, adotando-se agora o recorte do Mapa da Área de Aplicação da Lei n° 11.428, de 2006 (IBGE, 2008), (Figura 6), o MMA realizou a contratação da Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais (FUNCATE), por meio do Subprograma Projetos Demonstrativos (PDA) Mata Atlântica e, depois, pelo Projeto Proteção da Mata Atlântica II. Entretanto, a atualização do mapeamento da cobertura vegetal nativa da Mata Atlântica foi entregue apenas em 2015, com dados referentes ao ano-base 2009. Buscou-se nesse estudo um maior detalhamento comparado a mapeamentos anteriores, então, estabeleceu-se uma unidade mínima de 3 hectares, em escala 1:50.000. Todas as formações florestais e ecossistemas associados que compõem a Mata Atlântica também foram considerados neste caso. O resultado encontrado foi de 389.466 km² de remanescentes de vegetação nativa do bioma, representando 29% da sua cobertura original. Desses remanescentes, 341.474 km² (26%) referem-se às tipologias florestais da Mata Atlântica.

Ao mesmo tempo em que o estudo de Atualização do Mapa de cobertura vegetal nativa da Mata Atlântica foi sendo realizado, o Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDDBS), realizado pelo Centro de Sensoriamento Remoto (CSR) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), monitorou o bioma com imagens de satélites para a identificação de áreas antrópicas entre os anos de 2002 e 2008, lançando em 2010 os resultados alcançados. O objetivo desse monitoramento foi quantificar o desmatamento de áreas de vegetação nativa para embasar ações de fiscalização e combate a desmatamentos ilegais, e apoiar políticas

Figura 6. Vegetação nativa da área de aplicação da Lei 11428/2006.



Lei da Mata Atlântica. Fonte: MMA, 2015.

públicas voltadas à conservação, recuperação e uso sustentável da Mata Atlântica. Por realizar o monitoramento de todos os biomas brasileiros, o PMDBBS adotou o recorte estabelecido pelo Mapa de Biomas do Brasil (IBGE, 2004b) em seu monitoramento, com área mínima de detecção do desmatamento de 2 hectares, em escala final de 1:250.000. O resultado encontrado foi de 245.631,32 km² de remanescentes de vegetação nativa do bioma, representando 22% da sua cobertura original (Figura 7).

Figura 7. Bioma Mata Atlântica, com distribuição espacial das áreas com vegetação nativa, áreas com supressão acumulada até 2009 e corpos d'água.



Fonte: CSR/IBAMA, 2018.

O estudo com dados mais recentes é o *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica* (Figura 8), 12ª edição, realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e executado pela Arcplan. Essa edição do Atlas foi lançada em 2017, apresentando resultados referentes ao período de 2015 a 2016, no recorte do Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006 (IBGE, 2008), com área mínima de mapeamento de 3 hectares, em escala 1:50.000. O resultado encontrado foi de 162.666,40 km² de remanescentes de vegetação nativa do bioma, representando 12,5% da sua cobertura original.

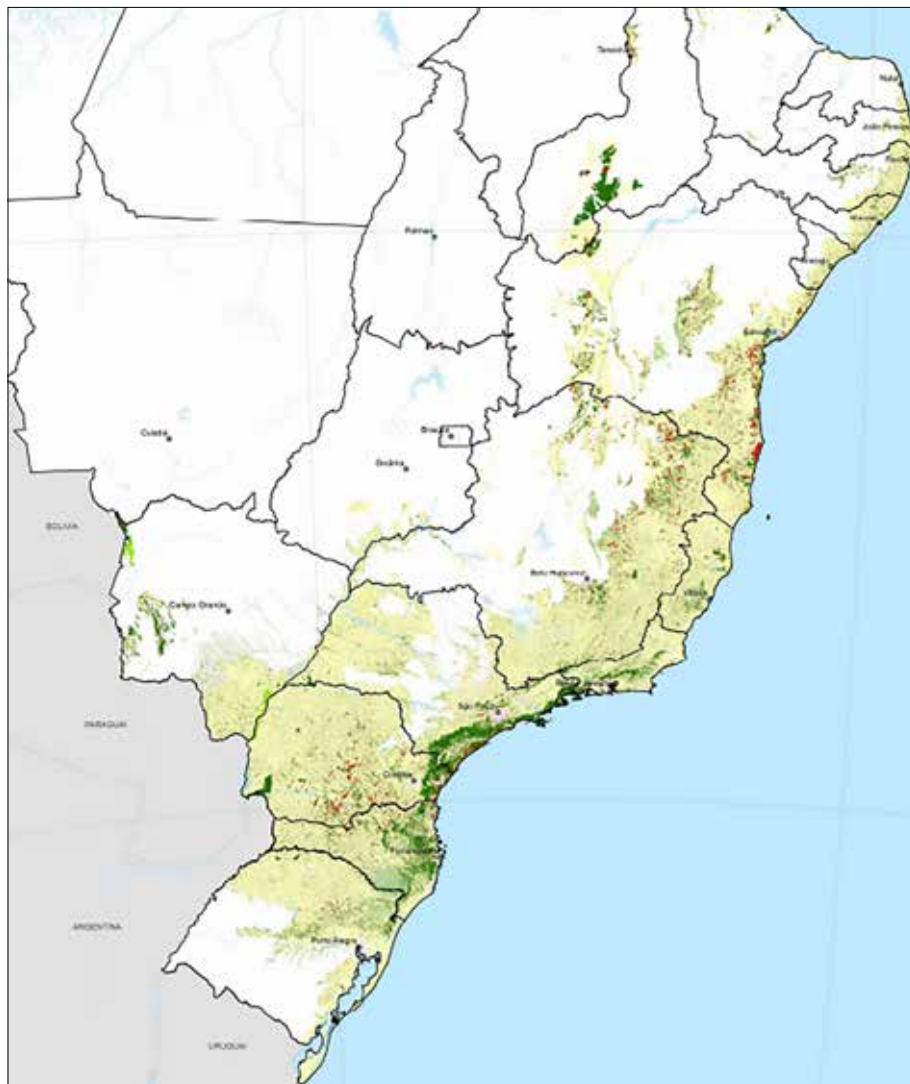
Portanto, pode-se afirmar que a Mata Atlântica possui entre 12,5%⁴ e 29% de vegetação nativa remanescente. Apesar dos diferentes resultados, todos os estudos apontam para uma mesma realidade: o alto grau de fragmentação e a falta de conectividade entre os remanescentes do bioma são as maiores ameaças à biodiversidade e à provisão de serviços ecossistêmicos na Mata Atlântica. Ainda assim, a Mata Atlântica tem a segunda maior biodiversidade das Américas, inferior apenas à da Amazônia, e o maior número de espécies por área (THOMAS et al., 1998; MORELLATO; HADDAD, 2000). Contando apenas árvores e arbustos, o bioma abriga mais de 20 mil espécies, 8 mil delas endêmicas à região (MITTERMEIER et al., 2005). Além disso, 68 espécies de palmeiras e 925 de bromélias ocorrem na região, com endemismo de 64% e 70%, respectivamente (JBRJ/BRASIL, 2018).

A Mata Atlântica é morada para aproximadamente 298 espécies de mamíferos, das quais 90 espécies são endêmicas, incluindo 94 espécies de macacos, 19 delas endêmicas, e até mesmo com dois gêneros de macacos endêmicos, sendo que o Brasil é o país com a maior diversidade de primatas do mundo (MITTERMEIER et al., 1998; PAGLIA et al., 2012; CI, 2018). Além disso, 1.023 espécies de pássaros, quase 200 delas endêmicas; 306 de répteis, 94 endêmicas e 475 de anfíbios, 286 endêmicas, ocorrem no bioma, em um total de mais de 2.000 espécies de vertebrados, com 30% de endemismo, o que representa 5% de todas as espécies de vertebrados existentes na Terra (MARINI; GARCIA, 2005; MITTERMEIER et al., 2005; WWF, 2017; CI, 2018). Ainda, são encontradas na Mata Atlântica 350 espécies de peixes de água doce, das quais 113 são endêmicas e 60 espécies de abelhas pertencentes à tribo Euglossini, importantes para a polinização (MITTERMEIER et al., 2005; PERUQUETTI et al., 1999; WWF, 2017). De todas as espécies ameaçadas do Brasil, 60% ocorrem no bioma (CI, 2018).

Grande parte dos remanescentes de vegetação nativa e da biodiversidade da Mata Atlântica encontram-se dentro de áreas protegidas. São 1.224 Unidades de Conservação, 410 de Proteção Integral e 814 de Uso Sustentável, que protegem

4 Segundo o INPE (2014), “Somados todos os fragmentos de floresta nativa acima de 3 ha, restam apenas 12,5% dos 1,3 milhões de km² originais do Bioma Mata Atlântica.” Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3610. Acesso em 7 jun. 2018.

Figura 8. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica.



Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2017.

105.103 km², já excluindo sobreposições entre unidades, o que representa quase 10% da área total do bioma (BRASIL, 2018). Somam-se às UCs as Terras Indígenas e as áreas protegidas privadas instituídas pela Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, na figura das Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.

5.4 Ocupação e uso do solo

São mais de 145 milhões de habitantes distribuídos por 3.429 municípios, que correspondem a, aproximadamente, 72% da população e 61% dos municípios existentes no Brasil (SOS MATA ATLÂNTICA, 2018; IBGE, 2018). Oito das 10 maiores regiões metropolitanas do país e duas das 30 maiores cidades do mundo, São Paulo e Rio de Janeiro, localizam-se no bioma (IBGE, 2018). A população ainda não se estabilizou na região, que apresenta tendências positivas de crescimento populacional, o que enfatiza a pressão humana sobre os recursos naturais e a geração de serviços ecossistêmicos (WWF, 2017).

Conciliar a ocupação humana e a conservação da biodiversidade é o maior desafio da Mata Atlântica. Segundo DEAN (1997), em seu famoso livro *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*, o impacto da ação humana sobre o bioma ocorria antes mesmo da chegada dos colonizadores europeus a terras brasileiras. Porém, a degradação da Mata Atlântica ganhou força devido aos ciclos econômicos do Brasil Colônia, que dependeram da exploração desmedida de matérias-primas, que teve início pelo extrativismo do Pau-Brasil, prosseguindo para o desmatamento de grandes áreas para o cultivo de cana-de-açúcar e a pecuária, principalmente.

No início do século XVIII, a destruição da Mata Atlântica é agravada pelo ciclo da mineração, em especial depois da descoberta de ouro e diamante no bioma, o que transformou regiões de floresta em áreas desérticas. Com a transição entre o Brasil Colônia e o Império e o estabelecimento do ciclo do café, o processo de degradação da Mata Atlântica foi potencializado, sobretudo pela possibilidade do plantio do café em áreas impróprias para a cana-de-açúcar e pecuária dos ciclos anteriores, como é o caso de áreas montanhosas, o que contribuiu para o desmatamento de áreas que até então estavam intocadas. Por fim, além do extrativismo, da agricultura e pecuária e da mineração, outros fatores se somaram a uma situação já insustentável para a Mata Atlântica: a industrialização, a urbanização, a explosão demográfica e a poluição.

Devido à sua riqueza e endemismo e ao desmatamento e à fragmentação de seus remanescentes, resultado de sua ocupação, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* de biodiversidade. MYERS et al. (2000) denominaram 25 regiões como *hotspots* de biodiversidade no mundo – elas concentram metade da biodiversidade da Terra, ocupando pouco mais de 1% da área territorial do planeta. Para ser considerado um *hotspot*, uma região precisa ter pelo menos 1,5 mil plantas vasculares endêmicas ao mesmo tempo em que mantenha 30% ou menos da sua vegetação nativa. Em outras palavras, um *hotspot* de biodiversidade é ao mesmo tempo ameaçado e insubstituível, e a Mata Atlântica está entre os 10 *hotspots* mais ameaçados (CI, 2011; CI, 2018).

5.5 Oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável

Uma importante política pública no âmbito da Mata Atlântica é o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) (BRASIL, 2017). O Planaveg é composto por oito iniciativas estratégicas, entre elas a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, que visa reduzir o custo, melhorar a qualidade e aumentar a eficiência da recuperação da vegetação nativa, considerando fatores ambientais, sociais e econômicos. Entre os temas prioritários de PD&I apontados nessa iniciativa estratégica estão:

- a) Definições de condições, políticas, incentivos e técnicas (por exemplo: cercamento) que reduzam os custos por hectare da recuperação da vegetação nativa;
- b) Geração e adaptação de práticas para o controle de plantas invasoras de forma eficaz e de baixo custo;
- c) Construção de modelos financeiros e econômicos viáveis para a recuperação, inclusive utilizando produtos madeireiros e não madeireiros da vegetação nativa;
- d) Estudos da ecologia de espécies nativas (por exemplo: diversidade genética, curvas de crescimento, grupos funcionais, formas de vida, diversidade de espécies, reprodução, mistura de espécies, comportamento silvicultural) e aplicações comerciais;
- e) Desenvolvimento de tecnologias de produção de sementes e mudas das espécies nativas;
- f) Adaptação de práticas de manejo e enriquecimento de remanescentes de vegetação com fins de uso sustentável e conservação;
- g) Identificação das relações entre biodiversidade e os processos ecológicos na restauração;
- h) Desenvolvimento de pesquisa etnofarmacológica sobre usos medicinais de plantas nativas, com ênfase nos locais onde ainda há remanescentes indígenas que possam indicar o uso das plantas; métodos de baixo custo para monitoramento e avaliação; práticas agroflorestais efetivas, com benefícios econômicos, sociais e ambientais;
- i) Coleta e disseminação de práticas aprendidas por meio de projetos demonstrativos de recuperação da vegetação nativa;
- j) Desenvolvimento de métodos para acelerar o ritmo da difusão do conhecimento sobre a recuperação da vegetação nativa e sua adoção pelos proprietários de terras;

- k) Pesquisa de silvicultura de espécies nativas;
- l) Geração de serviços ecossistêmicos por áreas em restauração;
- m) Adaptação de sistemas de gestão, de programas de restauração e tecnologia da informação;
- n) Introdução e teste de monitoramento remoto da restauração;
- o) Construção de planos de negócio em restauração.

A mudança do clima é uma ameaça adicional à Mata Atlântica do ponto de vista da conservação da biodiversidade e também do risco climático incidente sobre a sociedade, infraestruturas e setores econômicos no bioma. Medidas de adaptação baseada em Ecossistemas (AbE), que utilizam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos para ajudar as pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos da mudança do clima, são indispensáveis. As estratégias setoriais e temáticas do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (BRASIL, 2016), em especial a Estratégia de Biodiversidade e Ecossistemas, apontam necessidades de pesquisa que incluem:

- a) Análise da relação entre biodiversidade e clima para diferentes espécies;
- b) Avaliação de indicadores biológicos, tais como índices de estresse hídrico da vegetação, como indicadores integradores do impacto da mudança do clima sobre a biodiversidade em escala de ecossistema;
- c) Registro e coleta de informações genéticas de espécies ameaçadas, domesticadas, parentes silvestres, variedades e raças tradicionais de espécies de interesse comercial em coleções *ex-situ*, vivas ou em bancos genéticos;
- d) Desenvolvimento de ferramentas de avaliação econômica e modelagem para apoiar que as estratégias de AbE sejam utilizadas no processo de tomada de decisão;
- e) Conceptualização e implementação de estudos de caso de implementação de medidas AbE e do monitoramento de seus resultados no Brasil;
- f) Elaboração e implementação de análises custo-benefício e/ou custo-efetividade em comparação com medidas de infraestrutura tradicional.

Referências bibliográficas

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em: 10 out. 2018.

- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 10 out. 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, Ministério do Meio Ambiente (CNUC). **Unidades de Conservação por Bioma.** Disponível em: <www.mma.gov.br/cadastro_uc>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica.** Rio de Janeiro: IESB, UFRJ, UFF. 2007.
- _____. **Mapa de Vegetação Nativa na Área de Aplicação da Lei no. 11.428/2006 - Lei da Mata Atlântica** (ano base 2009). Brasília: 2015.
- _____. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima.** Volume 1: Estratégia Geral e Volume 2: Estratégias Setoriais e Temáticas. Brasília, DF: 2016. 46 p.
- _____. **Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa.** Brasília, DF: 2017. 73 p
- _____. **Interface Integrada para Internet de Ferramentas de Geoprocessamento - I3Geo.** Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/>>. Acesso em: 28 fev 2018.
- _____. Índice de Prioridade de restauração florestal para segurança hídrica: uma aplicação para as regiões metropolitanas da Mata Atlântica. Brasília, DF: 2018. 48 p.
- CSR/IBAMA – CENTRO DE SENSORIAMENTO REMOTO DO INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite – PMDBBS.** 2010. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/PMDBBS%20-%20MATA%20ATLANTICA.html>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- CICCO, V.; ARCOVA, F.C.S. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 125-134. 1999.
- CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003.** Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas, nos termos dos Anexos I e II desta Resolução, com a finalidade de orientar, fundamentar e implementar o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/divisao-hidrografica-nacional?tag=>>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

- CI – CONSERVATION INTERNATIONAL. **The World's 10 Most Threatened Forest Hotspots**. 2011. Disponível em: <<http://www.conservation.org/NewsRoom/pressreleases/Pages/The-Worlds-10-Most-Threatened-Forest-Hotspots.aspx>>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- _____. **Hotspots: Targeted investment in nature's most important places**, 2018. Disponível em: <<http://www.conservation.org/How/Pages/Hotspots.aspx>>. Acesso em: 28 fev 2018.
- DEAN, W. **A Ferro e Fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo, Brasil: Companhia das Letras. 484 p. 1997.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa da Distribuição Regional da Vegetação Natural do Brasil**. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2004a.
- _____. **Mapa dos Biomas do Brasil**, primeira aproximação. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2004.
- _____. **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. 2ª edição. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2006.
- _____. **Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006**. 1ª edição. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2008.
- _____. **Mapa da Área de Aplicação da Lei nº 11.428, de 2006**. 2ª edição. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2012.
- _____. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª edição. Rio de Janeiro, Brasil: IBGE. 2012. 271p.
- _____. **Censo 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- _____. **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- JBRJ – JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- MARINI, M. Â.; GARCIA, F. I. Bird Conservation in Brazil. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 665–671. 2005
- MITTERMEIER, R. A.; MYERS, N.; THOMSEN, J. B.; DA FONSECA, G. A. B.; OLIVIERI, S. Biodiversity Hotspots and Major Tropical Wilderness Areas: Approaches to Setting Conservation Priorities. **Conservation Biology**, v. 12, n. 3, p. 516–520. 1998.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREUX, J.; DA FONSECA, G. A. B. **Hotspots Revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. Chicago: The University of Chicago Press Books. 2005. 392 p
- MORELLATO, L. P. C.; HADDAD, C. F. B. Introduction: The Brazilian Atlantic Forest. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 786–792, 2000.

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-857, 2000.
- OLSON, D. D. M.; DINERSTEIN, E. *The Global 200: Priority ecoregions for global conservation*. Annals of the Missouri Botanical Garden, v. 89, n. 2, p. 199–224, 2002.
- PAGLIA, A. P.; DA FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M. S.; CHIARELLO, A. G.; LEITE, Y. L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V. DA C.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, J. L. Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil. 2ª edição. **Occasional Papers in Conservation Biology**, n. 6, 76 p. 2012.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union**, v. 11, n. 5, p.1633-1644, 2007.
- PERUQUETTI, R. C.; DE OLIVEIRA CAMPOS, L. A.; PINTO COELHO, C. D.; MACHADO ABRANTES, C. V.; DE OLIVEIRA LISBOA, L. C. Abelhas Euglossini (Apidae) de áreas de Mata Atlântica: abundância, riqueza e aspectos biológicos. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, p. 101–118. 1999.
- RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. de. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 261-269, 2002.
- SOS MATA ATLÂNTICA. **A Mata Atlântica**. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.
- SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2015-2016**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica. 69 p. 2017.
- THOMAS, W. W.; CARVALHO, A. M. V. DE; AMORIM, A. M. A.; GARRISON, J.; ARBELAEZ, A. L. *Plant endemism in two forests in southern Bahia, Brazil*. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, n. 3, p. 311–322, 1998.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 124 p.
- WWF. **State of the Atlantic Forest: Three Countries, 148 Million People, One of the Richest Forests on Earth**. Puerto Iguazú, Argentina: WWF. 2017. 148 p.

6

BIOMA PANTANAL: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável

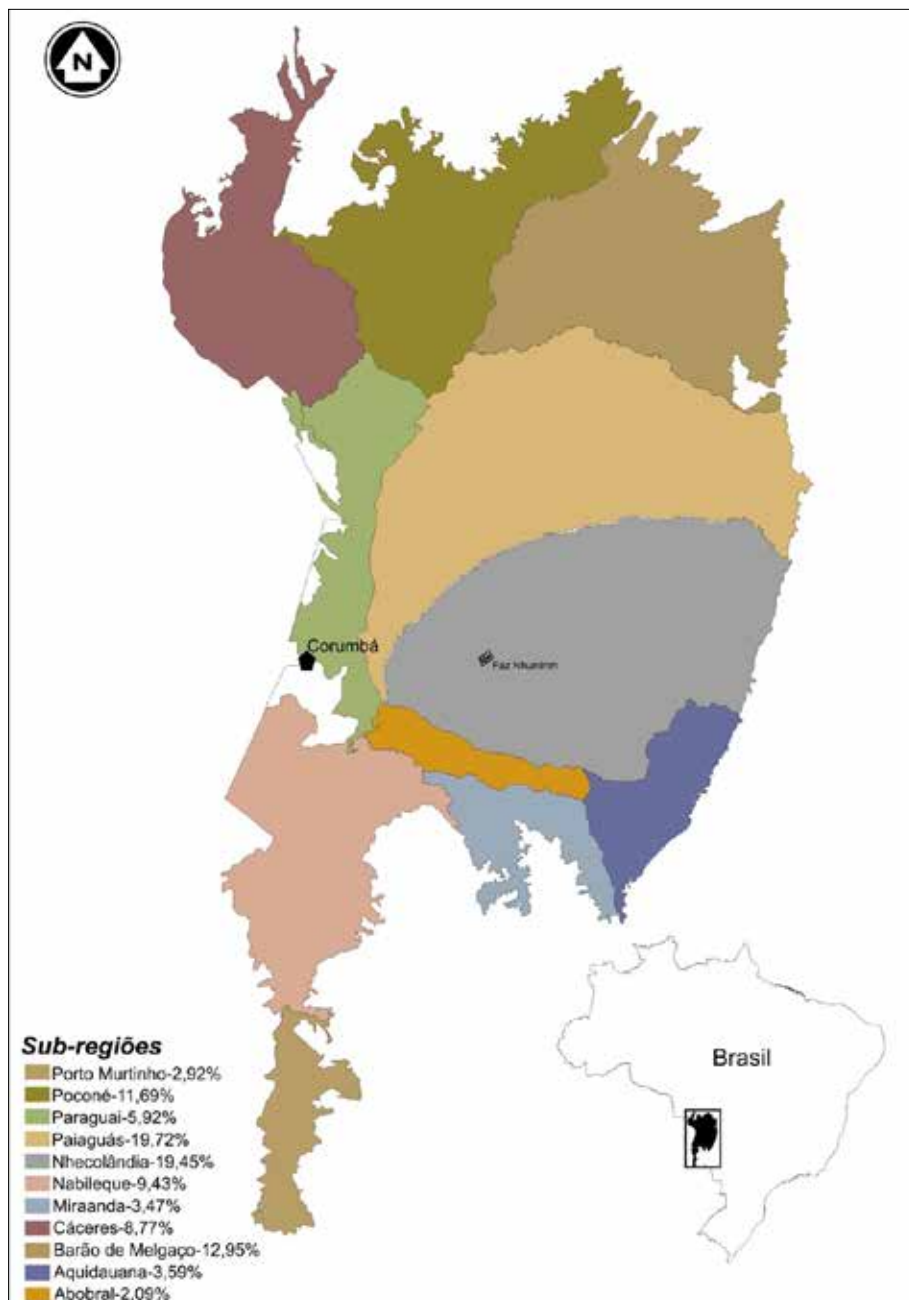
Ana H. B. M. Fernandes
Agostinho C. Catella
Balbina M. A. Soriano
Catia Urbanetz
Evaldo L. Cardoso
Fernando A. Fernandes
Ivan Bergier
José A. Comastri
Suzana M. Salis
Walfrido M. Tomas¹

6.1 Aspectos gerais e hidrológicos

A região do Pantanal é uma importante planície inundável no centro da América do Sul abrangendo a Bolívia, o Paraguai e o Brasil. Aproximadamente 140 mil km² dessa planície estão no Brasil (SILVA; ABDON, 1998). As variações no nível da água no Pantanal comandam os processos ecológicos na região, numa ampla escala temporal e espacial para sua paisagem, habitat e micro-habitat. Por apresentar essa estrutura em mosaico, associada às características de solo e diferentes condições de inundação, a planície pantaneira é classificada em pelo menos 10 sub-regiões (Figura 1), segundo vários autores (ADÂMOLI, 1982; HAMILTON; SIPPEL; MELACK, 1996; SILVA; ABDON, 1998). É importante salientar que o nível e o tempo de duração da inundação variam durante o ano e entre diferentes anos, e esses fatores condicionam as características da paisagem em cada sub-região. Por exemplo, a vegetação campestre predomina nas regiões mais baixas e alagáveis, assim como em anos mais úmidos. Já a vegetação arbórea predomina nas áreas mais altas do microrrelevo e tende a avançar em anos sequencialmente secos. Isso determina diferenças na paisagem, na ocupação e no uso do solo, ao longo do espaço e do tempo.

¹ Pesquisadores da Embrapa Pantanal.

Figura 1. Localização do Pantanal e suas sub-regiões.



Fonte: Adaptado de SILVA e ABDON, 1998.

As chuvas no Pantanal se distribuem de modo não uniforme na Bacia Hidrográfica devido às diferenças no relevo da região – efeito orográfico (VALERIANO; SALVI; ARAGÃO, 2012). Por causa desse efeito, as chuvas ocorrem em maior volume na interface planalto-planície. Nessas áreas de transição estão as nascentes dos rios formadores do Pantanal: Miranda, Aquidauana, Taquari, São Lourenço, Paraguai e Cuiabá. Nessa área de captação, no planalto, os rios são essencialmente de leito rochoso. Os cursos d'água possuem elevado potencial erosivo, acentuado pelo efeito orográfico. Vales são esculpidos nas rochas e confinam o fluxo de água nos leitos (ASSINE et al., 2016). Os sedimentos gerados pela erosão são em grande parte transportados para a planície. Do ponto de vista eco-hidrológico, nas cabeceiras dos rios predomina a influência do pulso anual de inundação (JUNK; BAYLEY; SPARKS, 1989; THORP; THOMS; DELONG, 2008) e do transporte de sedimentos e nutrientes, sendo menor a diversidade de espécies (VANNOTE et al., 1980; THORP; THOMS; DELONG, 2008).

As declividades desaparecem quando os rios confinados chegam à planície do Pantanal. Na planície, os rios se tornam não confinados e se consolidam em rios aluviais meandrantos, com vales mal definidos e sem declividade aparente.

Processos de sedimentação então se estabelecem, dando origem a rios entrelaçados, distributários e anastomosados (THORP; THOMS; DELONG, 2008), derivados da combinação da queda brusca de declividade, da falta de confinamento e da redução da velocidade de vazão do rio. Rios entrelaçados, distributários e anastomosados se criam e recriam quando o curso do canal principal muda para outra parte da planície de inundação. A esse fenômeno é dado o nome de avulsão (ASSINE et al., 2016). Ainda do ponto de vista da eco-hidrologia, quando os rios na planície se tornam entrelaçados, com ilhas fluviais, o histórico de vazão (a sequência de cheias e secas interanuais), o transporte de sedimentos e nutrientes e a diversidade de espécies se tornam mais relevantes. Já nos rios anastomosados e distributários, o regime de vazão (influência de macroescala espaço-temporal, décadas, séculos), os extravasamentos e as avulsões, a ciclagem biogeoquímica e a diversidade de espécies passam a ter maior relevância eco-hidrológica (THORP; THOMS; DELONG, 2008; ASSINE et al., 2016). De tempos em tempos, os rios na planície mudam sua posição para distribuir sedimentos em toda a área, o que se traduz no processo de avulsão. O comportamento avulsivo dos rios na planície é onipresente e também é presumível que tenha ocorrido em sub-bacias na região de planalto, por exemplo, na região de Coxim, na porção sedimentar denominada de “Áreado”, na Bacia do Alto Taquari. Portanto, o sistema fluvial é avulsivo por natureza na bacia do Pantanal (THORP; THOMS; DELONG, 2008; ASSINE et al., 2016).

A avulsão fluvial pode ser considerada análoga a outros fenômenos geofísicos, como, por exemplo, abalos sísmicos. É um processo que se desenrola pouco

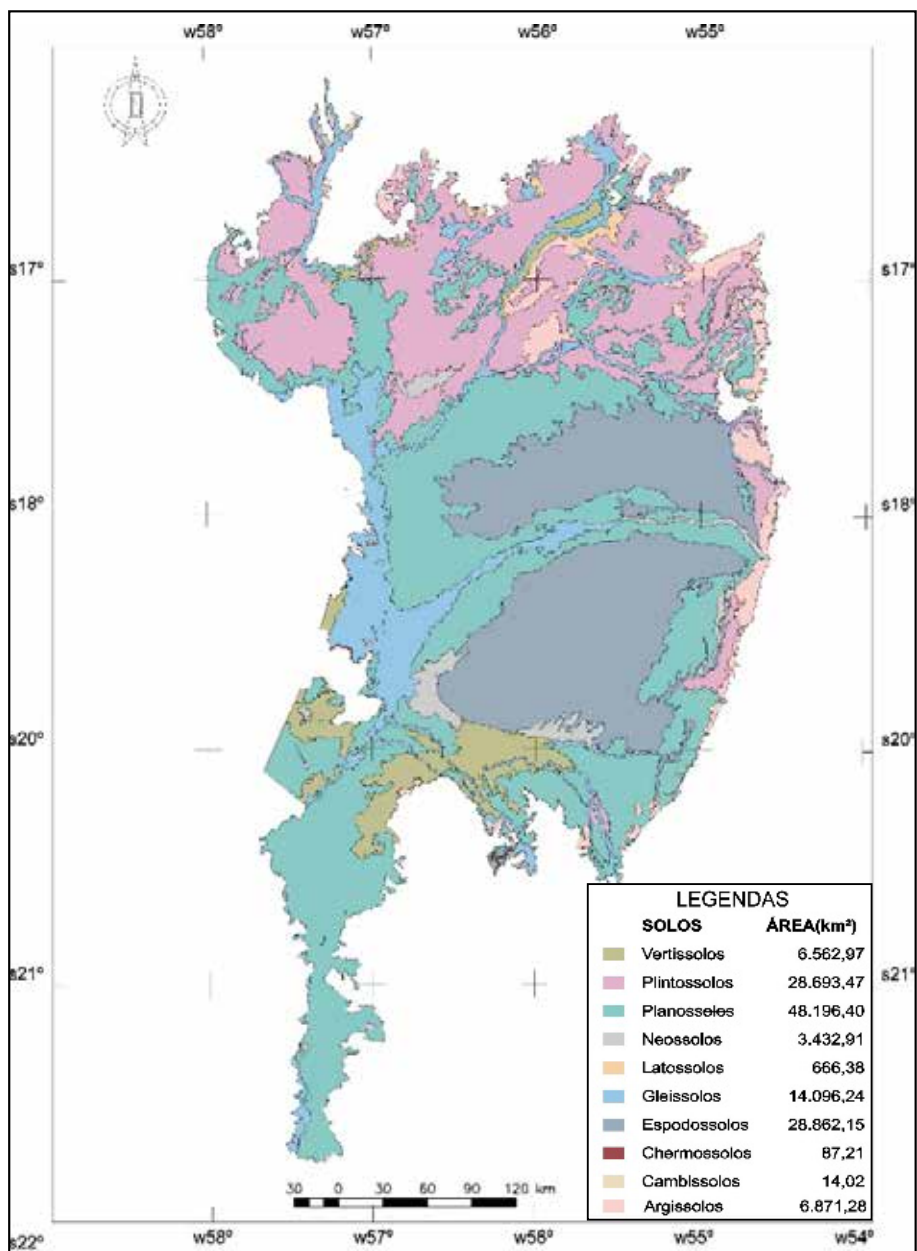
a pouco e que muda abrupta e imprevisivelmente o curso de rios distributários (ASSINE et al., 2016). As avulsões, localmente conhecidas por arrombados, propiciam o extravasamento de grandes volumes de água na planície por meio dos múltiplos canais anastomosados. As avulsões, apesar de fenômenos naturais (ASSINE et al., 2016), podem ser aceleradas pelo desmatamento de solos argilosos e arenosos do planalto para a agricultura (BULLER et al., 2016). Essa mudança no curso de rios vem sendo considerada um dos maiores problemas para a produção de bovinos em fazendas no Baixo Rio Taquari (GALDINO; VIEIRA; PELLEGRIN, 2006), por conta da redução das áreas de pecuária em função dos alagamentos permanentes. Por outro lado, outras fazendas e pequenas propriedades sofrem com a seca permanente no Baixo Taquari. As avulsões podem também interferir no regime de vazão (THORP; THOMS; DELONG, 2008, 2008) e na provisão de serviços ecossistêmicos como a retenção e a ciclagem de nutrientes, a purificação de água, a manutenção de estoques pesqueiros, entre outros (BERGIER, 2013).

6.2 Solos e clima

Os solos do Pantanal são de origem sedimentar, recente ou sub-recente, ocorrendo em fases argilosa e arenosa, de forma alternada e descontínua. As áreas mais férteis correspondem a solos da fase argilosa, mas a predominância é de solos arenosos (Figura 2). Os processos pedológicos predominantes na planície pantaneira estão associados ao hidromorfismo, condição na qual o arejamento é deficiente em decorrência do excesso de água. Desse modo, os solos do Pantanal apresentam características diferenciadas, desde a extrema pobreza em bases trocáveis à saturação em sódio bastante elevada, demonstrando a influência da natureza do material de origem e do regime de inundações periódicas. A constituição essencialmente arenosa, a ocorrência de grandes quantidades de argilas expansivas e as mudanças de textura abruptas em profundidade, entre outros atributos, limitam seu uso para cultivo (SANTOS et al., 1997). Além disso, o regime de inundações parece ser o fator determinante que restringe as possibilidades de uso da planície, praticamente, ao aproveitamento das pastagens nativas com pecuária extensiva.

As pastagens não são adubadas e, nessa situação, a manutenção de níveis satisfatórios de produção depende dos nutrientes naturalmente liberados no solo nos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica (CARDOSO et al., 2011; FERNANDES; CARDOSO; FERNANDES, 2016). Mudanças no uso da terra podem afetar os processos biogeoquímicos com consequências nos estoques de matéria orgânica do solo (principalmente carbono e nitrogênio).

Figura 2. Principais classes de solos no primeiro nível categórico identificadas no Pantanal.



Fonte: FERNANDES et al., 2007.

A principal alteração no uso da terra que ocorre no Pantanal consiste na introdução de pastagens cultivadas em áreas livres de inundação periódica. O principal desafio da pesquisa na área de solos é conseguir aumentos na produtividade das áreas de pastagem sem alteração na qualidade do solo ou redução dos estoques de matéria orgânica. Perdas de carbono em longo prazo podem resultar em elevada degradação ambiental, uma vez que à matéria orgânica estão associados os maiores reservatórios de nutrientes e energia nos ecossistemas do Pantanal.

O esgotamento dos estoques de matéria orgânica pode antecipar uma menor resiliência dos ecossistemas, implicando em comprometimento da capacidade produtiva e menor oferta de serviços ambientais (CARDOSO et al., 2010). Resultados de pesquisas têm demonstrado que áreas de pastagens nativas bem manejadas conservam a qualidade do solo, considerando-se seus atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio (CARDOSO et al., 2017). Fernandes, CARDOSO e FERNANDES (2016) também verificaram que não houve redução nos estoques de carbono do solo em áreas de pastagens cultivadas introduzidas em áreas de savana não inundável, depois de 20 anos de cultivo e manejo adequado.

Os sistemas atmosféricos do Pantanal são de origem tanto tropical como extratropical, sofrendo influência dos sistemas que atuam na Região Amazônica e dos sistemas extratropicais, como as frentes frias (NIMER, 1989). O clima do Pantanal é classificado como tropical megatérmico – Aw, na classificação de Koeppen (CAMPELO JÚNIOR et al., 1997). A precipitação total média anual situa-se entre 1.100 mm e 1.200 mm, distribuídos em dois períodos bem definidos: um chuvoso (de outubro a março), quando ocorrem cerca de 80% do total médio anual das chuvas, e outro de estiagem (de abril a setembro). O trimestre mais chuvoso compreende o período de dezembro a fevereiro com 46% da precipitação total anual. Ocorre um déficit da ordem de 254 mm entre os meses de abril a outubro, com excedente de 147 mm entre os meses de dezembro a março (SORIANO et al., 2016). A temperatura média anual é de 25°C, variando de 21°C a 27°C. As maiores médias térmicas são observadas entre outubro e março. A partir de abril, apresentando características típicas do outono, as temperaturas tornam-se mais amenas por efeito da entrada de frentes frias.

Prognósticos de mudanças climáticas para o Pantanal projetam um aumento da temperatura média do ar de 2,5°C a 3,5°C e redução da precipitação anual da ordem de 10% a 20%, até 2040, e acima de 4°C com redução das chuvas em torno de 30% até 2100 (MARENGO; ALVES; TORRES, 2016). A partir desses cenários, Soriano et al. (2016) avaliaram o balanço hídrico climatológico (BHC) para as condições médias de 1977-2014 e em seguida simularam o comportamento do BHC. Os autores verificaram acentuado déficit hídrico na maior parte do ano. No cenário mais pessimista considerado pelos autores (redução de 20%

na precipitação e elevação de 3,5°C na temperatura), o déficit de água no solo poderá chegar a 696 mm, estendendo-se entre os meses de fevereiro e novembro, com excedente de apenas 10 mm no mês de janeiro. O clima influencia de forma intensa a dinâmica ecológica. Muito embora as previsões dos modelos climáticos apresentem elevado grau de incertezas, esses prognósticos, se confirmados, podem alterar significativamente as feições fisionômicas do Pantanal, gerando impactos diretos na produção pecuária e também sobre a fauna e a flora locais.

6.3 Vegetação

A paisagem na planície pantaneira é bastante diversificada e constituída por um mosaico de formas de vegetação, corixos e vazantes, com cursos d'água permanentes e/ou temporários, brejos, lagoas permanentes, pequenos lagos temporários (baías), formados por corpos d'água ricos em vegetação aquática, e salinas (com água salobra). A duração e o nível da inundação são determinantes nessas paisagens. Há desde formações florestais (matas e cerradão) e savânicas (cerrado típico) nas áreas de cordilheiras (pequenas elevações ou cordões arenosos formados por paleodiques aluviais não sujeitos à inundação) até amplas áreas de campo cerrado, campos limpos e campos inundáveis (ricos em gramíneas), incluindo comunidades aquáticas.

Ocorrem ainda formações monodominantes inundáveis, como os cambarazais (*Vochysia divergens*), os paratudais (*Tabebuia aurea*) e os lixeirais (*Curatela americana*), entre outras. É importante ressaltar que os limites das formações vegetais são extremamente dinâmicos e refletem um equilíbrio instável, modificável, em função de variações climáticas anuais e interanuais e pelos ciclos hídricos. A flora do Pantanal é composta por aproximadamente 2.000 espécies (POTT et al., 2011) provenientes das províncias biogeográficas circundantes, como o Cerrado, a Floresta Amazônica, a Floresta Atlântica, o Chaco e a Floresta Chiquitana da Bolívia, que formam diferentes e características paisagens na planície.

A planície pantaneira vem sendo ocupada há 270 anos para a criação extensiva de gado bovino. As sub-regiões da Nhecolândia, MS, Aquidauana, MS, e Barão de Melgaço, MT, são as que apresentam melhores condições ambientais para a criação de bovinos de corte de forma extensiva. A pecuária utiliza os recursos naturais da região, como as pastagens nativas para a alimentação do rebanho e a madeira das árvores nativas para a construção de cercas, currais e galpões. Dessa maneira, essa atividade é a base para a conservação e desenvolvimento sustentável do Pantanal. Apesar da grande importância desses recursos naturais na economia regional, ainda são poucos os dados existentes para embasar o uso sustentável e sua conservação, como o manejo (MATOS et al., 2010), o plantio de enriquecimento nas florestas e campos nativos e métodos para melhorar as

condições químicas do solo. Mesmo depois de 270 anos de exploração pecuária, o Pantanal é um dos biomas brasileiros com menor taxa de desmatamento, em torno de 15% (MONITORAMENTO, 2015). Mas já se tem algumas informações sobre o efeito da presença do gado nas formações florestais da planície afetando negativamente o recrutamento de manduvis (*Sterculia apetala*) (JOHNSON; TOMAS; GUEDES, 1997) e a quantidade de biomassa do sub-bosque (NUNES; TOMAS; RAGUSA-NETTO, 2008). No entanto, ainda se conhece pouco sobre o efeito de longo prazo do uso do fogo para o manejo do campo e os consequentes incêndios florestais quando o fogo se descontrola. Também não foram estudados os efeitos da presença do gado há mais de dois séculos nas formações florestais na planície, uma vez que os animais forrageiam seletivamente as plântulas de certas árvores e utilizam as florestas como abrigo nas cheias, podendo, assim, interferir no recrutamento de algumas espécies.

6.4 Recursos pesqueiros

Em função de suas características naturais, o Pantanal abriga uma grande diversidade de peixes, com cerca de 270 espécies (BRITSKI; SILIMON; LOPES, 2007). Suas condições ecológicas propiciam a manutenção de grandes populações naturais desses animais. Entre esses se destacam os “peixes de piracema”, que realizam longas migrações reprodutivas, partindo da planície do Pantanal em direção às cabeceiras dos rios, onde se reproduzem rio acima no planalto. O fenômeno da piracema e a abundância de peixes estão relacionados ao pulso anual de inundação, à conexão planície-planalto e à conexão rio-planície entre os diferentes tipos de ambientes da bacia (CATELLA, 2003, RESENDE, 2008). Nesse cenário, a pesca tornou-se uma atividade de grande importância social, econômica e ambiental, sendo realizada atualmente como pesca de subsistência, pesca profissional artesanal e pesca amadora ou recreativa (BARLETTA et al., 2016).

A pesca de subsistência desempenha importante papel social, contribuindo para o suprimento de proteína e para o lazer das populações ribeirinhas (CALHEIROS; SEIDL; FERREIRA, 2000). Os pescadores profissionais artesanais são detentores de um conhecimento ecológico tradicional, que vem sendo acumulado e transmitido de pai para filho ao longo de muitas gerações (CATELLA, 2003). A atividade é exercida em pequena escala e o pescado é comercializado fresco ou congelado para consumo humano, sobretudo na região. Os pescadores encontram-se organizados em colônias e federações estaduais de pesca em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (MATEUS; VAZ; CATELLA, 2011). A captura de iscas vivas tornou-se uma importante alternativa de renda e muitos pescadores profissionais artesanais se especializaram nessa atividade, para atender à demanda

da pesca amadora (MORAES; ESPINOZA, 2001). Em abril de 2017, um total de 13.727 pescadores profissionais artesanais encontrava-se registrado junto ao Registro Geral de Pesca (8.650 pescadores em Mato Grosso e 5.077 em Mato Grosso do Sul). O cadastro está vinculado atualmente à Secretaria de Aquicultura e Pesca do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Contudo, esses números devem ser vistos com cautela, pois muitas pessoas se cadastraram apenas para ter direito aos benefícios (TEIXEIRA; ABDALLAH 2008).

O turismo de pesca se estabeleceu a partir de meados da década de 1970 (GARMS, 1997), diversificando-se e oferecendo novas opções na medida em que foi se implantando na Bacia nas décadas de 1980 e 1990. Atualmente, o setor conta com agências de turismo pesqueiro e vários tipos de empreendimentos adaptados aos objetivos dos pescadores, incluindo pousadas, pesqueiro, hotel-pesqueiro, acampamento, rancho de pesca, barco-hotel e barco de passeio. A partir das declarações de pescadores amadores registradas no Sistema Nacional de Informação da Pesca e Aquicultura, em 2011, os principais destinos dos pescadores amadores do país foram os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, que, juntos, somaram 111.216 visitantes, representando mais de 52% da preferência nacional. Como o Pantanal é o principal destino da pesca amadora em ambos os estados, estima-se que cerca de 2/3 desses pescadores devem seguir para a região. As principais motivações para os pescadores amadores visitarem o Pantanal são o ambiente natural único, não poluído, onde podem capturar grandes peixes, de muitas espécies diferentes, desfrutando das belezas naturais e da possibilidade de ver animais silvestres (MORAES; SEIDL, 2000). Dados de 1994 indicaram que em Mato Grosso do Sul as pescarias são realizadas, em média, por grupos de 7,4 homens, que viajam 2.700 km, permanecendo seis dias na região e gastando entre US\$ 86.35 e US\$ 138.91 por pessoa por dia (MORAES; SEIDL, 2000; SHRESTHA; SEIDL; MORAES, 2002).

As pescarias de ambas as categorias são multiespecíficas, mas o esforço pesqueiro é exercido principalmente sobre as espécies migradoras de grande porte, isto é, sobre os peixes de piracema (Tabela 1). Esses peixes representam um troféu para os pescadores amadores e alcançam os melhores preços para os pescadores profissionais (CATELLA et al., 1997; MATEUS; VAZ; CATELLA, 2011). O desembarque pesqueiro, para ambas as categorias, é difuso, realizado em muitos pontos ao longo dos rios em áreas urbanas e rurais (CATELLA et al., 2008), o que dificulta o monitoramento da atividade. Estatísticas de desembarque e informações sobre a pesca não estão disponíveis de forma regular para toda a Bacia do Alto Paraguai (BARLETTA et al., 2016). Por meio do Sistema de Controle da Pesca de Mato Grosso do Sul – SCPESCA, são obtidas informações sobre a pesca profissional artesanal e amadora de forma contínua e sistemática desde 1994 (CATELLA; CAMPOS; ALBUQUERQUE, 2016).

Tabela 1. Peixes mais visados pela pesca na Bacia do Alto Paraguai.

NOME COMUM	ESPÉCIE (NOME CIENTÍFICO)	EHV(1)
Barbado	<i>Pinirampus pinirampu</i> (Spix & Agassiz, 1829)	MLD
Barbado surubim	<i>Luciopimelodus pati</i> (Valenciennes, 1836)	MCD
Cachara	<i>Pseudoplatystoma reticulatum</i> Eigenmann & Eingemann 1889	MLD
Curimbatá	<i>Prochilodus lineatus</i> (Valenciennes, 1836)	MLD
Dourado	<i>Salminus brasiliensis</i> (Cuvier, 1816)	MLD
Jaú	<i>Zungaro jahu</i> (Ihering 1898)	MLD
Jurupensem	<i>Sorubim lima</i> (Bloch & Schneider, 1801)	MLD
Jurupoca, jeripoca	<i>Hemisorubim platyrhynchos</i> (Valenciennes, 1840)	MLD
Pacu	<i>Piaractus mesopotamicus</i> (Holmberg, 1887)	MLD
Palmito	<i>Ageneiosus inermis</i> (Linnaeus, 1766)	R
Piavuçu	<i>Megaleporinus macrocephalus</i> Garavello & Britski, 1988	MLD
Pintado	<i>Pseudoplatystoma corruscans</i> (Spix & Agassiz, 1829)	MLD
Piranha	<i>Pygocentrus nattereri</i> Kner, 1858	R
Piranha, catirina	<i>Serrasalmus marginatus</i> Valenciennes, 1837	R
Piranha, pirambeba	<i>Serrasalmus maculatus</i> Kner, 1858	R
Piraputanga	<i>Brycon hilarii</i> (Valenciennes, 1850)	MLD
Tucunará (2)	<i>Cichla piquiti</i> Kullander & Ferreira, 2006	R

Fonte: Adaptado de CATELLA et al., 2016.

(1) Estratégia de História de Vida (EHV): MLD= migradores de longa distância, MCD= migradores de curta distância, R= residente.

(2) Espécie de origem amazônica introduzida na região.

Os estados de MT e MS adotaram normas de pesca independentes, que definem aparelhos e locais de pesca, tamanhos de captura, cotas de captura e períodos de defeso. Atualmente, o anzol é o único aparelho de captura permitido para todas as modalidades de pesca, com exceção de petrechos específicos para a pesca de iscas vivas e peixes ornamentais. Os órgãos gestores da pesca estão associados às secretarias de meio ambiente e ambos os estados possuem conselhos estaduais de pesca – mas apenas o conselho de MT encontra-se ativo.

É importante considerar que a abundância das populações de peixes migradores, que sustentam a pesca na região, pode ser comprometida por alterações na qualidade física e química das águas (principalmente comprometidas por atividades no planalto do entorno do Pantanal), pelo volume e duração da cheia (pode diminuir em cheias menores e menos duradouras – processo natural) e pela estrutura e conexão entre os diferentes ambientes utilizados pelos peixes.

Um total de 47 empreendimentos hidrelétricos encontra-se atualmente em operação na Bacia do Alto Paraguai, sendo a maioria do tipo PCH, pequena central hidrelétrica, mas há demanda para instalação de outros 133 novos empreendimentos (ANEEL, 2016). Contudo, a construção de represas implica impactos

locais, a montante e a jusante dos empreendimentos. Entre os efeitos negativos, destaca-se a interrupção do trânsito livre dos peixes migradores entre seus sítios de desova, desenvolvimento inicial e alimentação. Ocorrem alterações a montante das barragens pela transformação repentina de um ecossistema de águas rápidas (rio) em outro, com características de um lago, alterando os padrões físicos da água, o que afeta a ciclagem de nutrientes e a distribuição de organismos. Desse modo, um efeito inevitável de qualquer represamento sobre a fauna aquática é a alteração na composição das espécies, sendo os peixes de piracema o grupo mais afetado. Contudo, é no trecho abaixo da barragem que os impactos se mostram mais relevantes. Os reservatórios elevam o nível mínimo do rio durante a seca e o reduzem durante a cheia. A estabilização do nível compromete a reprodução dos peixes e o acesso de peixes adultos e formas jovens e larvais aos sítios de alimentação, abrigo e crescimento nas áreas laterais alagadas (AGOSTINHO; GOMES; PELICICE, 2007).

6.5 Fauna

O Pantanal é uma região bem conhecida devido à sua rica biodiversidade e à sua fauna abundante e exuberante. A composição dessa fauna é influenciada por quatro grandes ecossistemas da América do Sul: a Floresta Amazônica, o Cerrado, a Mata Atlântica e o Chaco. A área abriga 152 espécies de mamíferos, 582 espécies de aves, 151 espécies de répteis, mais de 75 espécies de anfíbios e cerca de 270 espécies de peixes (BRITSKI; SILIMON; LOPES, 2007; NUNES, 2011; STRUSSMANN et al., 2007), além de um número ainda pouco conhecido de invertebrados. É a área úmida mais rica em espécies de aves no planeta (TUBELIS; TOMAS, 2003) e uma área importante de parada de aves migratórias (NUNES; TOMAS, 2008). Populações relativamente grandes de várias espécies ameaçadas de extinção ainda ocorrem no Pantanal em relativa abundância, como a onça-pintada (*Panthera onca*), a ariranha (*Pteronura brasiliensis*), a arara-azul grande (*Anodorhynchus hyacinthinus*), o cervo-do-Pantanal (*Blastocerus dichotomus*) e o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*), entre outras (MOURÃO et al., 2000; HARRIS et al., 2005; CAVALCANTI et al., 2012; TOMAS et al., 2015).

Os principais desafios para a conservação da fauna do Pantanal são a realização de estudos sobre a substituição da vegetação nativa por gramíneas cultivadas de origem africana para intensificação da produção pecuária, o uso do fogo para manejo da vegetação, somado ao sobrepastejo de áreas de campos naturais, e o modo como esses fatores podem interferir na fauna silvestre. Esses elementos podem reduzir a quantidade e a qualidade de habitats para muitas espécies da fauna e levar a uma lenta alteração na dinâmica dos diferentes habitats, o que poderia

ser inferido com base na estrutura da vegetação. Estudos recentes indicaram que algumas espécies respondem às alterações na estrutura de habitats florestais, por exemplo, em função dos fatores ligados ao pisoteio pelo gado, fogo e substituição de vegetação nativa (TIZIANEL, 2008; MOZERLE, 2011; NUNES, 2015; TOMAS et al., 2013).

Além disso, há os projetos de geração de energia hidrelétrica, que implicam no represamento dos principais rios que formam o Pantanal, e os projetos de navegação que requerem a retificação dos meandros dos rios e a remoção de rochas e sedimentos do leito do rio. Tais alterações podem afetar o padrão de inundação, alterando a qualidade e a quantidade de áreas adequadas para muitas espécies, que dependem de habitats aquáticos ou áreas úmidas, como a ariranha, os peixes e aves migratórias. A reprodução do tuiuiú (*Jabiru mycteria*), por exemplo, depende da extensão das áreas inundadas para que ocorra com sucesso (MOURÃO et al., 2000). Dessa maneira, a introdução de espécies exóticas de origem animal e vegetal, a erosão e a poluição com insumos agrícolas nas áreas de planalto da bacia do Alto Paraguai (HARRIS et al., 2005) somadas aos cenários de mudanças climáticas (MARENGO; ALVES; TORRES, 2016) podem alterar profundamente o funcionamento deste ecossistema único e de sua biodiversidade.

6.6 Produção pecuária

A pecuária de corte do Pantanal utiliza principalmente gramíneas nativas e é a principal atividade econômica da região. A produção, de forma extensiva, ocorre em 5.500 propriedades, com impacto relativamente baixo nas diferentes unidades de paisagem que compõem a região. No entanto, as alterações que vêm se processando nas últimas décadas têm colocado a pecuária pantaneira frente a novos desafios, particularmente no que tange à velocidade das mudanças exigidas pela nova cadeia produtiva da carne. Nesse sentido, a pressão pelo aumento crescente de produtividade e pela busca da conservação ambiental, esta última exercida pela sociedade civil, por meio de organizações não governamentais, vem afetando de forma muito significativa os rumos do desenvolvimento no Pantanal. Dessa maneira, a principal indagação e preocupação da sociedade civil, dos técnicos e dos pesquisadores que trabalham na região é como alcançar o desenvolvimento econômico competitivo, demandado pela globalização e, ao mesmo tempo, conservar e preservar o Pantanal, como é desejo da sociedade civil, considerando-se as condições ambientais ofertadas pela região (EMBRAPA PANTANAL, 2008).

É importante retratar que essa região, desde o início de sua colonização, passou por diferentes ciclos econômicos: o ciclo do ouro, que se encerrou com a diminuição de produção das minas localizadas no norte da Capitania de Mato

Grosso; o ciclo da cana-de-açúcar, que teve o seu declínio com o aumento da produção de açúcar de beterraba nos países da Europa e a entrada do estado de São Paulo na atividade; o ciclo das charqueadas, que teve no gado pantaneiro ou tucura, abundante na região, a matéria-prima para a produção de charque e couro salgado, que foi inviabilizado quando os frigoríficos passaram a produzir e disponibilizar no mercado esses produtos; e o ciclo da pecuária, que sempre acompanhou o desenvolvimento da região desde o início do seu desbravamento e povoamento. A estimativa do rebanho, em 1970, era de cerca de 4 milhões e 980 mil cabeças, o qual foi reduzido para 4 milhões e 655 mil cabeças, em 1975. Essa redução foi explicada, em parte, pelos efeitos de um ciclo de grandes enchentes sucessivas, iniciado em 1974. Atualmente, o rebanho bovino do Pantanal conta com um total de cerca de 3 milhões e 850 mil cabeças (PRODUÇÃO, 2015). O rebanho dos municípios de Corumbá, Aquidauana e Rio Verde, em MS, e Cáceres, Poconé e Santo Antônio de Leverger, em MT, representa mais de 80% da produção da região.

A pecuária de corte na região do Pantanal passou, ao longo dos tempos, por diversos ciclos na sua trajetória, sendo os mais importantes o desenvolvimento de latifúndios, como a fazenda Jacobina e Piraputanga – 1775/1864; a ocupação de novas áreas no Pantanal, em direção à parte sul da região – 1879/1914; o desenvolvimento da indústria do charque com capital estrangeiro (inglês e platino) – 1914/1923; a mudança no comando da indústria do charque com capital regional – 1923/1929; o retorno da atividade do charque com capital regional – 1936/1950; o desenvolvimento das fazendas em torno da pecuária de cria e recria extensiva de gado de corte, com comercialização de bois magros – 1950/1994, e, a partir da década de 1990, a mudança na qual esse sistema de produção foi moldado para a produção e comercialização de bezerros de 1990, esse sistema de produção foi moldado para produzir e comercializar bezerros para serem recriados e engordados no planalto adjacente, além da recria de novilhas de reposição (SANTOS et al., 2002). Nos dias de hoje, por influência da Embrapa Pantanal e seus parceiros, a região é reconhecida como a grande produtora e fornecedora de bezerros de qualidade para recria e engorda nas pastagens localizadas nas áreas altas, adjacentes aos municípios pantaneiros, e até mesmo nas invernadas de outros estados. Alguns fazendeiros, considerados líderes na criação de bovinos de corte na região, reportam que existiu uma pecuária antes e outra depois da criação da Embrapa Pantanal.

A pecuária sempre fez parte da economia do Pantanal, onde inicialmente se implantaram as bases econômicas da capitania, e, nos dias de hoje, representa um dos elos da base econômica dos municípios pantaneiros dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. No entanto, embora a região seja originalmente privilegiada quanto a recursos forrageiros naturais, que são o grande baluarte do

seu principal sistema produtivo, o Pantanal vem enfrentando, nas últimas décadas, problemas cada vez mais graves decorrentes da degradação de suas pastagens nativas, devido à exploração empírica, sem bases técnicas, que ocorre há séculos. Essa forma de produção, aliada a um longo período de estiagem que ocorreu na região, como aquele observado na década de 1960, provocou efeitos danosos para a pecuária de corte. Essa situação passou a ser notada por pecuaristas da região quando algumas das pastagens nativas de suas propriedades, outrora ricas e produtivas, passaram a ceder lugar, ano após ano, a capins fibrosos e ressequidos, com pouca aceitação pelo gado. Outra situação observada nas pastagens, desde esse período, foi a invasão intensa e agressiva de vegetação arbórea ou arbustiva nas áreas originalmente campestres (CAMPOS; VIEIRA, 1974) ou a dominância de herbáceas sem valor forrageiro nessas áreas.

A nova pecuária desenvolvida nos dias de hoje está cada vez mais dependente de tecnologias para produzir animais de forma sustentável na região. Há um desejo ou necessidade econômica de os proprietários intensificarem a produção pecuária com a introdução de pastagens cultivadas exóticas em áreas de vegetação nativa em larga escala. Nesse sentido, tecnologias geradas e/ou adaptadas para o Pantanal, como relação touro/ vaca, descarte técnico de vacas, novilhas e touros, estação de monta, inseminação artificial em tempo fixo – IATF, redução da idade da primeira cria, desmama precoce, redução da taxa de mortalidade de bezerros, formulações minerais e de ração, manejo de pastagens nativas, formação e manejo de pastagens cultivadas etc. foram validadas antes de serem introduzidas nos sistemas de produção da região. Essas tecnologias aumentaram a eficiência do seu sistema de produção e, com base nessa percepção, pode-se afirmar que, para obter a sustentabilidade da criação de bovinos de corte no Pantanal, é preciso, antes de tudo, aumentar a sua produtividade, usando tecnologias ambientalmente corretas que garantam a sua conservação. E, para garantir o desenvolvimento sustentável da região nos seus três aspectos (econômicos, sociais e ambientais), são necessários mais estudos sobre os efeitos da intensificação para conservação da biodiversidade e a viabilidade econômica de sua implantação na realidade local.

A conservação da biodiversidade no Pantanal sofre interferência das atividades antrópicas desenvolvidas no planalto do entorno do Pantanal, com uso extensivo de insumos agrícolas sem os devidos cuidados necessários para a conservação dos solos e da qualidade dos recursos hídricos (GALDINO; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, 2006). Outros fatores importantes são o desmatamento das áreas de preservação permanente das cabeceiras dos rios que correm para a planície e as obras ou usos que alterem o pulso de inundação na planície (irrigação, construção de barragens, hidrelétricas etc.). Para a conservação do bioma é fundamental que os sistemas de produção pantaneiros exerçam suas atividades

mantendo a biodiversidade por meio da isenção de impostos, do pagamento por serviços ambientais ou pela certificação de origem dos produtos do Pantanal. Enfim, sugere-se a adoção de mecanismos que garantam a valoração da conservação e dos serviços ecossistêmicos prestados pelo bioma, compensando adequadamente os sistemas produtivos que conservam o Pantanal.

6.7 Atuação da Embrapa Pantanal com instituições de pesquisa

A Embrapa Pantanal é uma unidade eco-regional, que compõe uma das 47 unidades da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Possui a Fazenda Nhumirim, uma área experimental no Pantanal da Nhecolândia e a sede em Corumbá, MS. A unidade foi criada em 1975 para atender demandas da pecuária da região e ampliou a sua missão e as abordagens de pesquisa em 1984, ao identificar a complexidade socioeconômica e ambiental do Pantanal. Inicialmente, as pesquisas se voltaram para entender o funcionamento complexo dos ambientes inundáveis. Seus resultados mostraram que o encher e secar das águas, chamado de pulso de inundação, é o principal processo ecológico determinante no Pantanal. Foram desenvolvidas tecnologias para o aprimoramento das principais atividades econômicas na região, como pecuária extensiva baseada em pastagens nativas e cultivadas, assim como a pesca artesanal e esportiva. Como resultado dos programas de assentamento rural promovido pelo INCRA, na parte alta dos municípios de Corumbá e Ladário, o tema da agricultura familiar também passou a fazer parte das áreas de pesquisa da unidade. Hoje, a Embrapa Pantanal conta com uma equipe técnica formada por 35 pesquisadores, 23 analistas, 23 técnicos e 43 assistentes, totalizando 124 empregados.

As pesquisas da Embrapa Pantanal são realizadas para gerar informações e tecnologias que promovam o uso sustentável dos recursos naturais da região. A Unidade também realiza estudos para aumentar a produtividade e lucratividade dos sistemas produtivos pantaneiros. Essas pesquisas mantêm a orientação de promover tanto a conservação ambiental quanto melhorias nos sistemas de produção. Os principais resultados da Embrapa Pantanal, aplicados em políticas públicas, tanto para o setor produtivo quanto para a conservação da região são:

- **Pacote tecnológico para a pecuária de corte.** Fundo Centro-Oeste, administrado pelo Banco do Brasil. A unidade colaborou no Art. 7º do financiamento para o fim de desenvolvimento de tecnologias agropecuárias, aportando critérios e recomendações técnicas para a substituição de algumas

pastagens nativas consideradas de baixo valor nutritivo e incremento na capacidade de suporte compatível com a quantidade e qualidade de matrizes a serem adquiridas;

- **Selo de indicação geográfica do Mel do Pantanal.** O processo de obtenção do registro de Indicação Geográfica para o mel do Pantanal foi obtido em 2015, junto ao Instituto de Propriedade Intelectual (INPI). O processo da IG Mel do Pantanal foi resultado de parcerias estabelecidas entre Sebrae-MS; Sebrae-MT; Sebrae Nacional; Federação de Apicultura e Meliponicultura de Mato Grosso do Sul; Federação de Apicultura de Mato Grosso; Câmara Setorial Consultiva de Apicultura de Mato Grosso do Sul; Alespana e Embrapa Pantanal. A Embrapa Pantanal subsidiou tecnicamente o processo definindo os critérios contidos no Caderno de Normas do Regulamento de Produção da Indicação do Mel do Pantanal, sumário dos procedimentos mínimos que devem ser adotados para a produção apícola obtida no Pantanal, na área geográfica delimitada da indicação de procedência do “Mel do Pantanal”, nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Cabe destacar que a indicação geográfica (IG), um dos tipos de indicação de procedência registrado e emitido pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), que resultou na IG do Mel do Pantanal, é a primeira de uma região produtora de mel e também a primeira da Região Centro-Oeste;

- **Sistema de Controle de Pesca de Mato Grosso do Sul (SCPESCA).** Responsável pela elaboração e manutenção do sistema de informática e análise de dados, com o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, e a publicação dos boletins de pesquisa. Esse sistema já reuniu um dos maiores conjuntos de dados da pesca profissional e amadora de água doce do país, coletados de forma contínua e sistemática, desde 1994 até o presente momento;

- **Programa de Prevenção e Controle da Anemia Infecciosa Equina no Pantanal Sul-Mato-Grossense.** O Programa foi elaborado em parceria entre a Embrapa Pantanal e a Comissão Estadual para o Controle da Anemia Infecciosa Equina do Estado de Mato Grosso do Sul (CECAIE-MS), com representantes de órgãos estaduais (Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal), Federais (Superintendência Federal de Agricultura, MS) e da iniciativa privada. O Programa de Prevenção e Controle da Anemia Infecciosa Equina no Pantanal Sul-Mato-Grossense (CAIEPAN) foi instituído pela Portaria IAGRO/MS número 739;

- **Diretrizes e critérios técnicos para o manejo do jacaré do Pantanal.** A Embrapa Pantanal tem gerado conhecimentos sobre a biologia e as respostas populacionais causadas pelas mudanças ambientais e manejo dos jacarés no bioma desde 1986. Esses conhecimentos subsidiaram planos de conservação e suporte técnico necessário à implantação de técnicas inovadoras de

manejo sustentável. O resultado desses anos de estudos sobre o jacaré foi concretizado com a primeira extração experimental de crocodilianos do Brasil em 1995, com a definição de um conjunto de técnicas de manejo, baseados em informações da biologia e da ecologia da espécie que ocorre no Pantanal (*Caiman yacare*). Com base nesses resultados, foi desenvolvido um conjunto de tecnologias denominado “Sistema de criação semi-extensiva do jacaré-do-Pantanal”. A Instrução Normativa IBAMA número 63 em 2005 implantou um Projeto Demonstrativo de Viabilidade Bioeconômica de Uso Comercial de Jacarés do Pantanal sob o Sistema Aberto de Produção e Recria.

A Embrapa Pantanal possui uma política de comunicação para a transferência de conhecimentos, tecnologia e processos para a sociedade. A Unidade prioriza mecanismos de incentivo e valorização de publicações técnico-científicas em periódicos indexados, nacionais e estrangeiros, além da publicação de livros técnicos. Disponibiliza também publicações em série, de livre acesso via Internet, com linguagem mais acessível, voltadas a um público mais diverso, incluem: Artigos de Divulgação na Mídia; Boletim de Pesquisa & Desenvolvimento; Comunicado Técnico; Circular Técnica e Série Documentos.

A instituição tem como estratégia a eficiência na captação de recursos para viabilizar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. O Tesouro Nacional está entre as fontes financiadoras e repassa recursos para o Sistema Embrapa de Gestão de Projetos. A elaboração de projetos em rede visando a captação de recursos em fontes externas nacionais e internacionais também é adotada pela unidade. A Embrapa Pantanal atua em uma rede de pesquisa com diversas instituições públicas e privadas.

As principais instituições públicas parceiras, que estão no Mato Grosso são o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Áreas Úmidas; a Universidade Federal de Mato Grosso e a Universidade do Estado de Mato Grosso. Já as principais parcerias públicas em Mato Grosso do Sul, são: Agência de Desenvolvimento Agrário e Extensão Rural de MS, Agência Estadual de Defesa Sanitária Animal e Vegetal de MS, Fundação Oswaldo Cruz MS, Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Ministério da Marinha, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Universidade Federal da Grande Dourados, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Além dessas, diversas instituições nacionais de outros estados, tais como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, a Universidade Federal de Goiás, a Universidade de São Paulo, a Universidade Estadual Paulista, a Universidade Estadual de Campinas, entre outras, também atuam no Pantanal em parceria com a Embrapa.

As principais instituições privadas, nacionais e internacionais, parceiras da Embrapa Pantanal são: Centro de Pesquisa do Pantanal, Ecoa; Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso (FAMATO); Federação da

Agricultura e Pecuária do Estado de Mato Grosso do Sul (FAMASUL); Fundação Bradesco; Instituto Arara Azul; Instituto Homem Pantaneiro; Instituto Conservation International do Brasil; SOS Pantanal; The Nature Conservancy; Universidade Católica Dom Bosco; World Wildlife Fund (WWF), entre outras.

Referências bibliográficas

- ADÂMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito “Complexo do Pantanal”. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32, 1981, Teresina. **Anais...** Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 1982. p.109-119.
- AGOSTINHO, A. A.; GOMES, L. C.; PELICICE, F. M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2007. 501 p.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Hidrelétrica. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 02 set. 2017.
- ASSINE, M. L.; MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; BERGIER, I.; PADOVANI, C. R.; SILVA, A. Avulsive rivers in the hydrology of the Pantanal wetland. In: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (Ed.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. p. 83-110. (The Handbook of Environmental Chemistry, 37).
- BARLETTA, M; CUSSAC, V. E.; AGOSTINHO, A. A.; BAIGÚN, C.; OKADA, E. K.; CATELLA, A. C.; Lasso, C. A. Fisheries ecology in South American river basins. In: John F. Craig. (Ed.). **Freshwater Fisheries Ecology**. 1. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2016. p. 311-348.
- BERGIER, I. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of The Total Environment**, v. 463-464, n.1, p. 1060-1066, 2013.
- BRITSKI, H. A.; SILIMON, K. Z. de S. de; LOPES, B. S. **Peixes do Pantanal: manual de identificação**. 2. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 230 p.
- BULLER, L. S.; SILVA, G. B. S. da; ZANETTI, M. R.; ORTEGA, E.; MORAES, A. DE; GOULART, T.; BERGIER, I.; BULLER, L. S. Historical Land-Use Changes in São Gabriel do Oeste at the Upper Taquari River Basin. In: BERGIER, I.; ASSINE, M. L. (Ed.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. p. 191-208. (The Handbook of Environmental Chemistry, 37).
- CALHEIROS, D. F.; SEIDL, A. F.; FERREIRA, C. J. A. Participatory research methods in environmental science: local and scientific knowledge of a

- limnological phenomenon in the Pantanal wetland of Brazil. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 37, p. 684-696, 2000.
- CAMPELO JÚNIOR, J. H. C.; SANDANIELO, A.; CANAPPELE, C.; PRIANTE FILHO, N.; MUSIS, C. R.; SORIANO, B.M.A. Climatologia. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)** - PCBAP: Diagnóstico dos meios físicos e bióticos: meio físico. Brasília, 1997, v.2, t.1, p. 295-334.
- CAMPOS, J.; VIEIRA, L. M. **Projeto de Pesquisa do Pantanal de Matogrosso** – Convênio BNDE/UFV/MT: relatório geral dos trabalhos. Viçosa, MG: UFRV, 1974. 29 p.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A.; CURI, N.; FREITAS, D. A. F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 1028-1035, 2010.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FREITAS, D. A. F. de. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 613-622, 2011.
- CARDOSO, E. L.; SANTOS, S. S.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A.; PELISSARO, H. E. G. Disponibilidade de nutrientes no solo sob diferentes estados de conservação de pastagens nativas de áreas úmidas no Pantanal. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 5. 2017, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu, SP: FCA/UNESP, 2017. P. 143-146. Disponível em: <<http://www.fepaf.org.br/Download/ANAIS-5SIMBH.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
- CATELLA, A. C. **A pesca no Pantanal Sul**: situação atual e perspectivas. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 45 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 48).
- CATELLA, A.C.; NASCIMENTO, F. L.; MORAES, A. S.; RESENDE, E. K. de; CALHEIROS, D. F.; OLIVEIRA, M.D. de, PALMEIRA, S. de S. Ictiofauna. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)** – PCBAP: Diagnóstico dos Meios físico e biótico: meio biótico. Brasília, 1997. v.2, t.3, p. 323-400.
- CATELLA, A. C.; MASCARENHAS, R. de O.; ALBUQUERQUE, S. P.; ALBUQUERQUE, F. F. de.; THEODORO, E. R. de M. Sistemas de estatísticas pesqueiras no Pantanal, Brasil: aspectos técnicos e políticos. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v.3, n.3, p. 174-192, 2008.
- CATELLA, A. C.; CAMPOS, F. L. de R.; ALBUQUERQUE, S. P. **Sistema de controle da pesca de Mato Grosso do Sul SCPESCA/MS 22 - 2015**. Corumbá: Embrapa Pantanal; Campo Grande, MS: SEMADE: IMASUL, 2016. 55 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 131).

- CAVALCANTI, S. M. C., AZEVEDO, F. C. C., TOMAS, W. M., BOULHOSA, R. L. P., CRAWSHAW JUNIOR, P. G. The status of the jaguar in the Pantanal. **Catnews Special**, v. 7, p. 29-34, 2012. Boletim Informativo da IUCN/SSC Cat Specialist Group.
- EMBRAPA PANTANAL (Corumbá, MS). **IV Plano Diretor da Embrapa Pantanal: 2008 – 2011 - 2023**. Corumbá, 2008. 35p.
- FERNANDES, F. A.; CARDOSO, E. L.; FERNANDES, A. H. B. M. Soil carbon and nitrogen stocks under natural forested savannah and cultivated pasture in the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2. 2016, Campo Grande, MS. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 356-359. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 216). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/151033/1/fernandes-soil.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L. A.; LIMA, I. B. T. de. **Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/download.php?arq_pdf=COT61>. Acesso em: 21 jun. 2016.
- GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 356 p.
- GARMS, A. (Coord.). Turismo. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) - PCBAP: Sócio-economia de Mato Grosso do Sul**. Brasília. 1997. v. 2, t. 4, p. 592-682.
- HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, v. 137, p. 1-23, 1996.
- HARRIS, M. B., TOMAS, W. M., MOURÃO, G., SILVA, C. J. S, GUIMARÃES E., SONODA, F., FACHIM E. Safeguarding the Pantanal wetlands: threats and conservation initiatives. **Conservation Biology**, v. 19, p. 714-720, 2005.
- JOHNSON, M. A.; TOMAS, W. M.; GUEDES, N. M. R. Density of young manduvi (*Sterculia apetala*), the Hyacinthine Macaw s nesting tree, under three different management conditions in the Pantanal wetland, Brazil. **Ararajuba**, v. 5, p. 185-188, 1997.
- JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. In: DODGE, D. P. (Ed.). **Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)**. Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences, 106, p. 110-127, 1989.

- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; TORRES, R. R. Regional climate change scenarios in the Brazilian Pantanal watershed. **Climate Research**, v. 68, n. 2-3, p. 201-213, 2016.
- MATEUS, L. A. F., VAZ, M. e CATELLA, A. Fishery and fishing resources in the Pantanal. In: JUNK, W.; Da SILVA, C.; NUNES DA CUNHA, C.; WANTZEN, M. (Ed.). **The Pantanal: ecology and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland**. Sofia: Pensoft Publishers, 2011. 870p.
- MATTOS, P. P.; SALIS, S. M.; BRAZ, E. M.; CRISPIM, S. M. A. Sustainable management of natural forests in Pantanal Region, Brazil. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 2, p. 321-333, 2010.
- MONITORAMENTO das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai, Porção Brasileira, Período de análise: 2012 a 2014. Brasília: Instituto SOS Pantanal, WWF- Brasil, 2015. 66 p. il. Disponível em: <http://www.sosPantanal.org.br/novo/wp-content/uploads/2017/06/Publicac%CC%A7a%CC%83o_BAP_Relato%CC%81rio_2012-2014_Web.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2017.
- MORAES, A. S.; SEIDL, A. F. **Perfil dos pescadores esportivos do sul do Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2000. 41p. (Embrapa Pantanal. Circular Técnica, 24).
- MORAES, A. S.; ESPINOZA, L. W. **Captura e comercialização de iscas vivas em Corumbá, MS**. Corumbá: Embrapa Pantanal. 2001. 37 p. (Embrapa Pantanal. Boletim de Pesquisa, 21).
- MOURÃO G.; COUTINHO M. E.; MAURO R. A.; CAMPOS Z.; TOMAS, W. M.; MAGNUSSON, W. 2000. Aerial surveys of caiman, marsh deer and pampas deer in the Pantanal wetland of Brazil. **Biological Conservation**, New York, v. 92, n. 2, p.175-183, 2000.
- MOZERLE, H. B. **Probabilidade de ocupação de pequenos mamíferos em uma região do Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2011. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2011.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2ª ed., 1989. 422p.
- NUNES, A. P. Quantas espécies de aves ocorrem no Pantanal brasileiro? **Atualidades Ornitológicas**, v. 160, p. 45-54, 2011.
- NUNES, A. P. **Efeito da heterogeneidade da paisagem e do habitat na comunidade de aves no oeste do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul**. 2015. 281 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS.
- NUNES A. P.; TOMAS, W. M. **Aves migratórias e nômades ocorrentes no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal. 2008. 123 p.
- NUNES, A. P.; TOMAS, W. M.; RAGUSA-NETTO, J. **Estrutura do sub-bosque em manchas florestais no Pantanal da Nhecolândia: efeitos**

- da presença de gado. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2008. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 74). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/796506/1/COT74.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; DAMASCENO JUNIOR, G. A.; SILVA, J. S. V. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, suppl., p. 265-273, 2011.
- PRODUÇÃO da pecuária municipal - 2015. IBGE 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2015/>>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- RESENDE, E. K. **Pulso de inundação**: processo ecológico essencial à vida no Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal. 2008. 16 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 94).
- SANTOS, S. A.; PELLEGRIN, A. O.; MORAES, A. S.; BARROS, A. T. M. de; COMASTRI FILHO, J. A.; SERENO, J. R. B.; SILVA, R. A. M. S.; ABREU, U. G. P. de. Sistema de Produção de Gado de Corte do Pantanal. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2002. 80p.
- SANTOS, R.D. dos; CARVALHO FILHO, A.; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, H.; MOTA P. E. F.; BARUQUI, A. M.; BARRETO, W.O.; MELO, M. E. C. C. M.; PAULA, J. L.; SANTOS, E. M. R.; DUARTE, M. N. Pedologia. In: **Plano de Conservação da bacia do Alto Paraguai - PCBAP**: Diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1997. v.2, t.1cap 3. p. 127-307.
- SHRESTHA, R. K.; SEIDL, A. F.; MORAES, A. S. Value of recreational fishing in the Brazilian Pantanal: a travel cost analysis using count data models. **Ecological Economics**, v.42, n.1/2, p. 289-299, Aug. 2002.
- SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 33, n. 13, p. 1703-1711, 1998.
- SORIANO, B. M. A.; PADOVANI, C. R.; FERNANDES, A. H. B. M.; FERNANDES, F. A. Water balance climatology under conditions of future climate scenarios in the Pantanal Nhecolândia, Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2016, Campo Grande, MS. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 455-456. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 216).
- STRUSSMANN, C.; RIBEIRO R. A. K.; FERREIRA, V. L.; BEDA, A. F. Herpetofauna do Pantanal Brasileiro. In: NASCIMENTO, L.; Oliveira, M. E. (Org). **Herpetologia no Brasil II**. Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Herpetologia, 2007. p. 66-84.
- TEIXEIRA, G. S.; ABDALLAH, P. R. Política de seguro-desemprego ao pescador artesanal: assistencialismo ou incentivo? In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RU-

- RAL, 46, 2008, Rio Branco. v. único. p. 186-203. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/9/383.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2017.
- THORP, J. H.; THOMS, M. C.; DELONG, M. Introduction to the Riverine Ecosystem Synthesis. In: **The riverine ecosystem synthesis: toward conceptual cohesiveness in river science**. Amsterdam; Boston: Academic Press, 2008. 208 p. (Aquatic ecology series).
- TIZIANEL, F. A. T. **Efeito da complexidade da vegetação de fitofisionomias naturais e pastagens cultivadas sobre a comunidade de aves em duas fazendas no Pantanal da Nhecolândia, Corumbá, Mato Grosso do Sul**. 2008. 54f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, Brasil.
- TOMAS, W. M.; CACERES, N.; NUNES, A. P.; FISHER, E.; MOURÃO, G.; CAMPOS, Z. Mammals in the Pantanal wetland, Brazil. In: JUNK, W. J., SILVA, C. J., NUNES DA CUNHA, C., WANTZEN, K. M. (Ed.). **The Pantanal: Ecology, Biodiversity and Sustainable Management of a Large Neotropical Seasonal Wetland**. Sofia: Pensoft Publishers, 2011. p. 563-595.
- TOMAS, W. M.; CAMILO, A.R.; RIBAS, C.; LEUCHTENBERGER, C; BORGES, P.A.L; MOURAO, G.; PELLEGRIN, L. A. Distribution and conservation status of giant otter *Pteronura brasiliensis* in the Pantanal wetland, Brazil. **The Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v. 10, n. 2, p. 107-114, dez. 2015.
- TUBELIS, D. P.; TOMAS, W. M. Bird species of the Pantanal wetland, Brazil. **Ararajuba**, v.11, p. 5-37, 2003.
- VALERIANO, M. M.; SALVI, L. L.; ARAGÃO, J. R. L. Relações entre a distribuição da precipitação e o relevo da bacia do alto Paraguai. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 4., 2012, Bonito, MS. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2012. p. 289 -298.
- VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G. W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J. R.; CUSHING, C. E. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.

7

BIOMA PAMPA: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável

Heinrich Hasenack¹

Eliseu J. Weber²

Eduardo Vélez-Martin³

Gabriel S. Hofmann⁴

Homero Dewes⁵

7.1 Características gerais do bioma

O conceito de sustentabilidade no contexto dos biomas pressupõe que se leve em conta suas singularidades ambientais, pois elas determinam vocações e potencialidades, bem como limitações e fragilidades. O bioma Pampa localiza-se no extremo sul do Brasil, onde ocupa uma área de 176.496 km², 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2004). Corresponde à porção setentrional de uma região na qual predominam os campos subtropicais, também presentes no Uruguai e na Argentina, conhecida como Campos do Rio da Prata (SORIANO et al., 1992). O domínio da vegetação herbácea na região é uma herança de condições paleoclimáticas que remontam ao último período glacial, há cerca de 18.000 anos (BEHLING; PILLAR; BAUERMAN, 2005).

O aumento da temperatura e da umidade a partir do Holoceno superior, há cerca de 5000 anos, criou condições propícias ao estabelecimento concomitante de vegetação florestal, embora a região tenha permanecido predominantemente campestre (BEHLING PILLAR; BAUERMAN, 2009). Desde o início da colonização europeia, a vegetação campestre nativa do Pampa serve de fonte de

1 Professor Adjunto, Departamento de Ecologia, UFRGS.

2 Pesquisador associado, Centro de Ecologia, UFRGS e Professor Adjunto, Universidade Luterana do Brasil.

3 Pesquisador associado, Rede Campos Sulinos, UFRGS.

4 Pesquisador, Universidade LaSalle.

5. Professor Titular, UFRGS-Departamento de Biofísica

recursos forrageiros para a pecuária. O manejo desta atividade afeta a vegetação campestre, principalmente pelo pastejo e pisoteio dos herbívoros domésticos e, em algumas situações, pelo uso do fogo. De um lado, isso alterou a fisionomia original dessa vegetação, mas por outro, tem permitido por longo tempo a manutenção da biodiversidade campestre e evitado a progressão da vegetação arbustiva e florestal.

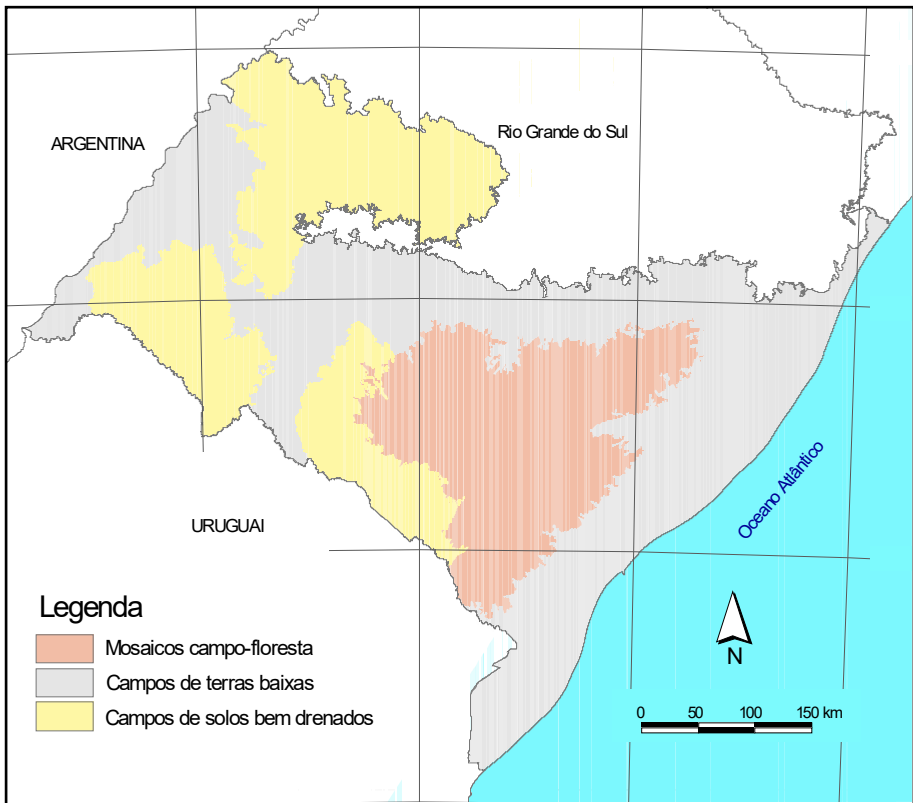
O clima atual no bioma Pampa é subtropical úmido. A temperatura média anual é de 18,3°C, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 23,8°C, e junho, o mais frio, com temperatura média de 13,0°C. A precipitação total anual é de 1.534 mm, sendo abril o mês com menor precipitação (112,5 mm) e setembro o mês mais chuvoso (143,9 mm) (INMET, 1992). A temperatura apresenta clara sazonalidade, com verão e inverno bem definidos, mas a amplitude da variação anual da precipitação mensal não é suficiente para caracterizar um período seco e outro chuvoso. Contudo, é comum na região, especialmente nas localidades próximas à fronteira com o Uruguai, a ocorrência de deficiência hídrica durante os meses do verão, provocada pelas altas temperaturas diárias no período (LEIVAS; BERLATO; FONTANA, 2006).

Adicionalmente, existe uma considerável variabilidade interanual da precipitação e da temperatura, em grande parte relacionada à ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (BERLATO; FONTANA, 2003). Durante a primavera e também no verão a Massa Tropical Marítima atua na região do Pampa provocando precipitações convectivas de grande intensidade e de curta duração (NIMER, 1979). No outono-inverno, aumenta a frequência dos anticiclones migratórios polares associados à Massa Polar Marítima, trazendo chuvas de duração mais prolongada (HASENACK; FERRARO, 1989). Nesse período as geadas são frequentes, embora elas possam ocorrer também no outono e na primavera (NIMER, 1979). É comum a ocorrência de granizo, fenômeno mais frequente no fim do inverno e na primavera, devido à passagem de frentes frias pela região, as quais podem vir associadas a áreas de alta instabilidade (BERLATO; MELO; FONTANA, 2000; CUNHA et al., 2001).

A geologia compreende uma diversidade de litologias que incluem rochas graníticas do Eon Arqueano (3,85 bilhões a 2,50 bilhões de anos), areníticas e basálticas da Era Mesozóica (251 a 65 milhões de anos) e depósitos sedimentares da Era Cenozóica (65 milhões de anos até o presente). O relevo varia de plano a forte ondulado. Nas planícies de inundação dos maiores rios e na planície costeira, as altitudes normalmente são inferiores a 10 metros. Em contrapartida, o topo das formações graníticas do Planalto Sul-Rio-Grandense se aproxima dos 500 metros. A combinação da diversidade de litologias, altitudes e declividades gera diversas formas de relevo, as quais correspondem a diferentes unidades geomorfológicas e compreendem uma grande variedade de tipos de solos (IBGE, 1986).

Esses fatores condicionam a vegetação do bioma Pampa, sendo possível identificar três grandes conjuntos fisionômicos: os mosaicos campo-floresta, sobre as formações graníticas, os campos de terras baixas, sobre os depósitos sedimentares e os campos de solos bem drenados (Figura 1). Em geral, a vegetação florestal ocorre ao longo da drenagem e também nas encostas voltadas para o quadrante sul, as quais recebem menor radiação durante o ano e, conseqüentemente, são mais úmidas, favorecendo o estabelecimento de vegetação arbórea (CARLUCCI et al., 2015). A riqueza de plantas campestres do bioma Pampa é notável, com cerca de 2.150 espécies (BOLDRINI; OVERBECK; TREVISAN, 2015). Boa parte das espécies pertence às famílias das gramíneas (Poaceae) e das compostas (Asteraceae) (BOLDRINI, 2009). Há também uma elevada riqueza de cactáceas (Cactaceae), com 44 espécies (CARNEIRO et al., 2016), conferindo importância global a esse bioma (CARNEIRO et al., 2016; GOETTSCHE et al., 2015). A maior parte da flora do Pampa tem origem na província fitogeográfica do Chaco, mas elementos da flora Amazônica e Andino-patagônica também estão presentes (CABRERA; WILLINK, 1980).

Figura 1. Grandes conjuntos fisionômicos da vegetação do bioma Pampa.



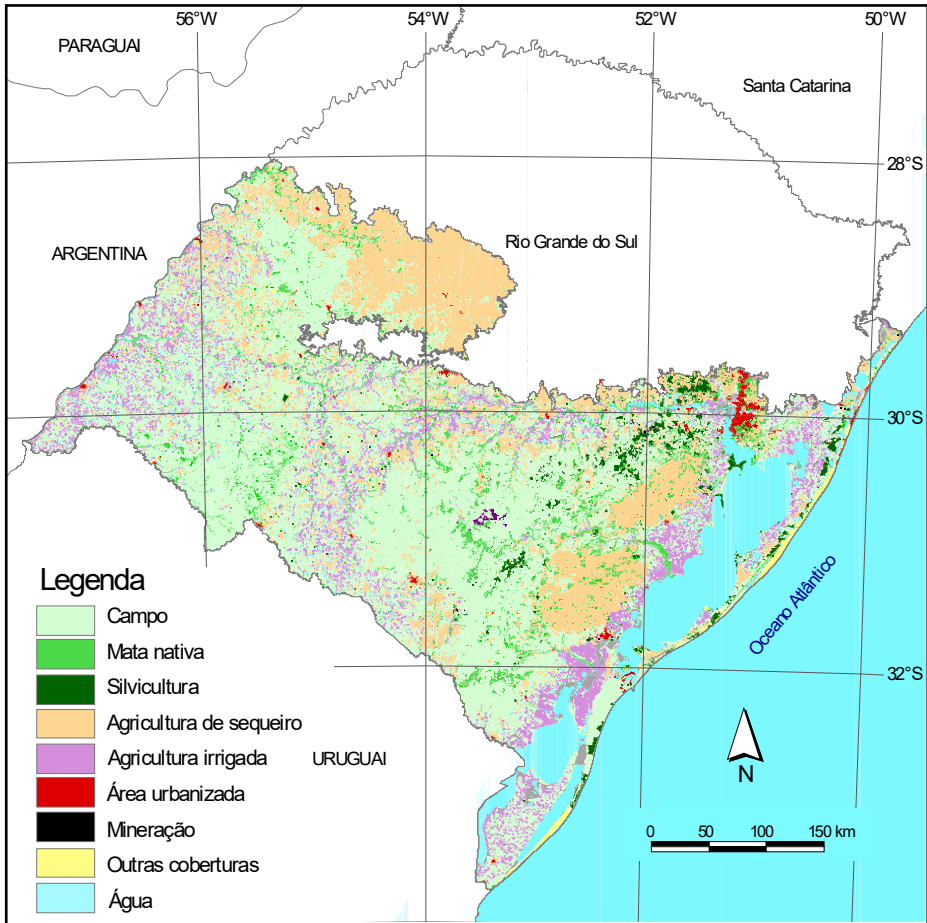
Fonte: Adaptado de MAPA BIOMAS, 2017.

A menor complexidade dos ecossistemas campestres e a perda da tropicalidade resultam na fauna menos diversa do que aquela observada nas regiões florestais. Por outro lado, no Pampa estão representadas espécies típicas de áreas abertas, além de ser uma região de transição zoogeográfica, já que algumas espécies têm ali o seu limite de distribuição meridional, enquanto outras, o seu limite setentrional. Entre os mamíferos com distribuição típica no Pampa incluem-se o gato-do-mato-grande (*Leopardus geoffroyi*), o gato-palheiro (*Oncifelis colocolo*), o bugio-preto (*Alouatta caraya*), o cachorro-do-campo (*Lycalopex gymnocercus*), o zorrilho (*Conepatus chinga*), o veado campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*), o tatu-mulita (*Dasypus hybridus*), o tatu-peludo (*Euphractus excinctus*) e os tuco-tucos (*Ctenomys flamarioni*, *C. lami*, *C. torquatus*, *C. ibicuiensis* e *C. minutus*) (CÁCERES; CHEREM; GRAIPEL, 2007; LUZA et al., 2015). A diversidade de aves inclui cerca de 480 espécies, um quinto delas tipicamente campestre (DEVELEY et al., 2008). Muitas espécies dependem de vegetação campestre mais alta e densa, como os caboclinhos (*Sporophila* spp.) e o papa-moscas-do-campo (*Culicivora caudacuta*), enquanto outras dependem de campos limpos, como o caminheiro-grande (*Anthus nattereri*).

O Pampa também recebe sazonalmente muitas espécies migratórias, algumas do sul, como a batuíra-de-peito-avermelhado (*Charadrius modestus*), a abatuíra-de-papo-ferrugíneo (*Oreopholus ruficollis*), a andorinha-chilena (*Tachycineta meyeni*), o pedreiro-dos-andes (*Cinclodes fuscus*), o colegial (*Lessonia rufa*) e o gaúcho-chocolate (*Neoxolmis rufiventris*) (AZPIROZ et al., 2012), e outras do norte, como o maçarico-do-campo (*Bartramia longicauda*), a tesourinha (*Tyrannus savana*), o corucão (*Podager nacunda*) e a andorinha-do-campo (*Progne tapera*) (FONTANA; BENCKE, 2015; BENCKE, 2016). Entre os répteis, ocorrem algumas espécies restritas ao Pampa como a tartaruga-tigre-d'água (*Trachemys dorbignyi*), as cobras-de-duas-cabeças (*Amphisbaena darwini* e *A. munoai*), a lagartixa-listrada (*Cercosaura ocellata*), a lagartixa-verde (*Teius oculatus*), o lagartinho-do-Pampa (*Homonota uruguayensis*), a lagartixa-da-praia (*Liolaemus occipitalis*), a lagartixa-das-dunas (*Liolaemus arambarensis*) e as serpentes narigudinha (*Xenodon dorbignyi*), corredeira-do-banhado (*Pso-mophis obtusus*) e cobra-espada-comum (*Tomodon dorsatus*) (BENCKE et al., 2009; VERRASTRO; BORGES-MARTINS, 2015).

A principal ameaça à biodiversidade no bioma Pampa resulta das atividades que dependem da supressão da vegetação nativa, tais como a agricultura e a silvicultura. Em termos relativos, o Pampa é o segundo bioma brasileiro com maior descaracterização das suas paisagens naturais. Em 2002 (Figura 2a), os remanescentes de vegetação campestre totalizavam 50,2 % (HASENACK; CORDEIRO; WEBER, 2015), cobertura vegetal que, em 2009 (Figura 2b), já havia sido reduzida em 11,4% do bioma (WEBER et al., 2016).

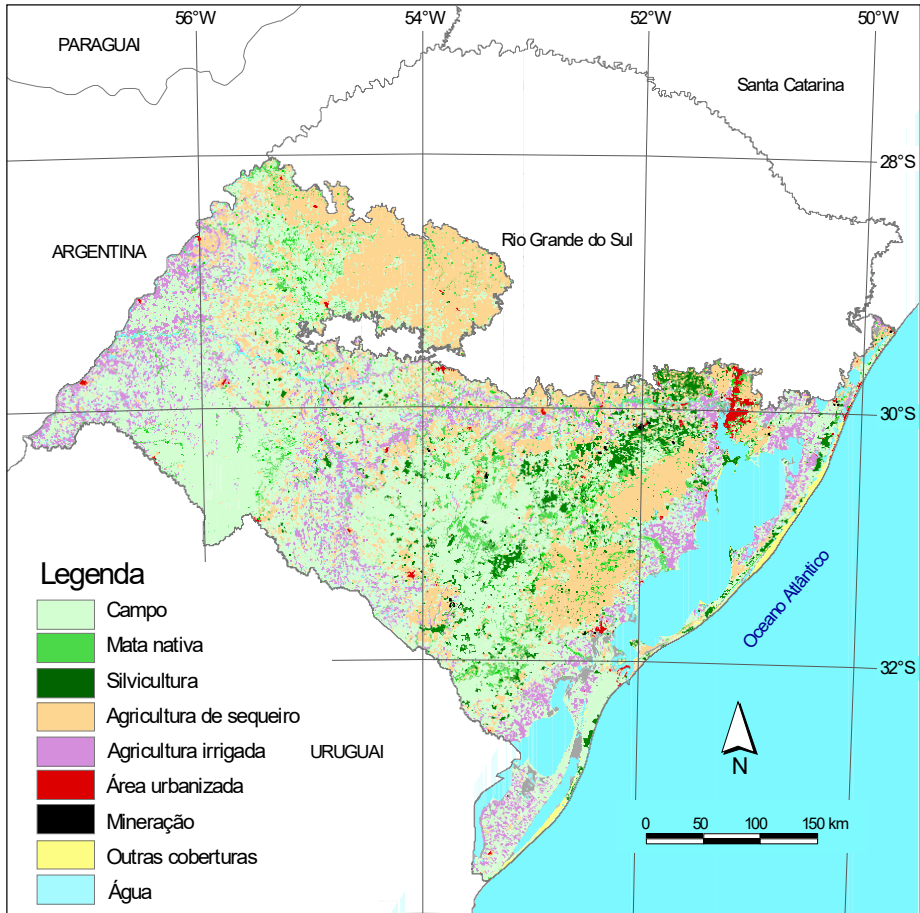
Figura 2a: Principais tipos de cobertura vegetal e uso do solo no bioma Pampa em 2002.



Fonte: adaptado de HASENACK et al., 2015.

Entre as principais mudanças verificadas, a agricultura irrigada e a de sequeiro tiveram expansão de 5,22% e 3,98%, respectivamente, e a silvicultura ampliou sua área em 3,5%, enquanto outros tipos de uso, no conjunto foram responsáveis pela redução de 0,4% na cobertura campestre nesse período. Surpreende o avanço da silvicultura, cuja área plantada aumentou 112% em relação a 2002, com 98% dessa expansão verificada sobre a vegetação campestre nativa. Em contrapartida, nesse mesmo período, houve também a regeneração do campo em 6,7% da área do bioma Pampa, a maior parte sobre áreas antes dedicadas ao cultivo anual de grãos. Entre eles, destaca-se o arroz irrigado (2,6%), cujo sistema de produção tradicional alterna periodicamente lavouras e áreas de pousio, e

Figura 2b: Principais tipos de cobertura vegetal e uso do solo no Bioma Pampa em 2009.



Fonte: adaptado de WEBER et al., 2016.

cultivos de sequeiro (3,6%), que apresentam avanços episódicos, notadamente a soja na última década.

Considerando simultaneamente a remoção e a regeneração, a perda líquida de áreas de vegetação campestre no bioma Pampa foi de 4,7% entre 2002 e 2009, confirmando as observações feitas por CRAWSHAW et al. (2007), OVERBECK et al. (2007), VELDMAN et al. (2015a) e OLIVEIRA et al. (2017). De certa forma, constata-se no Pampa uma tendência semelhante à do Cerrado, onde a vegetação nativa altamente biodiversa (no Pampa, o campo) está sendo substituída por monoculturas de grãos (soja, principalmente) ou de espécies arbóreas (o eucalipto) (VELDMAN et al., 2015b).

7.2 Diagnóstico dos impactos das atividades agropecuárias

As principais atividades presentes na área rural do Bioma Pampa incluem a pecuária, a produção anual de grãos, incluindo em especial a orizicultura irrigada e o cultivo de sequeiro da soja, além de milho, sorgo e outros cereais em menor extensão, bem como cultivos perenes como a silvicultura e a fruticultura. A pecuária sobre campo nativo teve início com a ocupação do território por portugueses e espanhóis a partir das Missões Jesuíticas no século XVII (CURTIS, 1964; THOMAS, 1976). Inicialmente utilizada para subsistência, com o tempo, a criação de mueres e gado bovino tornou-se a principal atividade econômica da região, cuja produção era exportada para o centro do país. A crescente demanda por carne no Brasil durante o período colonial estimulou a produção de charque (carne salgada), que atingiu seu auge no século XIX e entrou em crise com abolição da escravatura em 1888 (CURTIS, 1964; FURTADO, 1998). Até meados do século XX o gado era criado solto sem grande preocupação com o manejo dos campos ou do próprio rebanho (CURTIS, 1964).

Esse panorama começou a mudar no final do século XIX, quando Joaquim Francisco de Assis Brasil liderou um movimento para a melhoria da produção pecuária no Rio Grande do Sul, que resultou na introdução das linhagens de gado Jersey e Devon, do cavalo árabe e da raça de ovelhas Karakul (VARGAS, 2015). Na década de 1980, regras governamentais estabeleceram uma lotação mínima de um animal por hectare para o Pampa, (NABINGER, 1980; CARVALHO et al., 2009), ignorando as características biofísicas heterogêneas do Bioma Pampa e a capacidade de suporte da vegetação frente ao manejo utilizado na época. Nas décadas seguintes, pesquisas buscaram contemplar tanto um maior conhecimento da composição florística dos diferentes tipos de campo (BOLDRINI, 1993), quanto das estratégias de manejo do campo para a produção pecuária sustentável, de modo a ajustar a carga animal ao efetivo forrageiro potencial de cada localidade (MARASCHIN, 2009). Esses estudos demonstraram a possibilidade de incrementar consideravelmente a produção de carne por hectare de forma sustentável, aproveitando a rica dieta que a diversidade florística do campo nativo oferece.

Dessa forma, reduz-se a necessidade de conversão da cobertura original para cultivo de pastagem, preservando habitats e a fauna a eles associada. Embora sejam bastante promissoras, tais técnicas ainda têm adoção restrita no meio produtivo, carecendo de políticas públicas mais efetivas para sua difusão. De outro lado, a produção pecuária, uma das atividades econômicas mais compatíveis com a aptidão do ambiente natural do Pampa, vem perdendo espaço em detrimento da produção de grãos, notadamente soja, de maior retorno financeiro. Como consequência, há uma considerável perda associada à biodiversidade, pois os cul-

tivos anuais implicam a remoção da vegetação campestre nativa para implantação das lavouras.

O cultivo comercial de arroz irrigado no Rio Grande do Sul se desenvolveu na primeira década do século XX, inicialmente cultivado nas áreas úmidas da planície costeira e nas várzeas fluviais próximas dos primeiros núcleos urbanos (Rio Grande no Sudeste, Rio Pardo no centro e no entorno de Porto Alegre, nas várzeas dos rios Jacuí e Gravataí). A partir do final da década de 1950, o cultivo de arroz irrigado iniciou sua expansão para a região oeste do Rio Grande do Sul (BESKOW, 1984). Entre as culturas anuais, a de arroz irrigado talvez seja a que melhor convive com o campo nativo, pois, historicamente, o sistema de produção alterna as lavouras com a pecuária. O arroz é cultivado durante os meses de verão em uma parcela da propriedade e o restante da área permanece em pousio, possibilitando a regeneração do campo nativo, que é destinado à criação de gado (GOMES; MAGALHÃES JR, 2004). O pousio é uma forma de manejo tradicionalmente praticada em todo o Rio Grande do Sul como forma de reduzir a ocorrência de arroz vermelho nas lavouras (ANDRES et al., 2001).

Atualmente o Bioma Pampa concentra cerca de 70 % da produção de arroz do país, com uma área total dedicada à cultura estimada em cerca de três milhões de hectares (considerando áreas plantadas e de pousio). Melhoramentos decorrentes de pesquisas em sementes e nas técnicas de produção elevaram o rendimento médio, que, na década de 1970 era de 3.000 kg/ha para os atuais 7.500 kg/ha (CARMONA, 2015). Na safra 2016/2017, graças às condições climáticas favoráveis, o rendimento médio chegou próximo de 9.000 kg/ha. Apesar disso, o alto custo da lavoura de arroz aliado à baixa remuneração do produto frente aos preços favoráveis da soja no mercado internacional, têm levado muitos produtores a optar pelo cultivo da soja no lugar do uso pecuário durante o pousio, ou mesmo a substituir a cultura do arroz pela da soja.

Embora o retorno econômico no curto prazo possa ser vantajoso, há dúvidas quanto à sustentabilidade dessa produção. A introdução de uma cultura mais intensiva em uso de insumos e defensivos, originária de condições edafoclimáticas diferentes, sobre um ambiente reconhecidamente sensível em virtude da proximidade do lençol freático da superfície, suscita controvérsias quanto aos riscos de contaminação e outros possíveis impactos ambientais.

Os cultivos anuais de sequeiro, em especial da soja, têm avançado para o bioma Pampa a partir do noroeste do Rio Grande do Sul, frequentemente acompanhando as oscilações dos preços internacionais e as previsões de eventuais períodos de seca ou de precipitação elevada para o ciclo de cultivo. Essa expansão, além de suprimir a vegetação campestre nativa para a implantação de novas lavouras, em geral, também é prejudicial para a conservação dos solos, pois muitos deles apresentam baixa aptidão ao uso com culturas anuais. Como consequência do uso inadequado, em

várias porções do Pampa observam-se sinais evidentes de degradação e erosão dos solos, o que inevitavelmente comprometerá a produção no futuro próximo. Neste contexto, em um tipo específico de campo, na porção oeste do Bioma, o Campo com areais, observa-se um processo de arenização natural, o qual é agravado pelo uso” (VERDUM, 2004; SUERTEGARAY; SILVA, 2009). Além disso, os recursos hídricos também são prejudicados, pois fertilizantes e defensivos são carregados junto com o solo para dentro dos mananciais, bem como é favorecida a dispersão indesejável de espécies exóticas invasoras. Quando tais áreas deixam de ser cultivadas, as plantas invasoras, especialmente o capim-annoni, tendem a ocupá-las mais rapidamente do que as espécies nativas (MEDEIROS; SAIBRO; FOCHT, 2009).

O cultivo de árvores exóticas no Pampa iniciou no final do século XIX com a introdução de espécies de eucalipto como fonte de madeira de construção de casas e, especialmente, galpões e estábulos, mas, também, como abrigo para o gado. Na década de 1930, os plantios serviram para fabricação de dormentes de ferrovias e como matéria prima para produção de postes de distribuição de energia. A acácia negra também foi introduzida na mesma época, com o objetivo principal de produção de tanino para curtimento de couro, o qual era obtido da casca, sendo a madeira usada como lenha ou na produção de carvão vegetal. Na década passada, a sua substituição parcial por tanino industrial e o alto custo da mão de obra para extração da casca e da madeira levaram à substituição do seu cultivo por plantios de eucalipto para celulose. No final dos anos 1950 foram também introduzidas no estado espécies de pinus, atualmente exploradas para extração de resina e madeira para fabricação de móveis, embalagens e outras aplicações.

Entretanto, até a década de 1970 a silvicultura tinha pouca expressão no bioma. A chegada da primeira indústria de celulose de grande porte, em 1972, impulsionou a silvicultura do eucalipto, em especial na Serra do Sudeste. Além do estímulo e apoio técnico ao plantio de eucalipto em propriedades privadas, a empresa adquiriu áreas para produção própria e, com o passar do tempo, sua ampliação provocou expansão do cultivo também em outras regiões do Pampa. Programas governamentais para o desenvolvimento da metade sul do Rio Grande do Sul, área correspondente ao Bioma Pampa, ofereceram, no início da década de 2000, estímulo adicional à silvicultura.

A fruticultura também é uma atividade relevante na região, envolvendo principalmente a produção de pêssegos, citros e uvas viníferas. A região de Pelotas, na Serra do Sudeste, é tradicional produtora de pêssegos, atividade que tem origem na agricultura familiar. A citricultura no Bioma Pampa, em geral, é formada por pomares comerciais voltados à agroindústria. A viticultura está em franca expansão, processo que iniciou a partir da década de 1980 quando a indústria vinícola, então concentrada na Serra Gaúcha, viu no Bioma Pampa uma alternativa para a diversificação e a qualificação do vinho brasileiro. A partir do início do século

XX, ganhou novo impulso também a olivicultura, cuja tentativa de introdução nos anos 1960 não teve o êxito esperado. Hoje há experiências bem-sucedidas em diferentes pontos no Pampa e a produção olivícola vem recebendo novos investimentos. A maior parte dessas espécies de frutíferas, por ser perene, não demanda o revolvimento frequente do solo, além de permitir eventual consórcio com a pecuária, em especial a de ovinos. Em relação a outros cultivos, a fruticultura ocupa áreas proporcionalmente pequenas, podendo ser uma alternativa econômica interessante para o bioma.

7.3 Prioridades de ações de pesquisa para a sustentabilidade das atividades agropecuárias

Muitos estudos sobre formas de manejo do campo nativo têm comprovado eficácia no aumento da produção de carne por hectare e, especialmente, no aprimoramento da sua qualidade (NABINGER et al., 2009), que já possui o diferencial de raças europeias, mais adaptadas ao clima subtropical do Pampa. Aprofundar o conhecimento sobre produção animal e a dinâmica das comunidades vegetais pode contribuir para o aumento da produtividade do campo nativo sem degradá-lo. O maior rendimento de carne por unidade de área também ajudaria a reduzir as taxas de conversão dos ambientes naturais no Pampa para outros tipos de exploração, favorecendo a manutenção de habitats de espécies nativas e a conservação dos solos e dos recursos hídricos. De forma complementar, a valoração de serviços ambientais em propriedades rurais dedicadas à pecuária em campo nativo seria estratégica para fundamentar políticas públicas de remuneração por tais serviços, estimulando os proprietários a permanecerem nessa atividade.

O aprofundamento no conhecimento da vegetação campestre de forma vinculada a projetos de bioprospecção também pode resultar na identificação de espécies de interesse para a indústria farmacêutica ou outras finalidades. Além disso, pode contribuir para a recuperação de áreas campestres degradadas, pois diferentes fisionomias campestres apresentam proporções distintas de classes funcionais. ANDRADE et al. (2015), por exemplo, estabeleceram um marco conceitual acerca da degradação e recuperação dos campos. São necessários agora estudos voltados a práticas adequadas de restauração da vegetação campestre nativa no Pampa, bem como de produção de sementes e composição de misturas com proporções representativas de cada fisionomia campestre. A adoção efetiva dessas práticas também pode representar uma alternativa econômica adicional à região, abrindo oportunidades para produção e comercialização de sementes e mudas e para a execução e o acompanhamento da sua implantação, até que as áreas possam ser novamente utilizadas para pastejo de forma sustentável.

O desenvolvimento e implantação de estratégias para a prevenção e o controle de espécies invasoras, em especial o capim-annoni, o pinus e o javali, também são motivos de atenção, pois seu avanço têm causado danos significativos à flora e à fauna nativas, em alguns casos, resultando em expressivas perdas econômicas. Espalhando-se gradativamente desde a década de 1970, como invasor de áreas de cultivo abandonadas ou de áreas de campo degradadas, e presente em praticamente todo o Pampa, o capim-annoni reduz drasticamente o potencial produtivo de carne e de leite. De difícil erradicação, baixo valor nutritivo e muito fibroso, diminui o ganho de peso e a produção de leite dos rebanhos e reduz a vida útil reprodutiva, especialmente de raças leiteiras, devido ao desgaste precoce da sua dentição.

O pinus é mais preocupante na planície costeira do Pampa, onde o regime de ventos facilita a dispersão anemocórica das sementes, as quais têm capacidade de germinar e crescer no interior de formações nativas e até mesmo sobre dunas. As acículas das plantas de pinus possuem ação alelopática que inibe a germinação e o desenvolvimento de várias espécies nativas, possibilitando que o pinus vá gradativamente colonizando áreas naturais (CREMONEZ et al., 2013).

O javali, por sua vez, é duplamente prejudicial, pois é de hábito onívoro e não tem predadores naturais no Pampa. Atua tanto como predador de espécies nativas quanto de animais de produção de menor porte, como ovinos, e também ataca plantações, causando prejuízos que já tornam inviável o cultivo de grãos em certas áreas do Pampa.

A fruticultura com pomares perenes para produção de pêssegos, citros, azeitonas, uvas, nozes e outras espécies é outro tema relevante porque representa alternativa de menor impacto que a agricultura anual, pois não requer preparo frequente do solo e tende a ocupar áreas proporcionalmente menores. Além disso, o campo nativo pode ser mantido nas entrelinhas de diversos pomares e, em muitos casos, ser utilizado para a pecuária de ovinos ou bovinos. De outro lado, investimentos em fruticultura podem gerar empreendimentos agroindustriais para beneficiamento próximos aos locais de produção, estimulando a economia regional e aumentando o valor agregado dos produtos. Dessa forma, torna-se necessário fomentar estudos sobre arranjos produtivos que possam viabilizar tais alternativas, bem como estimular o terceiro setor por meio do incremento de atividades correlatas, tais como o enoturismo, por exemplo. Estudos de zoneamentos edafoclimáticos para definir as áreas mais aptas a cada atividade, em escalas espaciais mais refinadas, também são de grande importância, e podem promover a diferenciação e tipificação dos produtos com base no conceito de *terroir*.

Em relação às culturas anuais, há um amplo leque de temas de pesquisa relacionados a melhores práticas de manejo, conservação do solo e água, redução

no uso de insumos e defensivos, controle integrado de pragas e moléstias, desenvolvimento de variedades resistentes, integração lavoura-pecuária, sistemas de cultivo carbono-positivos e menos impactantes aos ambientes no entorno, entre outros. No caso do arroz irrigado, houve muitos progressos em alguns desses aspectos, em função de avanços de pesquisas, desenvolvidas em grande parte pelo Instituto Riograndense do Arroz (IRGA).

Entretanto, há ainda espaço para racionalizar o uso da água e incrementar a eficiência do uso de energia para a irrigação, que representa custo elevado, aperfeiçoando o dimensionamento de equipamentos de irrigação, bem como modernizando e automatizando os sistemas de monitoramento e controle. Nas áreas orizícolas da planície costeira também são necessárias mais pesquisas relacionadas à salinidade, manejo da adubação e a água para irrigação, cujo teor de sais varia ao longo do tempo em função da penetração da cunha salina (CARMONA; ANGHINONI; WEBER, 2011). Para o caso de culturas de sequeiro, especialmente a soja, é extremamente importante avaliar a suscetibilidade à erosão em áreas já exploradas, uma vez que sua expansão no Pampa tem se dado em parte sobre áreas de baixa aptidão a cultivos anuais, a fim de identificar e recomendar práticas adequadas de conservação do solo ou até mesmo a suspensão do cultivo em áreas marginais, tais como aquelas sujeitas à arenização. Com a introdução cada vez maior do cultivo da soja em várzeas tradicionalmente usadas para o cultivo do arroz irrigado, também são necessários novos estudos para melhorar a compreensão de seus potenciais riscos e impactos sobre a água e o ambiente do entorno, tendo em vista a busca da sustentabilidade.

Para qualquer atividade agropecuária, o conhecimento sobre os solos é requisito indispensável para a sustentabilidade, pois eles constituem a base da produção e também da sustentação da vida e da complexidade dos ecossistemas. Sua variabilidade no Pampa é muito grande e os principais fatores limitantes ao uso agropecuário mudam conforme o local, predominando, em algumas porções, a pouca profundidade do perfil (solos rasos), em outras, a proximidade do lençol freático da superfície, e, em outras ainda, a maior suscetibilidade à erosão. Essa, por sinal, é a característica de uma parcela expressiva dos solos do Pampa. Infelizmente, levantamentos de solos têm recebido pouca atenção nas últimas décadas, ao contrário do que ocorreu com o desenvolvimento tecnológico verificado em máquinas e implementos, variedades, insumos e defensivos e outros aspectos relacionados à produção.

Em geral, os levantamentos de solos existentes são pouco detalhados, e os respectivos mapas de solos estão em escalas muito reduzidas para o planejamento de uso da terra em nível local, segundo denominação do Sistema de Classificação de solos. Como consequência, apesar dos avanços tecnológicos, a exploração inadequada de muitas áreas ainda causa erosão e degradação e gera uma série de im-

pactos negativos que comprometem a sustentabilidade. Assim, investir em novos levantamentos para gerar informações sobre os solos com maior detalhamento torna-se crítico para o Pampa, assim como para todos os biomas brasileiros. Nesse sentido, é essencial considerar também a utilização de técnicas de mapeamento digital de solos (MDS) (LAGACHERIE, 2008; SARMENTO et al., 2017).

Para que todo o conhecimento gerado pelas pesquisas chegue efetivamente ao produtor, é necessário também pensar estratégias inovadoras de divulgação e de transferência de tecnologia e de conhecimento que contemplem a sustentabilidade ambiental. O produtor que conhecer e respeitar os limites da sua propriedade para a produção agropecuária estará produzindo de forma sustentável e, assim, evitará também conflitos com a legislação ambiental, a qual tem o mesmo objetivo. Por melhor que seja a tecnologia adotada na produção, se ela não levar em conta o potencial natural das terras, terá sua sustentabilidade comprometida. A efetivação de qualquer das iniciativas anteriormente mencionadas passa pela necessidade de estudos voltados ao monitoramento da cobertura vegetal e do uso do solo, cruciais para acompanharmos a dinâmica das mudanças ao longo do tempo.

De modo geral, existem poucas iniciativas pretéritas de mapeamento no Pampa, dispondo-se basicamente de dois mapas elaborados a partir de imagens de satélite, que retratam os anos de 2002 (HASENACK; CORDEIRO; WEBER, 2015) e de 2009 (WEBER et al., 2016), ambos com detalhamento compatível com a escala 1:250.000. Mais recentemente, foi criado o projeto MapBiomias, com participação de instituições públicas, privadas e organizações não governamentais (ONGs), visando elaborar mapas anuais de cobertura vegetal e uso do solo para todos os biomas do Brasil, também a partir de imagens de satélites, já disponibilizadas ao público, via Internet (mapbiomas.org). Embora existam várias outras pesquisas relacionadas ao monitoramento do estado da vegetação, é importante começar a avaliar as mudanças e relacioná-las com causas e consequências a fim de propor diretrizes para a gestão do território, com enfoque na sustentabilidade. Métodos avançados de processamento e classificação de imagens de satélite para produção sistemática de mapas de cobertura vegetal e uso do solo também devem ser considerados.

As sugestões de temas para CT&I, em parte, já vêm sendo alvo de estudos, pois são preocupações relativamente antigas e cruciais para a sustentabilidade da produção agropecuária no bioma Pampa. Há, pelo menos, dez instituições públicas federais do Rio Grande do Sul desenvolvendo algum tipo de pesquisa na região, dessas, quatro unidades da Embrapa (Pecuária, Clima Temperado, Trigo, Uva e Vinho), cinco universidades federais (UFRGS, UFPEL, UFSM, UFFS, UNIPAMPA) e uma unidade do INPE (CSR), além de uma estadual (IRGA) e várias instituições privadas. Porém, a integração entre as instituições poderia ser melhorada a fim de articular iniciativas voltadas a temas relevantes para o Pampa.

Isso pode ser feito por meio da criação e do fortalecimento de redes de pesquisa. Para tanto, é necessária a previsão de recursos para financiar o estabelecimento e funcionamento de tais redes, o que pode ocorrer por meio de editais públicos ou outras fontes alternativas. A rede Campos Sulinos, por exemplo, foi criada em 2012, com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), reunindo mais de 20 instituições do Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. Suas pesquisas contemplam levantamentos de grupos de espécies, análise dos impactos das mudanças climáticas nos campos nativos, entre outros temas importantes.

Referências bibliográficas

- ANDRADE, B. O.; KOCH, C.; BOLDRINI, I. I.; VÉLEZ-MARTIN, E.; HASENACK, H.; HERMANN, J.-M.; KOLLMANN, J.; PILLAR, V. D.; OVERBECK, G. E. Grassland degradation and restoration: a conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. **Natureza e Conservação**, v. 13, n.2, p. 95-104. 2015.
- ANDRES, A.; AVILA, L.; MARCHEZAN, E.; MENEZES, V. G. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes de arroz vermelho em solo de várzea. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 7, n. 2, p. 85-88. 2001.
- AZPIROZ, A.B.; ISACCH, J.P.; DIAS, R.A.; DI GIACOMO, A.S.; FONTANA, C.S.; PALAREA, C.M. Ecology and conservation of grassland birds in southeastern South America: a review. **J. Field Ornithol.**, v.83, n. 3, p. 217-246, 2012.
- BEHLING, H.; PILLAR, V. D.; BAUERMANN, S. G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in Western Rio Grande do Sul (southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, n. 3, p. 235-248. 2005.
- BEHLING, H.; JESKE-PIERUSCHKA, V.; SCHÜLER, L.; PILLAR, V. D. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. D. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (Brasil). 2009. p. 13-25.
- BENCKE, G.A. Aves. **Natureza em Revista**, v.14, p. 48-51, 2016.
- BENCKE, G. A.; JARDIM, M. M. A.; BORGES-MARTINS, M.; ZANK, C. Composição e padrões de distribuição da fauna de tetrápodes recentes do Rio Grande do Sul, Brasil. In: RIBEIRO, A. M.; BAUERMANN, S. G.

- (Ed.). **Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos.** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2009. 272 p.
- BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura.** Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2003.
- BESKOW, P. R. A formação da economia arrozeira do Rio Grande do Sul. **Ensaio FEE**, v. 4, n. 2, p. 55-84. 1984.
- BOLDRINI, I. I. **Dinâmica da vegetação de uma pastagem natural sob diferentes níveis de oferta de forragem e tipos de solos, Depressão Central, Rio Grande do Sul.** 1993. 262 p Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, RS, 1993.
- _____. **A flora dos campos do Rio Grande do Sul.** In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. D. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (Brasil), p. 63-77, 2009.
- BOLDRINI, I. I. OVERBECK, G. E.; TREVISAN, R. Biodiversidade de plantas. In: PILLAR, V. D.; LANGE, O. **Os campos do sul.** Porto Alegre: Rede Campos Sulinos-UFRGS, 2015. 192 p.
- CABRERA, A. L.; WILLINK, A. **Biogeografia de America Latina.** 2.ed. Washington: OEA, 1980, 122 p.
- CÁCERES, N.C.; CHEREM, J.J.; GRAIPEL, M.E. Distribuição geográfica de mamíferos terrestres na Região Sul do Brasil. **Ciência e Ambiente**, v. 35, p.167-180, 2007.
- CARLUCCI, M. B.; BASTAZINI, V. A. G.; HOFMANN, G. S.; MACEDO, J. H.; IOB, G.; DUARTE, L. S.; HARTZ, S. M.; MÜLLER, S. C. Taxonomic and functional diversity of woody plant communities on opposing slopes of inselbergs in southern Brazil. **Plant Ecology & Diversity**, v. 8. N. 2, p. 187-197, 2015.
- CARMONA, F. C.; ANGHINONI, I., WEBER, E. J. Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. Cachoeirinha: Instituto Riograndense do Arroz, 2011. IRGA. **Boletim Técnico**, 10. 54 p., color. ISBN 1983-0858.
- CARMONA, P. S. IRGA-75 anos: A contribuição da estação experimental do arroz para o desenvolvimento da orizicultura gaúcha. **Informativo Integrar.** N. Especial, p. 1-10. 2015. Disponível em: <http://www.integrarcampo.com.br/altera/outros/_arquivos/29.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2017.
- CARNEIRO, A. C.; FARIAS-SINGER, R.; RAMOS, R. A.; NILSON, A. D. **Cactos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. 224 p.

- CARVALHO, P. C. F.; SANTOS, D. T.; GONÇALVES, E. N. G.; PINTO, C. E.; NEVES, F. P.; TRINDADE, J. K.; BREMM, C.; MEZZALIRA, J. C.; NABINGER, C.; JACQUES, A. V. A. Lotação animal em pastagens naturais: políticas, pesquisas, preservação e produtividade. In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. D. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (Brasil), p. 214-228, 2009.
- CRAWSHAW, D.; DALL'AGNOL, M.; CORDEIRO, J. L. P.; HASENACK, H. Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem. *Boletim Gaúcho de Geografia*, v. 33, n. 1, p. 233-252, 2007.
- CREMONEZ, F.E.; CREMONEZ, P.A.; CAMARGO, M.P.; FEIDEN, A. Principais plantas com potencial alelopático encontradas nos sistemas agrícolas brasileiros. *Acta Iguazu*, v.2, suplemento, p. 70-88, 2013.
- CUNHA, G. R.; SCHEEREN, P. L.; SILVA, M. S. **Granizo e cereais de inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa, 2001. 24 p. (Documentos, n. 33) Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/granizo/granizo.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2011
- CURTIS, M. L. L. **Povoamento do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Instituto Gaúcho de Reforma Agrária. 1964.
- DEVELEY, P. F.; SETUBAL, R. B.; DIAS, R. A.; BENCKE, G. A. Conservação das aves e da biodiversidade no bioma Pampa aliada a sistemas de produção animal. *Revista Brasileira de Ornitologia*, v. 16, p.308-315, 2008.
- FONTANA, C.S.; BENCKE, G.A. Biodiversidade das aves. In: PILLAR, V.D.; LANGE, O. (Eds.) **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos/UFRGS, 2015. p. 91-97.
- FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. 27.ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 1998. 248 p.
- GOETTSCHE, B., et al. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Natureplants*, v. 1, n. 10, 2015. (doi: 10.1038/NPLANTS.2015.142)
- HASENACK, H.; FERRARO, L. M. W. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas*, v. 22, n 1, p. 71-88, 1989.
- HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; WEBER, E.J. (Org.). Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul – situação em 2002. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia, 2015. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgehttp://www.ecologia.ufrgs.br/labge>>. Acesso em: 22 mar.2018.
- IBGE (Brasil). **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: 2004. Mapa e nota técnica.
- _____. **Folha SH.22 Porto Alegre e partes das folhas SH.21 Uruguaiiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: 791 p. 1986.
- LAGACHERIE, P. Digital soil mapping: a state of the art. In.: HARTEMINK,

- A.E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M.L. (Ed.). **Digital Soil Mapping with Limited Data**. New York: Springer, 2008, p. 3-14. INMET (Brasil). **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF: INMET, 1992. 84p.
- LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decendial na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 397-407. 2006.
- LUZA, A.L.; GONÇALVES, G.L.; BOLZAN, A.; HARTZ, S.M. Biodiversidade de mamíferos. In: PILLAR, V.D. E LANGE, O. (Eds.) **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos/UFRGS, 2015. p. 101-110.
- MAPBIOMAS. **Algorithm theoretical base document & results: Pampa Biome**. Porto Alegre: UFRGS, 2017. 87p.
- MARASCHIN, G.E. **Manejo do campo nativo, produtividade animal, dinâmica da vegetação e adubação de pastagens nativas do sul do Brasil**. In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. D. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (Brasil), 2009. p. 248-259
- MEDEIROS, R. B.; SAIBRO, J. C.; FOCHT, T. Invasão de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. D. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (Brasil), 2009. p. 317-330.
- NABINGER, C. Técnicas de melhoramento de pastagens naturais do Rio Grande do Sul. In: FARSUL (org.). **De que pastagens necessitamos**. Porto Alegre: Farsul, 1980.p. 28-58.
- NABINGER, C. FERREIRA, E. T.; FREITAS, A. K.; CARVALHO, P.C. F.; SANT'ANNA, D. M. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V. D.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. D. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente (Brasil), 2009. p. 175-198.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.
- OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S.; GIANEZINI, C. F. R.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. N.; BARCELLOS, J. O. J. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400. 2017.
- OVERBECK G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V.D.; BLANCO, C.C.; BOLDRINI, I.I.; BOTH, R.; FORNECK, E.D. Brazil's neglected biome: the South Brazilian *Campos*. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 9, p. 101-106, 2007.
- SARMENTO, E.C.; GIASSON, E.; WEBER, E.J.; FLORES, C.A.; HASENACK, H. Disaggregating conventional soil maps with limited descriptive data: a

- knowledge-based approach in Serra Gaúcha, Brazil. **Geoderma Regional**, v.8, p.12-23, 2017.
- SORIANO, A.; LEÓN, R. J. C.; SALA, O. E.; LAVADO, R. S.; DEREGIBUS, V. A.; CAHUEPÉ, O.; SCAGLIA, A.; VELAZQUEZ, C.A.; LEMCOFF, J. H. Río de La Plata grasslands. In: Coupland, R. T. (Ed.) **Ecosystems of the world**. Amsterdam: Elsevier, p. 367-407, 1992.
- SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. Tchê Pampa: história da natureza gaúcha. In: PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (Ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009, p.42-62.
- THOMAS, C. Conquista e povoamento do Rio Grande do Sul. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. 19, p. 17-27, 1976.
- VARGAS, V. B. D. **Uma quadra, uma légua**: Joaquim Francisco de Assis Brasil e seu projeto de desenvolvimento para a atividade agropastoril no Rio Grande do Sul. 2015. 240p. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul-RS, 2015.
- VELDMAN, J.W.; BUISSON, E.; DURIGAN, G.; FERNANDES, G.W.; LE STRADIC, S.; MAHY, G.; NEGREIROS, D.; OVERBECK, G.E.; VELDMAN, R.G.; ZALOUMIS, N.P.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 3, p. 154-162, 2015a.
- VELDMAN, J.W.; OVERBECK, G.E.; NEGREIROS, D.; MAHY, G.; LE STRADIC, S.; FERNANDES, G.W.; DURIGAN, G.; BUISSON, G.; PUTZ, F.E.; BOND, W.J. Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. **BioScience**, Washington, v. 65, n. 10, p. 1011-1018, 2015b.
- VERDUM, R. Depressão periférica e planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza. In: VERDUM, R; BASSO, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004, p.39-58.
- VERRASTRO, L.; BORGES-MARTINS, M. Biodiversidade de répteis. In: PILLAR, V.D., LANGE, O. (Eds.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos/UFRGS, p. 81-86. 2015.
- WEBER, E.J.; HOFMANN, G.S.; OLIVEIRA, C.V.; HASENACK, H. (Org.). **Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul – situação em 2009**. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia, 2016. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 22/10/2017.

8

GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS

Márcio Elias Ferreira¹

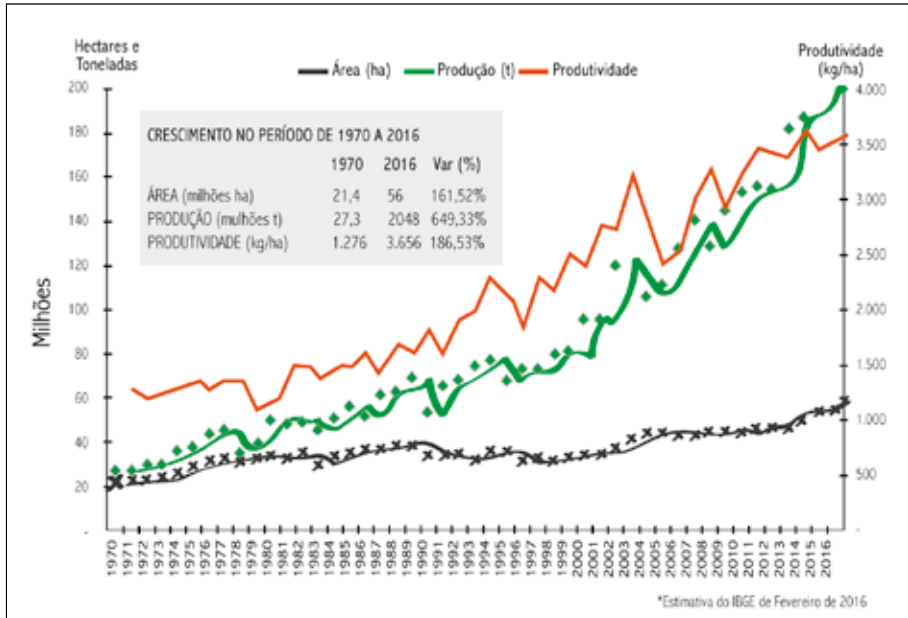
8.1 Introdução

Poucas áreas do conhecimento contribuíram tanto para a alimentação humana no último século como a genética e o melhoramento de plantas. Além da produção de alimentos, o impacto foi significativo também na produção de fibras (vestuário, celulose), ornamentos (flores, plantas ornamentais), produtos secundários (fitoterápicos, corantes, aditivos, condimentos), bebidas e derivados (sucos, vinhos, destilados), biomassa (madeira, biocombustível), entre outros. O desenvolvimento de plantas mais produtivas, com maior qualidade e resistentes a estresses bióticos e abióticos, é um dos grandes avanços do século passado, uma conquista de grande importância, ainda pouco celebrada.

Produzir alimentos em quantidade e com qualidade suficiente para sustentar uma nação, com excedentes para exportação, representa um grande passo rumo ao desenvolvimento. Foi o que ocorreu no Brasil, que saiu da condição de país importador de alimentos até a década de 1970, com dependência crônica de fornecedores no exterior, para ser um dos celeiros do mundo, batendo recordes de produção, produtividade (Figura 1) e de exportação a cada ano. Ciência, tecnologia e inovação propiciaram uma verdadeira revolução no campo, que garantiu

¹ Pesquisador, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.

Figura 1. Evolução da Área, Produção e Produtividade (1970-2016).



Fonte: IBGE/EMBRAPA, 2017.

a nossa segurança alimentar. Não menos importante, isso ocorreu em uma única geração e serve de inspiração para que ocorram mudanças similares em outros setores da economia.

A história do melhoramento de plantas, desde a redescoberta das Leis de Mendel no início do século XX, é caracterizada pela adoção de tecnologias e métodos com o intuito de tornar mais eficiente cada etapa da obtenção de plantas melhoradas (MOOSE; MUMM, 2008). As etapas do melhoramento são geralmente divididas em: *avaliação de diversidade genética, cruzamentos e recombinação, fenotipagem, seleção, aumento de frequência ou fixação de alelos superiores, disponibilização de novas variedades para os agricultores*. Avanços significativos no melhoramento, em geral, estão relacionados à adequação de uma ou mais das suas etapas nas diferentes espécies. Por exemplo, a exploração racional do componente “diversidade genética” possibilitou a redução de cruzamentos aparentados, contribuindo para ganhos genéticos contínuos (DUVICK, 1986). Da mesma forma, o reconhecimento do impacto negativo do uso extensivo de plantios clonais e geneticamente similares, causando vulnerabilidade genética, estimulou a ampliação da base genética e a criação de redes de Bancos de Germoplasma como reservatórios de variabilidade (GEPTS, 2006). A busca de combinações complementares nos cruzamentos, baseada na definição de ideótipos, culminou na seleção de plantas de porte baixo, passíveis de mecanização,

responsivas à adubação nitrogenada e resistentes ao acamamento. Esta foi a base da Revolução Verde, que livrou milhões de pessoas da fome e de um desastre social, depois da Segunda Guerra Mundial (BOURLAUG, 1983).

Iniciativas que alteraram as etapas de “cruzamentos e recombinação” no melhoramento genético também foram revolucionárias. O grande exemplo recente foi o emprego de engenharia genética para obtenção de plantas transgênicas, que driblou elegantemente o uso convencional de hibridização para a introdução de características inéditas, possibilitando a transferência de genes de organismos distantes (ex. bactéria) para plantas. Uma vez introduzidos, esses transgenes puderam ser transferidos e fixados em outras linhagens por melhoramento convencional. O impacto dessa tecnologia no melhoramento para resistência a herbicidas e insetos, por exemplo, foi extremamente significativo em grandes culturas, como milho, soja e algodão.

Desde o início do melhoramento moderno, a seleção de plantas com genótipos superiores tem sido feita pela mensuração direta do fenótipo. Nas últimas três décadas, no entanto, tentativas de tornar mais eficiente as etapas de “fenotipagem e seleção” vêm sendo realizadas com sucesso para características monogênicas ou para genes de maior efeito no fenótipo (ex. genes de resistência a doenças), especialmente para características que apresentam grande dificuldade ou alto custo de avaliação do fenótipo. Várias metodologias de seleção indireta baseada na análise de DNA foram adotadas pelos programas de melhoramento neste período (COLLARD; MACKILL, 2008). Muitos desses programas empregam uma combinação de tecnologias baseadas em marcadores moleculares para a seleção de plantas com os genes de interesse.

A observação do impacto desses exemplos históricos de alterações de etapas do melhoramento genético estimula a especulação sobre como será realizado o melhoramento nas próximas duas décadas. Assumindo o risco de generalizar ou simplificar um cenário complexo, selecionamos a seguir três áreas que têm o potencial de alterar significativamente algumas etapas do melhoramento genético nos próximos anos. Deve ser ressaltado, contudo, que o melhoramento genético sempre busca a integração de várias tecnologias para atender a necessidades intrínsecas de cada espécie.

8.2 Re-sequenciamento e genotipagem para seleção assistida, horizonte 2025

Não há dúvida de que os próximos 5 a 10 anos testemunharão o uso integrado de informação de sequenciamento e de genotipagem em escala pelos progra-

mas de melhoramento genético. Isso vem sendo feito em algumas espécies-modelo, como o arroz, a soja e o milho, e deve ser intensificado em outras culturas agrícolas. Nas espécies-modelo a construção de bancos de dados foi inicialmente baseada no sequenciamento do genoma referência, seguida da construção dos primeiros *chips* de DNA para genotipagem em escala e, mais recentemente, das ações de re-sequenciamento do genoma de linhagens, acessos de coleções de germoplasma e de populações. Com a queda dos custos de sequenciamento de DNA, experimentos envolvendo enorme massa de dados genômicos de famílias de diferentes gerações do programa de melhoramento serão mais comuns em pouco tempo. Essas informações têm vasta aplicação em genética e melhoramento de plantas (VARSHNEY et al., 2008). Combinados com dados fenotípicos, permitem a identificação de genes e de regiões genômicas de interesse agrônômico, além de facilitar e aumentar a precisão de seleção de genótipos superiores. O esforço de sequenciamento e genotipagem em escala contribuirá para tornar o melhoramento de plantas mais eficiente e mais preciso.

O emprego de seleção assistida para múltiplos genes de maior impacto no fenótipo (ex. genes de resistência a pragas e doenças) é cada vez mais adotado e estará na rotina de muitos programas na próxima década. Seleção genômica vem sendo testada em diferentes espécies e será aperfeiçoada para uso rotineiro para algumas características em várias delas (JANNINK et al., 2010). Novas técnicas de edição de genes, como CRISPR-Cas9 (JINEK et al., 2012), apoiadas por bioinformática e genômica, serão empregadas na inativação de alelos deletérios (*knock out*) ou na inserção de genes de interesse (*knock in*), possibilitando a obtenção de plantas superiores ou com fenótipos inéditos (inexistentes na diversidade natural da espécie).

8.3 Sistema universal de controle de recombinação gênica e eliminação genômica, horizonte 2030

A obtenção de plantas haplóides de forma rápida e eficiente possui grande utilidade no melhoramento, pela possibilidade de geração imediata de duplo haplóides completamente homozigotos após duplicação cromossômica. O uso prático de duplo haplóides no melhoramento é demonstrado com sucesso desde a década de 1970 (KASHA et al., 1977). A indução de haplóides interfere diretamente na etapa de recombinação do melhoramento genético. Em certos cruzamentos com estoques genéticos especiais ("*indutor de haplóides*") observa-se na progênie um percentual de sementes com embrião haplóide, onde ocorreu a eliminação dos cromossomos do estoque indutor. Plantas diplóides totalmente homozigotas podem, então, ser obtidas a partir dos haplóides selecionados via

duplicação cromossômica, utilizando-se produtos como colchicina. Economizam-se, significativamente, tempo e recursos dos programas de melhoramento genético com a indução de haplóides, uma vez que as linhagens puras usadas nos cruzamentos para produção de híbridos são obtidas mais rapidamente, ao invés do processo clássico de autofecundação recorrente por várias gerações.

Os sistemas atuais de indução de haplóides, no entanto, estão restritos a poucas espécies de plantas. A indução de haplóides pode ser obtida através de cruzamentos usando estoques genéticos especiais (ex. *PEM stock* em milho), por meio de alguns cruzamentos interespecíficos (ex. *bordeum* x *tritium*) ou, artificialmente, por meio de cultura *in vitro* de pólen ou de óvulo (ex. brassicas). Não há ainda um sistema universal de controle de recombinação gênica e eliminação genômica para a obtenção de haplóides em diferentes espécies. Tal sistema teria grande aplicação no melhoramento genético de plantas autógamas e alógamas, potencialmente facilitando a obtenção de linhagens puras e diminuindo sobremaneira o tempo de desenvolvimento de novos cultivares e de híbridos.

Recentemente, o avanço do conhecimento de moléculas que podem interferir no processo de divisão celular, como a proteína CENH3 (MARIMUTHU et al., 2011), abriu a perspectiva de desenvolvimento de sistemas universais de indução de haplóides. Plantas transgênicas CENH3-tailswap de *Arabidopsis* são capazes de induzir haplóides na progênie quando cruzadas com outros estoques genéticos. A aplicação desta metodologia ou de sistemas similares de controle da recombinação pode ser acelerada por técnicas de edição de genes, como CRISPR-Cas9, abrindo perspectivas para a indução de haplóides em várias espécies que não dispõem desses sistemas de indução.

8.4 Fenotipagem dinâmica no ciclo da planta, horizonte 2040

O próximo grande desafio do melhoramento genético será a alteração significativa da etapa de fenotipagem – fenotipar populações de melhoramento com precisão, a baixo custo e durante todo o ciclo da planta. Combinado com dados de sequenciamento de genomas, re-sequenciamento de linhagens e genotipagem de populações, o emprego de fenotipagem dinâmica em escala (fenômica) é um grande passo para o futuro do melhoramento. O ideal seria buscar-se uma fenotipagem detalhada durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, da germinação ao florescimento e senescência.

Busca-se ainda a genotipagem simultânea de milhares de plantas individuais, que poderão ser avaliadas para estresses bióticos e abióticos, produtividade, qua-

lidade, e várias outras características. Isso inclui não só mensurações da parte aérea, como também do desenvolvimento radicular, cuja avaliação é muito limitada pelas tecnologias atuais, apesar da importância das raízes para o desenvolvimento vegetal. Portanto, a análise de características agronômicas de forma contínua e não destrutiva é um dos grandes objetivos da fenômica. Isso requer o desenvolvimento de sistemas de captura dinâmica de imagens, processamento de imagens de alta resolução, modelagem de grande quantidade de dados, alta capacidade de armazenamento de informação *in silico* e correlação com dados agronômicos. Requer ainda adaptações desses sistemas a avaliações em condições controladas em caso de vegetação ou, idealmente, no campo, sujeitas a todas as variáveis ambientais, como temperatura, vento, composição do solo, umidade, etc.

Tendências em fenômica incluem plataformas robóticas de análise de imagens e ferramentas de análise baseadas em visão computadorizada (*computer vision*) (ARAUS; CAIRNS, 2014). Grandes avanços recentes no desenvolvimento de câmeras hiperespectrais que detectam comprimentos de onda variando de 350 nm – 2500 nm prometem revolucionar as mensurações de estresses bióticos e abióticos (FAHLGREN; GEHAN; BAXTER, 2015). Tecnologia de escaneamento a *laser* e sensores *depth/time of flight* estão sendo testados para a obtenção de imagens 3D.

Sistemas de obtenção dinâmica de imagens já vêm sendo avaliados em implementos agrícolas, *drones* e aeromodelos, que capturam os dados e promovem a sua imediata transferência para áreas remotas de processamento. Avanços na captura de imagens com alto grau de resolução por satélites sinalizam para a possibilidade de avaliação de enormes massas de dados em grandes áreas experimentais. Os avanços recentes são formidáveis e prometem quebrar paradigmas nos próximos anos. O maior desafio para a fenômica aplicada ao melhoramento genético, contudo, é correlacionar as grandes massas de dados obtidos pelas plataformas e sistemas de fenotipagem com as características agronômicas de interesse do programa de melhoramento.

8.5 Conclusões

Antecipar mudanças significativas no melhoramento genético de plantas nas próximas décadas é tarefa arriscada. O desenvolvimento tecnológico ocorre a passos largos e as aplicações dos recentes avanços em genética e melhoramento são inúmeras. Além disso, os objetivos dos programas de melhoramento variam muito entre as espécies e ao longo do tempo. Muitas tecnologias empregadas em algumas espécies agrícolas no passado, só agora encontram aplicação em outras espécies.

Novas tecnologias que alteram etapas importantes do melhoramento de plantas, como recombinação, fenotipagem e seleção, prometem benefícios amplos e universais, potencializando sua adoção pelos programas. Entre elas, destacam-se:

(1) Re-sequenciamento de populações e genotipagem em escala para seleção assistida – Uma enorme massa de dados de sequenciamento e genotipagem vem sendo usada em diferentes gerações das populações dos programas de melhoramento de algumas espécies de plantas e serão mais comuns no futuro próximo. Combinados com dados fenotípicos, os dados de sequenciamento e genotipagem permitem a identificação de genes e de regiões genômicas de interesse agrônomo, aumentando a precisão de seleção. O emprego de seleção assistida para múltiplos genes de maior impacto no fenótipo aliado a novas técnicas de edição de genes possibilitarão a obtenção de plantas superiores ou com fenótipos inéditos.

(2) Sistema universal de controle de recombinação gênica e eliminação genômica – os sistemas atuais de indução de haplóides estão restritos a poucas espécies de plantas. A obtenção de plantas haplóides de forma rápida e eficiente utilizando sistemas universais de indução de haplóides terá grande utilidade no melhoramento, pela possibilidade de geração de duplo haplóides completamente homocigotos em curto espaço de tempo. Isso poderá representar uma revolução na obtenção de híbridos e cultivares em diferentes espécies cultivadas de plantas.

(3) Fenotipagem dinâmica no ciclo da planta – o emprego de fenotipagem dinâmica em escala (fenômica) é um grande passo para o futuro do melhoramento. Essa área de pesquisa busca uma fenotipagem detalhada durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta, da germinação ao florescimento e senescência. A fenômica tem o potencial de propiciar a mensuração e compreensão do fenótipo em um nível elevado de detalhamento, facilitando o processo de seleção dos genótipos superiores e o desenvolvimento de novas variedades de plantas.

Essas áreas de investigação apresentam oportunidades e desafios para ações de PD&I nos próximos anos. Investimentos em programas de pesquisa, tecnologia e inovação são essenciais para que o futuro do melhoramento de plantas possa se tornar realidade e, eventualmente, ser antecipado.

Referências bibliográficas

- ARAUS, J. L.; CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in plant science**, 19(1), p. 52-61, 2014.
- BORLAUG, N. E. Contributions of conventional plant breeding to food production. **Science**, 219.4585, p. 689-693, 1983.
- COLLARD, B.C.; MACKILL, D.J. Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 12; 363 (1491), p. 557-72, Feb, 2008.
- DUVICK, D. N. Plant breeding: past achievements and expectations for the future. **Economic Botany**, 40(3), p. 289-297, 1986.
- EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, 2016. 138p.
- FAHLGREN, N.; GEHAN, M. A.; BAXTER, I. Lights, camera, action: high-throughput plant phenotyping is ready for a close-up. **Current opinion in plant biology**, 24, p. 93-99, 2015.
- GEPTS, P. Plant genetic resources conservation and utilization. **Crop Science**, 46(5), p. 2278-2292, 2006.
- JANNINK, J. L.; LORENZ, A. J.; IWATA, H. Genomic selection in plant breeding: from theory to practice. *Briefings in functional genomics*, 9(2), p. 166-177, 2010.
- JINEK, M.; CHYLINSKI, K.; FONFARA, I.; HAUER, M.; DOUDNA, J. A.; CHARPENTIER, E. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. **Science**, 337(6096), p. 816-821, 2012.
- KASHA, K.J.; SONG, L.S.P; PARK, S.J.; REINBERGS, E. Fixation of heterosis: comparison of F1 hybrids with their respective homozygous lines developed using doubled haploid procedures. **Cereal Res. Commum.** 5, p. 205-214, 1977.
- MARIMUTHU, M. P.; JOLIVET, S.; RAVI, M.; PEREIRA, L.; DAVDA, J. N.; CROMER, L.; WANG, L.; NOGUÉ, F.; CHAN, S.W.L.; SIDDIQI, I.; MERCIER, R. Synthetic clonal reproduction through seeds. **Science**, 331(6019), p. 876-876, 2011.
- MOOSE, S. P.; MUMM, R. H. Molecular plant breeding as the foundation for 21st century crop improvement. **Plant physiology**, 147(3), p. 969-977, 2008.
- VARSHNEY, R.K.; NAYAK, S.N.; MAY, G.D. AND JACKSON, S.A. Next-generation sequencing technologies and their implications for crop genetics and breeding. **Trends Biotechnol** 27, p. 522-530, 2008.

9

SEGURANÇA ALIMENTAR, SUSTENTABILIDADE E PRODUÇÃO DE PROTEÍNA DE ORIGEM ANIMAL

Cleber Oliveira Soares¹
Grácia Maria Soares Rosinha²

9.1 Características gerais

As instituições de ciência e tecnologia (CT&I) têm sido protagonistas no processo evolutivo da pecuária nos trópicos. Seja em termos da alimentação animal, no uso de suplemento mineral, na orientação zootécnica, no manejo ou uso de insumos sanitários (vacinas, kits de diagnósticos, programas de controle e prevenção de doenças), no uso de programa de melhoramento genético, na evolução do rebanho (diferenças esperadas de progênie, edição de genomas, clonagem animal), passando pelo conceito de carne de qualidade, por sistemas de ILPF, até a pecuária de precisão, uso de aplicativos telefonia móvel e o processo Carne Carbono Neutro, hoje, em cada fazenda, em cada bife, em cada copo de leite consumido no Brasil, no mundo tropical e no mundo do importador de alimento, há muita tecnologia brasileira (SOARES, 2014).

São inúmeros, os avanços e as contribuições da pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em produção animal nos últimos 40 anos, no Brasil. Soluções tecnológicas foram geradas e desenvolvidas por meio de produtos, processos, serviços e novas tecnologias para as principais cadeias: da avicultura de corte e de postura, da suinocultura, da ovinocultura, da caprinocultura de corte e de leite e

1 Pesquisador e Diretor Executivo de Inovação e Tecnologia da Embrapa

2 Pesquisadora da Embrapa Gado de Corte

da bovinocultura de corte e de leite. Na pecuária bovina, destacam-se as soluções relacionadas às pastagens – como o desenvolvimento de cultivares para sustentação e otimização da produção de carne e leite a pasto, vantagem competitiva em termos de produção de alimento de qualidade; à nutrição – como a suplementação mineral e soluções voltadas a sanar os problemas relacionados às deficiências minerais de bovinos; à sanidade – como o programa de vermifugação estratégica, o controle estratégico de endo e ectoparasitos, vacinas contra hemoparasitos, bacterioses, viroses e outras enfermidades que acometem o rebanho brasileiro; e à genética e melhoramento animal – como os programas de melhoramento genético de bovinos de corte, e de bovinos de leite; o desenvolvimento dos sumários de touros, programas de avaliação de touros jovens, aplicações de diferenças esperadas de progênie (DEPs) e outras tecnologias.

Todos esses temas relacionados foram desenvolvidos e estão em desenvolvimento no país, contribuíram e tiveram impacto decisivo para o sucesso da produção de carne e de leite no Brasil e no mundo tropical. São exemplos: o desenvolvimento de cultivares forrageiros – mais de 92%, da área de pastagem cultivada no Brasil e no mundo tropical são de cultivares desenvolvidas dentro do país; a nutrição animal – o manejo nutricional do sistema de produção de bovinos no Brasil passa pela suplementação mineral; a sanidade animal – as ferramentas de diagnóstico, as recomendações técnicas, os protocolos estratégicos amplamente utilizados têm tecnologias 100% brasileira.

A “tropicalização” das raças bovinas no Brasil contribuiu para o desenvolvimento da pecuária nacional. As raças zebuínas compõem a base da pecuária e muito têm evoluído a partir dos cruzamentos com as raças taurinas. Essas suportam a vantagem competitiva da nossa produção. Hoje o país se orgulha de ter a melhor genética e rebanho zebuínos do mundo e um dos melhores rebanhos de taurinos, fruto da sinergia dos atores das cadeias produtivas pecuárias e do dinamismo da sinergia entre a ciência e as cadeias produtivas.

As diferentes raças (Nelore, Angus, Brangus, Guzerá, Hereford, Senepol, Holandesa, Gir, Girolanda, entre outras) têm se destacado na pecuária brasileira em qualidade genética e incrementos de produtividade e lucratividade. Hoje, a genética bovina brasileira não é só sinônimo de qualidade e produtividade, mas também de sucesso nos investimentos. Se o Brasil é um expoente em genética animal é porque vale a pena investir em ciência e tecnologia. É com orgulho que se diz que em todo bife, em cada copo de leite, ou seus derivados consumidos no Brasil e parte do mundo tropical, tem ciência e tecnologia *brasilis*.

A biotecnologia tem contribuído sobremaneira para o incremento de produtividade animal no Brasil, seja por meio do uso crescente de biotécnicas de reprodução animal (inseminação artificial, inseminação artificial em tempo

fixo, sexagem, manipulação e transferência de embriões, clonagem de animais etc.), pela evolução do uso de painéis de marcadores moleculares para fenótipos produtivos em bovinos de corte e de leite, pelo uso de formulações de enzimas e microrganismos que melhoram a eficiência digestiva de ruminantes e monogástricos, ou pelo uso de seleção genômica associada à aplicação de DEP (diferença esperada na progênie) genômica, o que acelera a evolução e o melhoramento genético dos rebanhos.

Muitas ferramentas associadas à biotecnologia estão em uso no país, até mesmo a edição precisa de genes para expressão de caracteres de interesse produtivo e econômico. Em bovinos, estima-se que 7% do rebanho brasileiro (14,5 milhões de animais) utilizam técnicas reprodutivas e ferramentas biotecnológicas. Isto revela que embora haja aplicação dessas tecnologias, há grande espaço e potencial para incrementar a produção de proteína de origem animal do Brasil por meio dessas inovações (CICARNE, 2016)

9.2 Sanidade animal e doenças transmitidas por alimentos

A segurança alimentar, a higidez sanitária dos rebanhos, a segurança e a defesa das cadeias produtivas, a biossegurança dos alimentos e o risco de bioterrorismo vêm se tornando questões de ordem global. Ao mesmo tempo em que o desenvolvimento e a intensificação dos manejos sanitário, reprodutivo e nutricional de animais, com a utilização de programas de melhoramento genético, melhoria dos processos zootécnicos, e geração de insumos mais eficientes contribuem para o aumento da produção, da qualidade e da segurança dos alimentos e alimentar dos brasileiros.

Um dos principais desafios para a segurança alimentar é a medicina veterinária preventiva com ações sobre patógenos de alto risco biológico, especialmente aqueles de fácil dispersão, e os exóticos. Ademais, a busca por métodos de diagnóstico *ante-mortem*, o desenvolvimento de insumos para prevenção, vigilância, controle e tratamento de enfermidades têm um papel fundamental na segurança alimentar e no controle da disseminação de doenças produtivas de risco biológico ou que constituem barreiras sanitárias. Nesse contexto, a biologia avançada, tanto por meio da biotecnologia, quanto da nanotecnologia e da bioinformática têm avançado muito no Brasil, com contribuições efetivas.

Técnicas de biologia avançada têm sido rotineiramente utilizadas para desenvolvimento de insumos e ferramentas aplicadas à sanidade animal. Patógenos causadores de importantes doenças para as cadeias produtivas como vírus (febre

aftosa, influenza suína, influenza aviária, diarreia viral bovina, peste suína etc.), bactérias (brucelose, tuberculose, mormo equino, linfadenitecaseosa, clostridioses etc.), parasitas (babesioses, theilerioses, verminoses, tripanossomoses etc.) têm sido diagnosticados, controlados e prevenidos utilizando-se as mais modernas abordagens de ciências portadoras de futuro. Novos genes, proteínas e outros insumos biológicos (enzimas, carboidratos, glicoproteínas, aminoácidos, quimeras etc.) desses e outros patógenos estratégicos têm sido usados para diagnósticos e vacinas. Como exemplo, para tuberculose animal já se encontram disponíveis insumos biotecnológicos para diagnóstico rápido, preciso e em massa, utilizando-se proteínas quiméricas recombinantes, para brucelose vacinas marcadoras mutantes derivadas de *knockout* gênico, vacinas com proteínas recombinantes e de subunidades para outros patógenos de suínos, aves, caprinos e ovinos, entre outros animais (MELO et al., 2015; VIALE et al., 2016).

Uma grande contribuição do auxílio dessas tecnologias é o mapeamento da resistência e susceptibilidade animal às encefalopatias espongiformes transmissíveis, doenças de grande impacto para a economia dos países produtores de proteína de origem animal e que muito preocupam a segurança alimentar mundial, especialmente a scrapie em ovinos e caprinos e a encefalopatia espongiforme bovina (EEB) em bovinos de corte e de leite. Essa ferramenta auxilia não só à seleção genética como a programas de melhoramento, análises de risco epidemiológico e de prevenção e controle de doenças (GALVÃO et al., 2012; GONÇALVES et al., 2016). O mapeamento é um grande exemplo de como a biotecnologia e a inovação têm contribuído para garantir a segurança alimentar e nutricional no Brasil. Com essas aplicações, o país apresenta risco insignificante para EEB junto à Organização Mundial de Saúde Animal (OIE, 2016), o que garante nutrição, saúde, segurança e alimento de qualidade para a população brasileira e para a exportação.

Quanto à segurança alimentar, a carne, o leite e seus derivados estão entre os alimentos mais importantes na dieta da população e têm importância estratégica para a economia do Brasil, que é um grande produtor de proteína animal e o maior exportador de carne do mundo (ABIEC, 2016). Esses alimentos são considerados um dos principais responsáveis pela veiculação de patógenos ao homem, ocasionando as chamadas doenças transmitidas por alimentos (DTAs). No Brasil, para uma população de mais de 200 milhões de habitantes, de 2007 a 2016, foram notificados 6.632 surtos de DTAs, com 118.104 doentes e 109 óbitos. Desses surtos, a grande maioria foi causada por bactérias, das quais a *Salmonella* sp. foi o principal agente responsável, seguido de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* (BRASIL, 2016).

A *Salmonella* sp. é um dos microrganismos patogênicos de maior relevância na carne, ovos e derivados sendo sua presença indicativa de risco ao consumidor. De acordo com a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos, o *Salmo-*

nella ser. *Typhimurium* é o sorovar mais frequentemente associado ao consumo de carne de aves, suínos e bovinos contaminados (EFSA, 2006). Da mesma forma, a *E. coli* O157 verotoxigênica tem sido associada no mundo com surtos graves e é amplamente reconhecida como um importante patógeno ameaçador desde a década de 1980 (DUFFY et al., 2006). *Escherichia coli* O157 é uma das principais bactérias responsáveis pela contaminação da carne e do leite, que pode ser potencialmente transferida do intestino do animal, do couro, da pele ou plumagem durante o abate. No entanto, os casos de contaminação dessas bactérias em alimentos de origem animal no Brasil são pouco relevantes em relação ao tamanho, à complexidade e à produtividade das cadeias produtivas animais no país.

Para ruminantes, principalmente na produção de carne e leite, a preocupação mundial são as Encefalopatias Espongiformes Transmissíveis (EETs). Doenças raras, causadas por *prions*, neurodegenerativas fatais e com longos períodos de incubação, que acometem pessoas e animais domésticos e silvestres. Entre as EETs, a Encefalopatia Espongiforme Bovina (EEB) é a mais importante, por ser considerada uma zoonose. Com o diagnóstico da EEB em vários países da Europa e na América do Norte, e a hipótese de relação entre essa doença de bovídeos e a doença de Creutzfeld-Jacob (CJD), como uma nova variante de distúrbio similar em seres humanos, a biossegurança na cadeia produtiva bovina tornou-se o foco das atenções tanto dos consumidores quanto da indústria da carne no mundo.

Dos dois tipos de EEB, a ocorrência da EEB clássica não tem ligação com sexo ou idade dos animais, ocorre entre três e sete anos e tem relação direta com a ingestão de proteína animal contaminada com outras proteínas mutadas, sem tratamento específico para desnaturá-la. Enquanto que a doença atípica ou espontânea ocorre sem a ingestão de proteínas de origem de ruminantes, não tem relação com sexo, a maioria dos casos ocorre em animais maiores de oito anos e não se pode descartar haver relação com a susceptibilidade genética. A despeito do registro e da ocorrência de EEB no mundo e nas Américas, os riscos dessa grave enfermidade no Brasil são desprezíveis.

Os sistemas de produção de carne e leite brasileiros caracterizam-se pela dependência quase que exclusiva de pastagens, resultando em vantagem comparativa por viabilizar custos de produção relativamente baixos e em vantagem competitiva por produzir uma “pecuária verde”, produto seguro, de qualidade e altamente desejado pelo mercado consumidor. Além disso, independentemente do grau de intensificação dos sistemas de produção, todos estão sob o controle da defesa e da vigilância sanitária oficial, sob a coordenação nacional do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) ou pelas Agências Estaduais de Defesa e Vigilância Sanitária (ANVISA). Além disso, à medida que aumenta a intensificação dos sistemas, é crescente a utilização de assistência veterinária no controle sanitário do rebanho.

Assim, o país explora o potencial da produtividade pecuária sobre pastagens garantindo a higidez sanitária e a prevenção de EETs nos rebanhos brasileiros. Graças a esses fatores produtivos e técnicos, o Brasil vem sendo classificado pela OIE, a Organização Mundial de Sanidade Animal, como país com risco insignificante para EEB (OIE, 2016).

9.3 Produção animal e sustentabilidade

É previsível que apenas com a adoção de tecnologias seja possível promover saltos na produção, na qualidade e na segurança alimentar no Brasil e no mundo. Como exemplo, com adoção de tecnologia e inovação já disponíveis é possível aumentar a produção de carne bovina no Brasil dos atuais 9,5 milhões de toneladas para 24,2 milhões de toneladas, sem aumentar em um hectare sequer a área ocupada por pastagens.

O Brasil tem uma forma singular de fazer pecuária. Evoluímos muito de 1970 para cá e estamos trabalhando para o aprimoramento de nossos ganhos em produtividade agrícola e pecuária. Em 40 anos, a produtividade nacional média de carne (peso vivo) aumentou de 65 kg/ha/ano para 115 kg/ha/ano em sistemas extensivos. Sob sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta se produz hoje 900 kg/ha/ano; enquanto em sistema de alta lotação, também a pasto, chega-se a 2.500 kg/ha/ano e, sob pastagem irrigada, pode-se alcançar 4.500 kg/ha/ano.

Estamos explorando o potencial da produtividade pecuária sobre pastagens, mesmo porque temos no Brasil uma vantagem competitiva na produção de proteína animal a pasto, não só pelo menor custo de produção, mas, especialmente, pela garantia de higidez sanitária e prevenção da encefalopatia espongiforme transmissível, também chamada doença da vaca-louca, entre outros fatores positivos da produção de carne e leite sobre pastagens tropicais.

É evidente que há ainda um espaço grande para crescer com a intensificação da produção pecuária. E isso tem sido conseguido com tecnologias associadas, principalmente, à alimentação e manejo, à sanidade, e à genética animal, pilares essenciais para a eficiência produtiva. A produtividade explicou a maior parte do crescimento da agricultura brasileira. O efeito poupa-terra resultante dos ganhos de produtividade, nas lavouras e na pecuária, superou 600 milhões de hectares nas últimas quatro décadas, a maior parte devido ao crescimento de produtividade da nossa pecuária.

O setor agropecuário em todo o mundo tem como missão primordial produzir alimentos, fibras e energia de forma sustentável, sem impactar os biomas, primando pela conservação dos recursos biológicos e naturais. A ONU convoca o Brasil e o Cone Sul a responder por 40% da demanda de alimentos para os

próximos anos. O aumento da produtividade é uma das alternativas para o incremento do suprimento mundial, especialmente de alimentos, sem a necessidade de abertura e uso de novas áreas. Essa é a tônica da chamada Agricultura Tropical Sustentável. Com esse enfoque, o Brasil, por meio de instituições públicas e privadas, desenvolveu tecnologias para a produção de carne e leite a pasto, os sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta (ILPF), a pecuária sustentável, o moderno conceito “Carne Carbono Neutro”, entre outras tecnologias sustentáveis.

A utilização desses sistemas é bastante inovadora no setor agropecuário brasileiro: uma realidade que, duas décadas atrás, pensava-se ser muito difícil, para não dizer impossível, de alcançarmos. Hoje, tornou-se um dos pilares, não só para o incremento de produtividade, pelo efeito poupa/otimiza terra, de agregação de valor aos produtos, mas, sobretudo, para mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEEs). É, sem dúvida, uma das mais robustas tecnologias para o futuro sustentável da agropecuária nos trópicos. O bem-estar animal é outra realidade na pecuária brasileira. Ele contribui para a exploração e atendimento de mercados consumidores mais exigentes, interessados em carne e leite produzidos sobre pastagens (*grass-fedbeef*, *grass-fedmilk*), para os quais é condição *sine qua non* tornar tangível (a qualidade final do produto) o intangível (bem-estar).

Neste contexto, destaque tem sido dado aos sistemas de produção multifuncionais, como ILPF, que, além de possibilitarem a recuperação de áreas e pastagens degradadas, com baixa produtividade, proporcionam benefícios diretos e indiretos aos animais, como o fornecimento de sombra e melhoria das condições microclimáticas e ambientais. Tais aspectos incidem positivamente no bem-estar dos animais e passa a ser também sinônimo de produto final diferenciado. Segundo o tipo de árvore (nativa ou exótica) e o arranjo utilizado (linha simples, dupla ou tripla) tem-se a diminuição de 2°C a 8°C na temperatura ambiente dos sistemas ILPF, em relação a pastagens sem árvores. Como resultado direto do conforto térmico oferecido, melhoram-se os índices produtivos e reprodutivos (KARVATTE JUNIOR et al., 2016).

Tecnologias que envolvem bem-estar animal, qualidade da carne e de leite, conservação do solo e da água, mitigação da emissão de GEEs, sequestro de carbono, e prestação de serviços ambientais em áreas com pastagens são realidades brasileiras. A pecuária brasileira é verde. E temos plenas condições de atender as principais demandas globais de sustentabilidade. Com esse enfoque foi desenvolvido o conceito produtivo “Carne Carbono Neutro”, ou CCN, respaldado por parâmetros técnicos que subsidiam sua aplicação e uso na cadeia produtiva da carne bovina, representado por um selo alusivo, no âmbito do sistema de produção (ALVES et al., 2015).

Esse conceito contribui para a implementação de sistemas de produção pecuários sustentáveis, especialmente quanto ao aspecto ambiental, com a intro-

dução do componente florestal, capaz de neutralizar o metano emitido pelo rebanho, de forma a agregar valor à carne e aos produtos gerados nesses sistemas. O CCNvisa, também, difundir a importância estratégica da sustentabilidade nas cadeias produtivas associadas (carne, grãos e silvicultura), fomentar o uso de sistemas em integração e, por consequência, otimizar o uso dos insumos e fatores de produção, com efeitos positivos. O selo “Carne Carbono Neutro” é uma marca-conceito que atesta a carne bovina que tiver seus volumes de emissão de GEEs neutralizados durante o processo de produção, pela presença de árvores em sistemas de integração do tipo silvipastoril (pecuária-floresta) ou agrossilvipastoril (lavoura-pecuária-floresta), por meio de processos produtivos parametrizados, auditados e certificados (Figura 1).

Figura 1. Selo Carne Carbono Neutro



(Versões em português e em inglês)

Fonte: EMBRAPA.

Para utilizar e receber o selo “Carne Carbono Neutro”, o produto final (carne e seus derivados) deve atender aos pré-requisitos e parâmetros inerentes ao conceito:

- i) compromisso de adoção de implantação de projeto de sistema de ILPF, com base no Plano Agricultura de Baixo Carbono (ABC) – o sistema deve partir de um sistema de produção com base em pastagens estabelecidas com forrageiras herbáceas (*baseline*);
- ii) avaliação técnica da emissão de carbono, com base nos índices zootécnicos da propriedade, considerando a emissão de GEEs por animal indicada no Inventory of IPCC (2006) ou na Rede de pesquisa PECUS, da Embrapa (*baseline*);
- iii) cálculo do carbono fixado a partir de inventários florestais regulares (anuais), será calculado o estoque de carbono fixado nas árvores do sistema;

- iv) cálculo da neutralização das emissões, a partir da avaliação técnica da emissão de carbono e do cálculo do carbono fixado no fuste de árvores plantadas em sistema de ILPF e
- v) os produtos provenientes do componente florestal devem garantir que o estoque de carbono neles contido e contabilizado como GEEs neutralizados continue estocado por período estabelecido em legislação.

O processo produtivo é auditável e certificável e a concessão de uso da marca-conceito CCN é regulamentada pela Embrapa.

Tecnologias como essas são realidades nos sistemas produtivos pecuários brasileiros. Elas compõem a pecuária verde, uma nova revolução na forma de produzir carne, leite e derivados sustentáveis nos trópicos e de contribuir para o ciclo virtuoso do carbono.

9.4 Impactos sobre a mudança de hábito alimentar

A pressão pela produção sustentável e otimizada de alimentos, associada aos novos padrões regulatórios dos países importadores, e a demanda crescente por proteína de origem animal impõem ao Brasil o desafio para incrementar a produção de carne, leite e seus derivados. Os produtos de origem animal são, além de fonte de proteína de alta qualidade nutricional, ricos em vitaminas, minerais, aminoácidos essenciais proteinogênicos, bem como aminoácidos antioxidantes e peptídeos, em altas concentrações e de fácil biodisponibilidade (WU et al., 2016).

Há uma expectativa, para o horizonte de 2050, de 72% do consumo de proteína de origem animal (carne, leite e derivados) ocorrer em países em desenvolvimento, contra os 58% atuais. Essa projeção tem como suporte a expectativa na melhoria de qualidade de vida e renda da população, especialmente na Ásia, América Latina e parte da África, e pelo fato de o consumo de carne e leite estar associado ao poder aquisitivo do consumidor.

Por outro lado, enquanto há países com consideráveis índices de consumo *per capita*, disponibilidade de produção e oferta de carne e leite, ou renda, que favorecem esse consumo, hoje ainda é necessário alimentar quase 1 bilhão de famintos e reduzir 25 mil óbitos diários decorrentes da fome no mundo.

Mesmo com o crescimento de novos hábitos alimentares como o vegetarianismo, o veganismo e ainda o consumo de proteína animal “produzida” em laboratório (ex. carne artificial), faltam estudos precisos da participação desses estilos alimentares na população mundial. Estima-se que, no Brasil, cerca de 8% da população afirma ser adepta ao estilo vegetariano. O índice de adeptos é maior

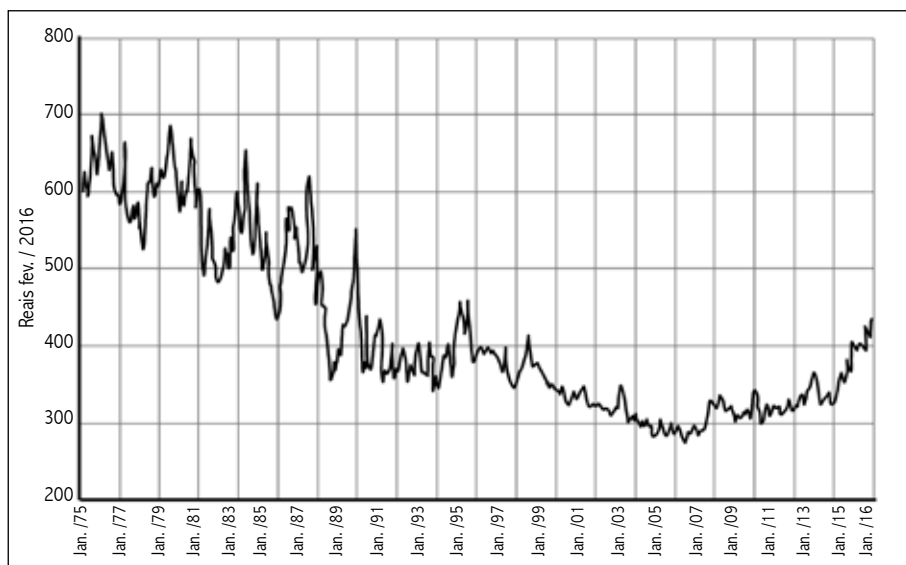
entre as pessoas de 65 a 75 anos (10%). Já entre os jovens de 20 a 24 anos, o percentual é de 7%.

Quanto à produção e ao consumo de carne artificial – produzida sobre sucessivos cultivos *in vitro* de monocamadas de células-tronco que se diferenciam em células musculares – a técnica ainda não está amplamente dominada e disseminada, há fatores éticos, legais, culturais, religiosos e econômicos a serem atendidos ou superados. Da mesma forma, mesmo para os substitutos do leite animal, já disponíveis no mercado, esses são, na sua maioria, formulações para dietas específicas ou especializadas, não substituindo o espaço de crescimento vertiginoso para o consumo de leite e seus derivados.

Sendo assim, embora tenham surgido novas alternativas às proteínas de origem animal, é premente e urgente atender a demanda global por carne, leite e seus derivados – fato que, para o Brasil, é uma vantagem competitiva, dado o potencial de intensificação sustentável de seus sistemas de produção de ruminantes, e, para o mundo, é uma realidade a desnutrição por falta desse alimento básico.

Há que considerar como um dos principais resultados positivos para o consumidor resultantes dos investimentos em PD&I, foi a acentuada redução nos preços reais da cesta básica de alimentação no período 1975-2016, na capital de São Paulo (Figura 2).

Figura 2. Preços reais* da cesta básica, São Paulo - SP, jan. 1975 a jan. 2016.



Fonte: EMBRAPA, 2017.

* Valores corrigidos pelo IGP-DI-FGV para 2016.

9.5 Perspectivas

O ano de 2003 foi determinante para que um único evento sanitário nos Estados Unidos da América (registro do mal-da-vaca-louca) contribuísse para o início da nova dinâmica do mercado global de carnes. Graças à pecuária sustentável, à ciência tropical, aos produtores e à muita tecnologia e conhecimentos disponíveis aqui, o Brasil decolou para a liderança desse exigente mercado.

As Instituições de CT&I têm desempenhado um papel chave para o desenvolvimento das cadeias produtivas da pecuária. Para alcançar os patamares atuais de importância e impacto do Brasil como maior exportador e segundo maior produtor de carne bovina e maior produtor e exportador de carne de frango no mundo, as instituições de ciência e tecnologia (ICT) têm contribuído de forma decisiva por meio da geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias relacionadas a pastagens; genética, nutrição e sanidade animal; sistemas integrados de produção; tecnologia da informação e comunicação; entre outros temas.

O tripé genética-alimentação-saúde, base da produção animal sustentável nos trópicos, tem muito da contribuição de resultados, tecnologias e impactos gerados no próprio país. As estimativas de impactos acumulados desses grupos de tecnologias são imensas. Da mesma forma, a segurança do sistema de produção do alimento, sua higidez sanitária e a qualidade nutricional superior é outro fator decisivo para garantir a segurança alimentar e nutricional no Brasil e no mundo. As tecnologias portadoras de futuro especialmente àquelas relacionadas a biotecnologia, nanotecnologia, tecnologias da informação e comunicação, biologia sintética e outras ferramentas, bem como o desenvolvimento de cultivares, linhagens e materiais genéticos vegetais superiores e com qualidade nutricional diferenciada, como os alimentos fortificados e o nutracêuticos, são futuros previsíveis para as cadeias produtivas.

A inovação agropecuária projeta o Brasil para uma posição de destaque em ciência e tecnologia de ponta, em condições de igualdade com o que há de melhor no mundo. Pode-se assegurar que a produção pecuária é antes, dentro e fora da porteira, suportada por bases científicas sólidas. Devemos ter orgulho da contribuição da C&T para a evolução das cadeias produtivas pecuárias e para a produção de proteínas de origem animal, por meio de soluções e resultados relevantes e que impactam positivamente a sociedade brasileira, o mundo tropical e os consumidores de alimentos. Embora, ainda existam vastas áreas com pastagens degradadas, pesquisas apontam soluções que já estão sendo utilizadas, como, por exemplo, os sistemas de produção animal integrando lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

9.6 Conclusões

Resumidamente, as principais oportunidades e desafios para ações de PD&I, em genética e melhoramento animal incluem:

- a) Em relação à segurança alimentar, um dos principais desafios é a medicina veterinária preventiva com ações sobre patógenos de alto risco biológico, especialmente aqueles de fácil dispersão e os exóticos. A busca por métodos de diagnóstico *ante-mortem*, o desenvolvimento de insumos para prevenção, vigilância, controle e tratamento de enfermidades tem um papel fundamental na segurança alimentar e no controle da disseminação de doenças produtivas, de risco biológico ou que constituam barreiras sanitárias.
- b) Para ruminantes, principalmente na produção de carne e leite, a preocupação mundial reside nas Encefalopatias Espongiformes Transmissíveis (EETs), doenças raras, causadas por prions, neurodegenerativas fatais e com longo período de incubação, que acometem o homem e os animais domésticos e silvestres. Entre as EETs, a Encefalopatia Espongiforme Bovina (EEB) é a mais importante, por ser considerada uma zoonose. Com o diagnóstico da EEB em vários países da Europa e na América do Norte, e a hipótese de relação entre esta doença de bóvidos e a doença de Creutzfeld-Jacob (CJD), como uma nova variante de distúrbio similar em seres humanos, a biossegurança na cadeia produtiva bovina tornou-se o foco das atenções, tanto dos consumidores, quanto da indústria da carne no mundo.
- c) A pressão pela produção sustentável e otimizada de alimentos, associada aos novos padrões regulatórios dos países importadores, e a demanda crescente por proteína de origem animal impõem o desafio para incrementar a produção de carne, leite e seus derivados de forma sustentável, inclusive para os pequenos produtores.
- d) Apesar do surgimento de novos hábitos alimentares como o vegetarianismo e o veganismo e do consumo de proteína animal “produzida” em laboratório (exemplo: carne artificial²) faltam estudos precisos da participação desses estilos alimentares na população mundial.
- e) Quanto à produção e o consumo de carne artificial – produzida sobre sucessivos cultivos *in vitro* de monocamadas de células-tronco que se diferenciam em células musculares – a técnica ainda não está amplamente

2 <https://www.tecmundo.com.br/ciencia/125740-cientistas-criam-carne-artificial-laboratorio-usando-celulas-animais.htm>. Acesso em 16 ago. 2018.

dominada e disseminada e há fatores éticos, legais, culturais, religiosos e econômicos a serem atendidos ou superados. Mesmo os substitutos do leite animal, já disponíveis no mercado, são, na sua maioria, formulações para dietas específicas ou especializadas, não substituindo o espaço de crescimento vertiginoso para o consumo de leite e seus derivados.

Referências bibliográficas

- ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Exportações Brasileiras de Carne Bovina. Janeiro a Dezembro de 2015. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/download/relatorio-anual-2015.pdf>>. Acesso em 12 dez. 2016.
- ALVES, F.V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V.A.; SILVA, V.P.; MACEDO, M.C.M.; MEDEIROS, S.R.; FERREIRA, A.D.; GOMES, R.C.; ARAÚJO, A.R.; MONTAGNER, D.B.; BUNGENSTAB, D.J.; FEIJÓ, G.L.D. Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos. Brasília, DF: Embrapa, 2015 (**Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210**). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/gado-de-corte/busca-de-publicacoes/-/publicacao/busca/carne%20carbono%20neutro?>>. Acesso em: 12 dez. 2016
- BRASIL (2016). Secretária de Vigilância em Saúde. Surtos de Doenças Transmitidas por Alimentos no Brasil. Disponível em: http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2016/junho/08/Apresenta---o-Surtos_DTA-2016.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2016.
- CICARNE. Centro de Inteligência da Carne. Disponível em: <<http://www.cicarne.com.br/>>. Acesso em: 29 dez. 2016.
- DUFFY, G.; CUMMINS, E.; NALLY, P.; O' BRIEN, S.; BUTLER, F. A review of quantitative microbial risk assessment in the management of *Escherichia coli* O157:H7 on beef. **Meat Science**, v. 74, p. 76–88, 2006.
- EFSA – European Food Safety Authority. The community summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents, antimicrobial resistance and food borne outbreaks in the European Union in 2005. **The EFSA Journal**, v.94, p. 3–288, 2006.
- EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, 2016. 138p.
- GALVÃO, Cleber E.; ROSINHA, Grácia Maria S.; SANCHES, Cristiane C.; ELISEI, Carina; ARAÚJO, Flávio R.; FEIJÓ, Gelson L. D.; ALMEIDA TORRES, Roberto Augusto; SOARES, Cleber O. Polymorphisms of

- Intron 1 and the Promoter Region at the PRNP Gene in BSE-Free Caracu Cattle. **Biochemical Genetics**, v. 1, p. 1-13, 2012.
- GONÇALVES, Aline N.D.; SOARES, Cleber O.; SANCHES, Simone C.; REIS, Fernando A.; ROSINHA, Grácia Maria S. Genotypic profile of Pantanal creole sheep regarding susceptibility or resistance to scrapie. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 684-687, 2016.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006 IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japan: IGES, v. 4, 2006.
- KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G.; MESQUITA, E. E.; OLIVEIRA, C. C.; ALVES, F.V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, p. 1-9, 2016.
- MELO, Elaine S.P.; SOUZA, Ingred I.F.; RAMOS, Carlos A.N.; OSÓRIO, Ana Luiza A.R.; VERBISCK, Newton V.; ARAÚJO, Flávio R. Evaluation of the use of recombinant proteins of *Mycobacterium bovis* as antigens in intradermal tests for diagnosis of bovine tuberculosis. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v. 47, p. 273-280, 2015.
- OIE – Organização Mundial de Sanidade Animal (2016). Estatus de los países miembros respecto de la encefalopatía espongiiforme bovina. Resolución N° 20 (84ª Sesión General de la Asamblea Mundial, mayo de 2016). Disponível em: <http://www.oie.int/es/sanidad-animal-en-el-mundo/estatus-sanitario-oficial/eeb/estatus-sanitario-oficial/>. Acesso em 12 dez. 2016.
- SOARES, Cleber O. PD&I alavanca a pecuária sustentável. **Agroanalysis**, v.43, n.11, p. 41. 2014.
- VIALE, M.L.; ZUMÁRRAGA, M.J.; ARAÚJO, F.R.; ZARRAGA, A.M.; CATALDI, A.A.; ROMANO, M.I.; BIGI, F. La genómica de las micobacterias. **Revue Scientifique et Technique – Office International des Épizooties**, v. 35, p. 215-240, 2016.
- WU, G.; CROSS, H.R.; GEHRING, K.B.; SAVELL, J. W.; ARNOLD, A.N.; MCNEILL, S.H. Composition of free and peptide-bound amino acids in beef chuck, loin, and round cuts. **Journal of Animal Science**, Vol. 94, No. 6, p. 2603-2613, 2016.

10

GENÉTICA, SANIDADE E PRODUÇÃO ANIMAL

Rômulo Cerqueira Leite¹

Jenner Karlisson Pimenta dos Reis²

Denise Aparecida Andrade³

Thierry Ribeiro Tomich⁴

Leonardo José Camargos Lara⁵

José Lúcio dos Santos⁶

Iran Borges⁷

Romário Cerqueira Leite⁸

Daniel Sobreira Rodrigues⁹

10.1 Contribuição da genética para o desenvolvimento animal

O Brasil é um país com extensão continental e que possui forte vocação agropecuária, sendo que as atividades pecuárias que mais se destacam são a bovino-cultura, a avicultura, a suinocultura e a caprino/ovinocultura. Como sabemos, os países em desenvolvimento necessitam ampliar rapidamente sua produtividade na agropecuária, face ao expressivo crescimento populacional e à sua maior demanda por alimento. Para tanto, modernas biotecnologias genéticas têm contribuído substancialmente para a produção agropecuária, com destaque para áreas de sanidade e de produção animal. As primeiras biotécnicas a produzirem resultados importantes foram a inseminação artificial e a transferência de embriões,

1 Professor Titular, Departamento de Medicina Veterinária Preventiva - Escola de Veterinária, UFMG. Coordenador da preparação desta Seção.

2 Professor Titular, Departamento de Medicina Veterinária Preventiva - Escola de Veterinária, UFMG.

3 Professora Associada, Departamento de Zootecnia - Escola de Veterinária, UFMG.

4 Pesquisador, Embrapa Gado de Leite.

5 Professor Adjunto, Departamento de Zootecnia - Escola de Veterinária, UFMG.

6 Responsável Técnico, Microvet - Microbiologia Veterinária Especial.

7 Professor Titular, Departamento de Zootecnia - Escola de Veterinária, UFMG.

8 Professor Titular, Departamento de Medicina Veterinária Preventiva - Escola de Veterinária, UFMG.

9 Pesquisador, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG.

amparadas por testes genéticos que permitem a confirmação dos *pedigrees*, garantindo maior precisão aos programas de seleção e melhoramento genético.

Posteriormente se destacaram as áreas de sexagem de embriões e de clonagem, que, em situações específicas, podem ampliar a eficiência de tais programas. Ainda no campo do melhoramento animal, o uso de marcadores genéticos é uma realidade para diversas espécies, permitindo a identificação precisa de indivíduos que possuam genótipos “superiores” para determinadas características de produção, bem como aqueles que possuem alelos que lhes conferem resistência ou susceptibilidade a certas alterações ambientais ou doenças. Animais transgênicos também deixaram de ser apenas experimentos científicos e já fazem parte do cotidiano produtivo. Como exemplo, a produção de peixes transgênicos resultou em expressivo crescimento econômico para a piscicultura.

Outro campo para o qual a genética tem deixado sua contribuição é o da caracterização genética de espécies animais, especialmente em alguns países em desenvolvimento, nos quais se encontram a maioria das espécies ameaçadas, cujo conhecimento é de fundamental importância, pois são populações adaptadas ao estresse biótico e abiótico local e aos sistemas de criação tradicionais. A não caracterização dessas populações implica na falta de distinção precisa entre as mesmas, comprometendo programas de conservação e/ou a sua utilização na recuperação de recursos genéticos.

A genética também tem sido amplamente empregada na área do diagnóstico. Além dos testes para detecção de inúmeras mutações genéticas associadas a doenças, nas mais diversas espécies animais, há ainda processos que permitem a identificação molecular de agentes patogênicos, permitindo tratamentos mais precisos e a menores custos. Também na produção de vacinas, a genética permite o emprego de processos mais precisos, seguros e de menor custo, a partir de anticorpos monoclonais e da tecnologia de DNA recombinante. Assim sendo, a genética pode trazer importante contribuição, tanto à sanidade, quanto à produção animal, embora o país ainda enfrente desafios com respeito às condições ideais para o avanço científico.

Entre essas condições desfavoráveis destacam-se os entraves burocráticos para a aquisição de bens de consumo e equipamentos; o fato de não se contar com a efetiva participação da iniciativa privada no financiamento da pesquisa; a descontinuidade do financiamento público de projetos que apresentam resultados promissores; o corte das verbas públicas para tais pesquisas e a falta de oportunidades para aproveitamento de profissionais qualificados em bons cursos de mestrado e doutorado.

Ademais, no contexto da atual crise econômica, a tendência é “apertar o cinto” e cortar despesas, inclusive em inovações, quando deveria se fazer exatamente

te o contrário, para se aumentar a produtividade e os resultados da economia. Em verdade, a inovação faz parte da agenda estratégica do país, mas, diante do quadro atual, pouco se tem feito, efetivamente, nesse sentido, estando o Brasil na contra-mão do que afirma John Kao, professor da Harvard Business School: “inovação é um conjunto de habilidades que permitem a realização de um futuro desejado”.

10.2 Bovinocultura

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial da produção de bovinos para leite e para carne. Atualmente, com o rebanho estimado em mais de 215 milhões de animais (IBGE, 2015), o país detém o 2º maior contingente bovino do mundo, acumulando 22% do rebanho mundial (USDA, 2016b). Ocupa a 6ª posição na produção de leite (USDA, 2016a) e a 2ª posição entre os maiores produtores de carne (USDA, 2016b). Considerando que o consumo anual de lácteos no Brasil ultrapassou o equivalente a 170 litros per capita, uma população de 206 milhões de habitantes e a produção estimada nos últimos anos pelo IBGE (2015) de cerca de 35 bilhões de litros, verifica-se que a produção nacional de leite pode ser integralmente consumida no mercado doméstico. Por sua vez, conforme o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2016b), o Brasil está recuperando a condição de maior exportador de carne bovina e detém o 4º maior mercado para esse produto, consumindo cerca de 7,5 milhões de toneladas (equivalente carcaça) por ano.

Embora se destacando mundialmente em termos absolutos na produção e no consumo dos produtos da pecuária bovina, os índices de produtividade globais no Brasil são relativamente baixos. Enquanto a atual produtividade média de uma vaca nos EUA, de acordo com Serviço Nacional de Estatísticas Agrícolas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-NASS, 2016), já ultrapassa os 10.000 mil litros de leite/vaca/ ano, a média brasileira em 2015 foi de apenas 1.609 litros/vaca/ano, segundo (IBGE, 2015).

Ainda segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2016b), os dados relativos ao ano de 2016 apontam que, embora o efetivo bovino brasileiro seja quase 2,5 vezes superior ao americano, o Brasil produz apenas cerca de 80% da quantidade total de carne bovina produzida nos EUA, indicando índices atuais de produtividade bastante inferiores com menos de 50 Kg de carne produzidos para cada animal em estoque, frente aos quase 125 Kg apresentados pelo rebanho americano.

Essas diferenças extremas nos índices de produtividade de bovinos em dois países que estão entre os mais importantes para o setor estão diretamente associadas às singularidades dos respectivos sistemas de produção (incluindo as

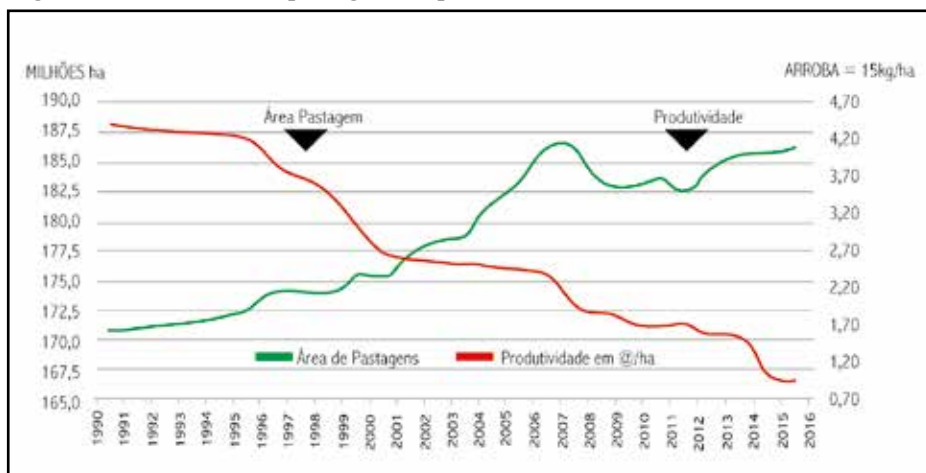
questões culturais), das estruturas logísticas necessárias ao processamento da matéria-prima e dos ambientes de comercialização dos produtos, indicando que as características intrínsecas desses países são capazes de imprimir alta capacidade competitiva nesse segmento, independentemente das atuais diferenças observadas quanto aos níveis médios de produtividade. Contudo, as crescentes concorrências interna e externa pressionam economicamente esses sistemas para incrementos em produtividade e em escala de produção e a estagnação da produtividade está diretamente associada à redução gradativa da capacidade de competição.

Por outro lado, observando a questão da relativa baixa produtividade no Brasil sob a ótica da oportunidade, verifica-se que o país apresenta grande potencial para expandir a produção bovina, sem que haja aumento de área destinada à atividade, em consonância com uma produção pecuária tecnicamente eficiente, economicamente viável e ambientalmente sustentável. Nesse sentido, o Brasil tem aumentado os níveis de produtividade (Figura 1) com a apropriação de tecnologias pelos sistemas pecuários indicando que o crescimento da média de produtividade de leite foi de 5,5%, em 2015 (IBGE, 2015), em relação ao ano anterior, portanto quase a metade do crescimento dos 13% em produtividade nos EUA nos últimos 10 anos. (USDA-NASS, 2016).

As peculiaridades dos sistemas pecuários brasileiros exigem tecnologias especificamente desenvolvidas e validadas localmente para que, uma vez apropriadas, possam apresentar a eficiência almejada. Um dos desafios para o setor consiste na atualização das linhas clássicas da pesquisa nacional em produção animal que geraram bases para que a atividade alcançasse o atual patamar de relevância, a exemplo das linhas de pesquisa em nutrição e alimentação, reprodução e melhoramento e seleção animal e vegetal (forrageiras). Adicionalmente, com foco em questões atuais e futuras, com potencial de impactar a produção bovina no país, estudos de cenários para a pecuária nacional, como no exemplo da simulação do efeito de incrementos na produção de carne bovina no Brasil sobre as emissões de gases de efeito estufa (OLIVEIRA SILVA et al., 2016), precisam ser estimulados.

Ainda com foco em questões prementes para a pecuária bovina no Brasil, as novas linhas de pesquisa devem ser impulsionadas, como estudos em adaptação dos sistemas de produção frente às condições climáticas extremas, condição que tende a se agravar; estudos em automação, em virtude da consistente redução da mão de obra ocupada com a atividade agropecuária do país nas últimas décadas e estudos sobre pecuária de precisão, incluindo o desenvolvimento e validação local de tecnologias de comunicação e informação, que possibilitem tomadas de decisão cientificamente embasadas e em tempo real, com respectivos ganhos para a eficiência produtiva.

Figura 1. Brasil: área de pastagem vs produtividade 1990-2015.



Fonte: Agroconsult, com base no IBGE e indicadores.

10.3 Avicultura

A produção nacional de aves e ovos confere ao país posição de destaque no mercado de produtos de origem animal e o credencia como importante *player* para a segurança alimentar nacional e internacional. O Brasil é o maior exportador mundial de carne de frango, o segundo maior produtor internacional de frangos de corte e o sétimo produtor mundial de ovos.

Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal, o ponto de virada para o desenvolvimento da avicultura de corte no Brasil foi a adequação da cadeia produtiva para atender demandas de mercados internacionais e a adoção do “sistema de integração” entre agroindústrias e produtores rurais. A combinação desse novo modelo de produção com desenvolvimento científico nas áreas de genética, nutrição, ambiência, sanidade e manejo determinaram o sucesso da produção de aves no país. A maior exportação de ovos e seus derivados pode favorecer muito essa cadeia produtiva. Entretanto, para que a cadeia avícola mantenha a sua competitividade e confirme as projeções de longo prazo, é imprescindível que se conserve o intrincado equilíbrio existente entre os elos que a compõe. Para tanto, deve-se direcionar esforços para os seguintes pontos:

- a) A aprovação da Lei no. 13.288/16 e sua aplicação efetiva conferirá maior transparência aos arranjos institucionais existentes entre empresas integradoras e produtores integrados, possibilitará a manutenção do “sistema de integração” pela remuneração adequada dos produtores, permitindo a resolução de litígios com base em ordenamento jurídico contratual específico.

- b) Em se tratando de matérias-primas e insumos de produção, constitui-se como desafio à produção avícola a seleção de ingredientes compatíveis com o elevado potencial de desempenho das atuais linhagens de aves e atuação do governo no sentido de modernizar as infraestruturas nacionais de transportes, favorecendo sua logística por meio de interações intermodais, e do sistema de armazenamento de produtos agrícolas, para que os grãos sejam adequadamente preservados em maiores períodos de estocagem, e ainda a ampliação do controle de qualidade dos insumos e matérias-primas.
- c) Outro obstáculo a ser superado pela avicultura nacional diz respeito a utilização de sistemas climatizados para a criação das aves. Coberturas e paredes isotérmicas, pressão negativa, placas evaporativas, automatização dos sistemas de ventilação e outras tecnologias estão disponíveis no mercado para minimizar efeitos naturais adversos e para garantir melhores indicadores zootécnicos para as aves. Contudo, alguns aspectos relevantes dificultam o emprego desse pacote tecnológico. Primeiramente, a infraestrutura de distribuição elétrica, em diversas regiões, encontra-se defasada e a ponto de impossibilitar o emprego de sistemas mais modernos de climatização, seja por sobrecarga da rede ou pelo risco de interrupção no fornecimento constante de energia. Em segundo lugar, cita-se a reduzida oferta de subsídios ou de linhas de créditos específicos para o financiamento de aviários climatizados, que requerem montantes financeiros por muitas vezes incompatíveis com a realidade de produtores rurais menos abastados. Essa dificuldade poderia ser prontamente resolvida com miniusinas com células fotovoltaicas, desde que a custos acessíveis para os produtores.
- d) Capacitação continuada da mão de obra mais eficiente que a utilizada atualmente, na qual a maioria das instruções são repassadas aos criadores de maneira fragmentada e pulverizada durante visitas técnicas realizadas aos seus estabelecimentos. Nesse contexto assume importância a valorização e o fortalecimento das Instituições de ensino, pesquisa e extensão que podem suprir a demanda de profissionais cada vez mais qualificados e preparados para atuarem nesse importante segmento produtivo, desde que tenham condições infraestruturais, humanas e financeiras. Finalmente, cabe à cadeia avícola nacional respeitar cada vez mais princípios de bem-estar animal e sustentabilidade ambiental.

10.4 Suinocultura

A suinocultura brasileira iniciou-se com animais oriundos da península ibérica, introduzidos pelos colonizadores portugueses. Tratava-se de uma suino-

cultura de fundo de quintal, utilizada como produção de carne e banha para a sobrevivência dos colonos.

Até a década de 1970, a suinocultura era pouco tecnificada e não supria o mercado interno. A peste suína africana (PSA), originada de restos de comida de aviões utilizados como alimentação de suínos, causou um grande problema sanitário e de mercado, pois a PSA, era exótica, de comunicação sanitária obrigatória e impeditiva de acesso aos mercados externos. O governo brasileiro implementou medidas drásticas e erradicou a doença, sendo o Brasil declarado livre dessa doença em dezembro de 1984. A partir de então, a suinocultura se renovou em moldes tecnificados e de alta produção, tornando o país competitivo e o segundo exportador de carne suína do mundo. O segmento da suinocultura não modernizado e os criadores de fundo de quintal tendem a desaparecer.

O rebanho brasileiro possui mais de 1.600.000 fêmeas que produzem um abate anual em torno de 40.000.000 de cabeças. Embora a suinocultura seja um segmento de pecuária bem-sucedida, ainda existem muitos problemas a serem solucionados. Um dos grandes problemas a ser resolvido e equacionado é o bem-estar animal, que, hoje, é exigido não só pelo produtor, mas também pelo consumidor – já é uma tendência na Europa e já existem movimentos nos EUA e no Brasil. Outro problema é o dano causado ao meio ambiente, pois a criação de suínos é uma grande fonte de degradação ambiental, pela produção de gases, especialmente amoníaco e sulfato de hidrogênio, além das fezes, que contribuem para a contaminação dos rios e lençóis freáticos.

Esses problemas, quando devidamente estudados, poderão resultar em soluções como acontece com o aproveitamento de dejetos como fertilizantes para as lavouras, diminuindo a importação de adubos e contribuindo para a melhora do meio ambiente. Embora o Brasil não possua raças nativas ou selecionadas daquelas de origem na colonização, adquiriu genética de alta produtividade e manteve intensos estudos genéticos para o avanço da produtividade.

A sanidade suína está bem alicerçada, porém, necessita intensificar os programas sanitários, principalmente, visando alcançar medidas preventivas para controlar as doenças já existentes e aquelas exóticas aos rebanhos, impedindo sua introdução. A mão de obra para o setor evoluiu bastante, mas é necessário investimento em mão de obra técnica e de apoio.

10.5 Caprinocultura e ovinocultura

A caprino/ovinocultura no Brasil começou com a colonização portuguesa e a utilização de animais das raças ibéricas. No Rio Grande do Sul, houve uma con-

centração da produção de ovinos, enquanto existia o comércio de lã – os animais eram criados em regime extensivo e como exploração secundária ao rebanho bovino. Com a substituição da lã de origem animal pela lã sintética, a ovinocultura perdeu espaço para a bovinocultura, diminuindo seu efetivo, principalmente a partir dos anos 1980.

A caprinocultura tem sua maior concentração no Nordeste, com exploração extensiva para autoconsumo e comercialização local, baseada mais intensamente na produção de carne e aproveitamento das peles. Nos anos 90 e início de 2000 a implantação de programas estaduais de apoio a essas atividades, no Rio Grande do Norte e Paraíba, deu um grande impulso à caprinocultura leiteira, mantendo-se ainda esse interesse, apesar da diminuição do efetivo depois da saída de recursos públicos dos projetos. Porém, é importante assinalar que os caprinos oferecem um problema à conservação da caatinga brasileira, tornando-se uma importante área de estudo, já que os caprinos são praticamente animais sagrados para o nordestino e não poderiam desaparecer, contudo é um problema ambiental para a conservação do bioma.

As duas espécies, podem ser consideradas como pecuária secundária, ou complementar à produção bovina, sendo hoje sua maior concentração no Nordeste, com 90% do rebanho de caprinos do país e 60% do rebanho de ovinos, embora estas atividades estejam presentes em todo o território nacional. Na década de 1970, houve interesse pela melhoria genética de raças produtoras de leite e carne, com importação de genética melhorada, tanto para caprinos como ovinos, e nos anos 90 e início do presente século, várias empresas, estatais e privadas, investiram na importação de caprinos (Boer) e ovinos (Dorper) de corte.

No entanto, não houve o devido preparo tecnológico, tanto de condições de produção (infraestrutura e difusão de tecnologia) como de mão de obra e o cenário das duas culturas continuou trazendo prejuízos ou mesmo desestimulando o crescimento da cadeia. O mercado de carnes caprinas e ovinas é altamente comprador, porém, desorganizado; o mesmo tem-se constatado com o setor de lácteo dessas espécies. Dessa forma, a falta de acesso a tecnologias restringe o mercado consumidor a nichos regionais. É também importante ressaltar que o país possui um imenso e eficaz conjunto de práticas tecnológicas que, no entanto, não estão chegando até aos produtores, em especial, aos que estão à frente dos menores empreendimentos de criação desses pequenos ruminantes.

Outro fator limitante é a sanidade, pois, além das doenças já existentes, como as verminoses e *linfadenites caseosa*, com a importação de material genético também entraram outras doenças exóticas como a entevirose de pequenos ruminantes (CAE e *Maedi-Visna*) e *Scrapie* que não têm controle e causam enormes prejuízos.

10.6 Sanidade dos sistemas de produção pecuários

A estrutura e o porte dos diversos sistemas de produção pecuária brasileiros descritos anteriormente justificam a enorme relevância do país no comércio e na sustentação alimentar mundial. O destino de produzir bens e alimentos em escala continental nos obriga ao exercício de práticas agrícolas e pecuárias em condições de espaço físico cada vez mais reduzido, em busca da produção e da produtividade, o que tem consequências diretas e indiretas para os problemas sanitários que afetam a todos e cada um dos sistemas de produção, de acordo com as características específicas de cada estabelecimento produtor, sobre os quais a ciência tem conhecimento genérico.

Assim, um número extremamente diversificado de agentes patogênicos, compartilham essas atividades econômicas, esses substratos, causando problemas sanitários, econômicos e financeiros, os quais, em conjunto, explicam, por suas ações deletérias, parte substancial das perdas em produção e produtividade, conforme pode-se vislumbrar nas apresentações supracitadas, cujo conhecimento profundo torna-se condição prévia para o estabelecimento de prioridades, que deverão direcionar ações de políticas públicas específicas, em todos os níveis de competência. Sob essa premissa, para o estabelecimento das políticas públicas, urge conhecer os impactos econômicos dos problemas sanitários que afetam a pecuária nacional, os quais deverão primeiramente ser calculados para cada uma das espécies pecuárias exploradas, por espécie animal e por região, o que nos permitirá estabelecer uma escala de prioridades, que apontem e racionalizem os investimentos de pesquisa de forma regionalizada.

O conhecimento acumulado desse exercício ajudará os governos a planejar melhor os seus esforços de investimento e o cenário apresentado ajudará enormemente na formação dos grupos de pesquisa focados em estabelecer as necessidades prioritárias para os planejamentos estratégicos, nos três níveis de atuação. No entanto, é preciso, além do conhecimento dos valores hierárquicos dos impactos econômicos das doenças que atingem todos os níveis e tipos de produção pecuária no país, conhecer, também em profundidade, os prejuízos financeiros causados pelos patógenos, ou mesmo o complexo de agentes de atuação simultânea que compõe a doença ou a síndrome patológica, para se calcularem os custos das tecnologias a serem empregadas em seus controles.

Esse passo é essencial para se chegar a uma escala numérica de cálculos da relação de custo-benefício das metodologias de controle sanitário de doenças animais para a escolha de determinada tecnologia, no emprego das ferramentas de ação e controle sanitário governamental. A esse respeito, PERRY e RANDOLPH (1999), sintetizam, de forma competente um amplo espectro de estudos econômico-sanitários, a partir dos quais pode-se desenhar propostas de projetos

sanitários eficazes. No Brasil, em data recente, GRISI et al. (2014), atualizaram os valores dos prejuízos econômicos causados pelas enfermidades parasitárias dos bovinos considerando apenas o que os animais deixam de produzir em quilos de carne ou litros de leite.

As cifras brasileiras anuais atingiram valores na casa de US\$13.937,62, valor considerado subestimado pelos pesquisadores. A boa notícia é que o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento manifestou-se sensível aos problemas sanitários dos rebanhos nacionais e tem se movimentado no sentido de uma busca ativa de soluções. No tocante às questões parasitárias dos rebanhos bovinos, a recente Portaria Ministerial nº47 de 24 de maio de 2016 estabeleceu diretrizes e definições de estratégias de atuação para a vigilância, prevenção e controle das parasitoses animais, como medida primeira para o estabelecimento de políticas públicas que englobem o conjunto das ações técnicas, científicas e políticas para o segmento.

Esperamos que múltiplas ações como essa sejam implementadas, em todos os segmentos, para que, em breve, possamos superar os atuais baixos índices de produtividade dos rebanhos bovinos e dos demais segmentos da agropecuária nacional.

10.7 Entraves adicionais

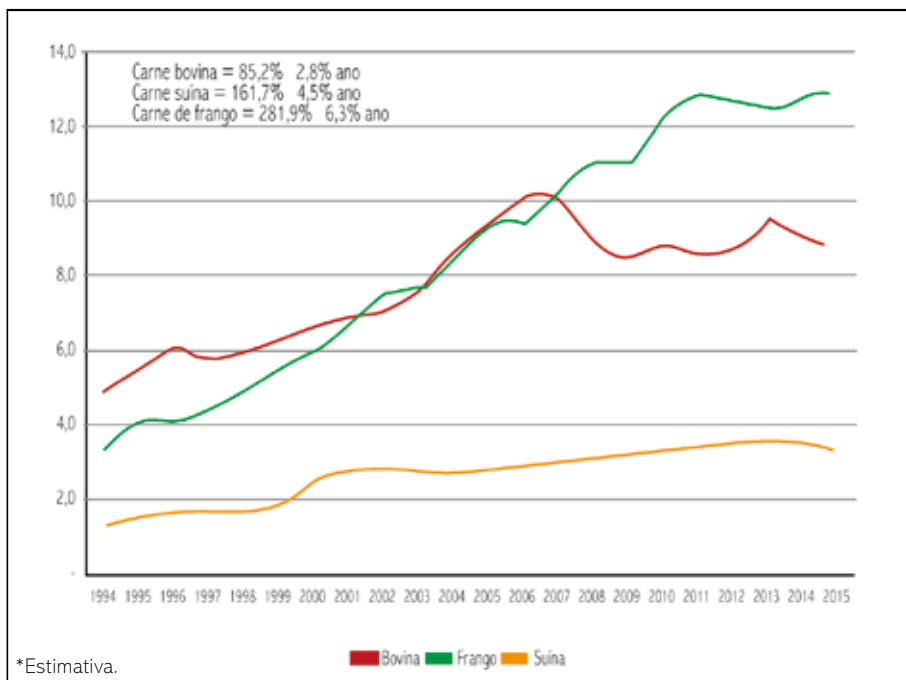
Outros entraves para o desenvolvimento da pecuária seriam as dificuldades encontradas na instalação e manutenção de laboratórios de diagnóstico, para os quais a maioria dos aparelhos e insumos são importados, tornando o Brasil seriamente dependente de pesquisas externas para a resolução de problemas tipicamente nacionais e que comprometem nossa independência tecnológica. Isso acaba encarecendo bastante o valor dos diagnósticos, tornando o produtor impossibilitado de resolver os problemas nos rebanhos.

O Brasil não possui um banco de micro-organismos padrões autóctones à semelhança da ATCC (*American Type Cell Culture*) dos Estados Unidos, o que compromete seriamente a qualidade dos diagnósticos e a avaliação de insumos e vacinas usadas nos rebanhos, que são, na maioria, oriundas do exterior.

Outra deficiência é a transmissão do conhecimento gerado nos institutos de pesquisa e universidades para o setor produtivo. Embora o país possua boa infraestrutura e pessoal altamente qualificado, os produtos gerados não chegam aos produtores, tornando esse conhecimento perdido. Se o país tivesse políticas públicas capazes de promover a interação entre conhecimento gerado e setor produtivo, os recursos seriam aproveitados na sua integridade, gerando mais riquezas, fortalecendo o agronegócio e o comércio exterior.

Apesar de todas as restrições indicadas nesta seção, o crescimento da produção de carne bovina, suína e de frango tem sido a taxas relativamente altas, principalmente, no período 1994-2015, como mostrado na Figura 2.

Figura 2. Brasil: produção de carne bovina, suína e de frango, 1994-2015.



Fonte: EMBRAPA, 2016.

10.8 Conclusões

As principais oportunidades e desafios para ações de PD&I em diferentes aspectos de genética, sanidade e produção animal, objetivando ganhar em escala e aproveitar as terras degradadas para produção animal, sem ampliar o uso de vegetação nativa. Assim, são indicadas, a seguir, as oportunidades e desafios de PD&I.

Bovinocultura. Modernas biotecnologias genéticas contribuem substancialmente para a produção agropecuária, com destaque para as áreas de sanidade e de produção animal, cujas prioridades para futuras ações de PD&I em bovinocultura, incluem:

- Ampliação do conhecimento do grande número de espécies ameaçadas de extinção, pois são populações adaptadas ao estresse biótico e abiótico local e aos sistemas de criação tradicionais. A não caracterização dessas populações impli-

ca na falta de distinção precisa entre as mesmas, comprometendo programas de conservação e/ou a sua utilização na recuperação de recursos genéticos.

- b) Superação de entraves burocráticos para a aquisição de consumíveis e equipamentos. Falta também uma efetiva participação da iniciativa privada no financiamento da pesquisa.
- c) Aumento dos baixos índices de produtividade nacional da pecuária bovina. A atual produtividade por vaca nos EUA é de 10.000 mil litros de leite/ano, mais de 6 vezes a média brasileira de apenas 1.609 litros/vaca/ano.
- d) Estímulo a estudos de cenários para a pecuária nacional, como, por exemplo, a simulação do efeito de incrementos na produção de carne bovina no Brasil sobre as emissões de gases de efeito estufa.
- e) Estímulo a novas linhas de pesquisa, como estudos em adaptação dos sistemas de produção frente a condições climáticas extremas, condição que tende a se agravar; estudos em automação, em virtude da consistente redução da mão de obra ocupada pela atividade agropecuária no país; e estudos sobre pecuária de precisão, incluindo o desenvolvimento e validação local de tecnologias de comunicação e informação que possibilitem tomadas de decisão cientificamente embasadas e em tempo real, com os respectivos ganhos para a eficiência e qualidade produtiva.

Avicultura. O Brasil é o maior exportador mundial de carne de frango, o segundo maior produtor internacional de frangos de corte e o sétimo produtor mundial de ovos. Entretanto, para que a cadeia avícola mantenha sua competitividade será preciso concentrar esforços nas seguintes ações de PD&I:

- a) Melhoria na seleção e no controle de qualidade de ingredientes compatíveis com o elevado potencial de desempenho das atuais linhagens de aves e atuação do governo no sentido de modernizar as infraestruturas de transportes e logística, por meio de interações intermodais, e do sistema de armazenamento de produtos agrícolas, para que os grãos sejam adequadamente preservados durante maiores períodos de estocagem.
- b) Utilização de sistemas climatizados para a criação de aves, com coberturas e paredes isotérmicas, pressão negativa, placas evaporativas, automatização dos sistemas de ventilação e outras tecnologias que estão disponíveis no mercado para minimizar efeitos naturais adversos e para garantir melhores indicadores zootécnicos para as aves. Contudo, o emprego desse pacote tecnológico está limitado pela infraestrutura de distribuição elétrica, que, em diversas regiões, encontra-se defasada a ponto de impossibilitar o emprego de sistemas mais modernos de climatização, seja por sobrecarga da rede ou pelo risco de interrupção no fornecimento constante de energia.

- c) Capacitação continuada da mão de obra, pois a maioria das instruções são repassadas aos criadores de maneira fragmentada e pulverizada durante visitas técnicas realizadas aos seus estabelecimentos. Nesse contexto, entra a importância da valorização e do fortalecimento das instituições de ensino, pesquisa e extensão, que podem suprir vantajosamente a demanda por profissionais cada vez mais qualificados e preparados. Cabe também à cadeia avícola respeitar cada vez mais princípios de bem-estar animal e sustentabilidade ambiental.

Suinocultura. A partir de 1985, a suinocultura brasileira se renovou em moldes tecnificados e de alta produção e produtividade, tornando o Brasil competitivo e o segundo país exportador de carne suína do mundo. Embora a suinocultura seja um segmento de pecuária bem-sucedida, ainda existem várias restrições a serem solucionadas por ações de PD&I, como:

- a) Falta de bem-estar animal, exigido por produtores e consumidores, já uma tendência na Europa e com movimentos nos EUA e no Brasil. Outro problema é o dano causado ao meio ambiente, pois a criação de suínos é uma grande fonte de degradação ambiental, pela produção de gases, especialmente amoníaco e sulfato de hidrogênio, além das fezes que contribuem para a contaminação dos rios e lençóis freáticos.
- b) Não intensificação dos programas sanitários, principalmente visando alcançar medidas preventivas para controlar doenças existentes e impedir a introdução de doenças exóticas.

Caprinocultura e ovinocultura. No Rio Grande do Sul, houve uma concentração da produção de ovinos, enquanto existia o comércio de lã – os animais eram criados em regime extensivo e como exploração secundária em relação ao rebanho bovino. Com a substituição da lã de origem animal pela lã sintética, a ovinocultura perdeu espaço para a bovinocultura, diminuindo seu efetivo, a partir dos anos 1980. As prioridades para ações de PD&I nestas atividades incluem:

- a) Incentivo ao devido preparo tecnológico tanto para as condições de produção (infraestrutura e difusão de tecnologia) como para as questões de mão de obra e o cenário da caprino/ovinicultura, que reflete prejuízos, desestimulando o crescimento da cadeia. Os mercados de carnes e lácteos dessas atividades são altamente compradores, porém, desorganizados.
- b) Incentivo às ações proativas em relação à sanidade, devido a doenças existentes, como as verminoses e linfadenites caseosa, e doenças exóticas trazidas pela importação de material genético, como a Lentivirose de pequenos ruminantes (CAE e Maedi-Visna) e Scrapie que não têm controle e causam enormes prejuízos.

Sanidade dos Sistemas de Produção Pecuários. A tendência de produzir bens e alimentos em escala quase continental requer o exercício de práticas agrícolas e pecuárias em condições de espaço físico cada vez mais reduzido, com maior produção e produtividade e com consequências diretas e indiretas quanto aos problemas sanitários, que afetam todos e cada um dos sistemas de produção. As prioridades para ações de PD&I incluem:

- a) Um número extremamente diversificado de agentes patológicos, compartilham essas atividades, causando problemas sanitários, econômicos e financeiros, os quais, em conjunto, explicam por suas ações deletérias, parte substancial das perdas em produção e produtividade, cujo conhecimento torna-se condição na definição de prioridades que deverão direcionar ações de políticas públicas.
- b) Outros entraves para o desenvolvimento da pecuária seriam as dificuldades encontradas na instalação e manutenção de laboratórios de diagnóstico onde a maioria dos aparelhos e insumos são importados, tornando o Brasil seriamente dependente de pesquisas externas para resolução de problemas tipicamente nacionais e que comprometem a independência tecnológica. Isso acaba encarecendo fortemente o valor dos diagnósticos, tornando o produtor incapaz de resolver os problemas sanitários dos rebanhos.
- c) A criação de um banco brasileiro de micro-organismos padrões autóctones à semelhança da ATCC (American Type Cell Culture) dos Estados Unidos, com benefícios para a qualidade dos diagnósticos e avaliação de insumos e vacinas usados, hoje, em sua maioria, oriundas do exterior.
- d) Outra deficiência é a fraca transmissão do conhecimento gerado nos institutos de pesquisa e universidades para o setor produtivo. O país necessita de políticas públicas capazes de promover a interação entre as instituições geradoras de conhecimento e o setor produtivo.

Referências bibliográficas

- EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, 2016. 138p.
- GRISI, L.; LEITE, R.C.; MARTINS, J.C.S.; BARROS, A.T.M. DE; ANDREOTTI, R.; CANÇADO, P.H.D.; LEON, A.A.P DE; PEREIRA, J.B.; VILLELA, H.S. Reavaliação do potencial do impacto econômico de parasitos de bovinos no Brasil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, Vol.23, no.2, Jaboticabal, abr./jun. 2014. On-line version ISSN 1984-2961 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-29612014042>.

- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da pecuária Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, v. 43, p.1-49, 2015. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2015/default_xls_brasil.shtm>. Acesso em: out. 2016. <http://www.portaldaindustria.com.br/agenciანი/noticias/2015/05/inovacao-nao-e-luxo-e-uma-estrategia-nacional-diz-guru-da-inovacao/>. Acesso em: out. 2018
- _____. Tabelas produção da pecuária municipal 2015. Tabelas (em formato xls), 2016 <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2015/default_xls_brasil.shtm>. Acesso em: nov. 2016.
- OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L.G.; HALL, J.A.J. ; FOLEGATTI MATSUURA, M.; ALBERTINI, T.Z.; FERNANDES, F.A.; MORAN, D. Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*, v.6, p. 493-498, 2016. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v6/n5/pdf/nclimate2916.pdf>>. Acesso em: ago. 2016.
- PERRY, B.D.; RANDOLPH, T. F. Improving the assessment of the economic impact of parasitic diseases and of their control in production animals. **Veterinary Parasitology**, Vol. 84, Nos. 3 & 4, Aug. 1st, 1999, pages: 145-168. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(99\)00040-0](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00040-0)>. Acesso em: out. 2018.
- _____. a. (Foreign Agricultural Service). Dairy: World Markets and Trade. World Production, Markets, and Trade Reports (July 21, 2016), 2016a. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/dairy.pdf>>. Acesso em: nov. 2016.
- _____. b. (Foreign Agricultural Service). Livestock and Poultry: World Markets and Trade. World Production, Markets, and Trade Reports (October 12, 2016), 2016b. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF>. Acesso em: nov. 2016.
- USDA-NASS – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – (National Agricultural Statistics Service). Milk: Production per Cow by Year, US. Charts and Maps (February 19, 2016), 2016. Disponível em: <https://www.nass.usda.gov/Charts_and_Maps/Milk_Production_and_Milk_Cows/cowrates.php>. Acesso em: nov. 2016.

11

GENÉTICA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

Agustin Zsögön¹
Adriano Nunes-Nesi¹
Lázaro Eustáquio Pereira Peres²

11.1 Características gerais

É consenso que a biodiversidade é uma riqueza, ainda que em potencial (DA MOTTA, 1996; ANDERSEN, 1997). O Brasil tem destaque por possuir de 10% a 20% das espécies de seres vivos do planeta, sendo que as estimadas 55.000 espécies da flora brasileira perfazem 22% da flora mundial. Há também estimativas que somente 11% da fauna e da flora do Brasil são conhecidas e catalogadas. Tais fatos têm fomentado aporte de recursos para projetos sobre a descoberta e caracterização da biodiversidade do país. Por outro lado, calcula-se que apenas 1% das espécies de plantas tropicais conhecidas foi estudada, quanto ao potencial farmacêutico. Sendo assim, é uma realidade inofismável que o imenso acervo de espécies vegetais disponíveis não passe, em sua maior parte, de exsicatas³ em herbários, com poucos exemplos de princípios ativos sendo explorados comercialmente.

Portanto, verifica-se que houve uma ênfase inicial em trabalhos de inventário, a qual deverá ser contrabalançada nos próximos anos com o maior fomento a estudos visando a compreensão do funcionamento de mecanismos genéticos,

1 Professores, Departamento de Biologia Vegetal, UFV.

2 Professor, Departamento de Ciências Biológicas, ESALQ, USP.

3 Fragmento ou exemplar vegetal, dessecado e prensado, acompanhado de uma ou mais etiquetas, com informações diversas sobre o espécime e conservado em herbário para estudo.

químicos, fisiológicos e ecológicos. Essa abordagem multidisciplinar deverá facilitar aplicações práticas como a bioprospecção da quimiodiversidade, o uso de recursos genéticos aparentados a espécies cultivadas (ou mesmo a domesticação de novas espécies) e a exploração de serviços ambientais.

Outra questão importante é a constatação de que a simples catalogação de espécies *ad infinitum* não permitirá a geração de conhecimento plenamente relevante, nem do seu aprofundamento técnico-científico em prol da agregação de valor e realização de um benefício socioeconômico. Deve-se considerar, nesse sentido, que a geração de conhecimento é *per se* “reducionista”, já que requer foco em um ponto que permita colocar em relevo aspectos que, de outra maneira, ficariam obscurecidos pela imensa complexidade da realidade. Essa simplificação permite fazer o fenômeno estudado passível de medição, comparação e contextualização. A somatória de tais “simplificações”, por sua vez, permite uma visão sinóptica da realidade, permitindo um alto grau de esquematização, controle e manipulação. Sendo assim, a otimização do estudo da biodiversidade seria sua exploração sistemática e contextualizada, com significativo aporte e integração de outras áreas do conhecimento, no contexto dos biomas existentes. Sendo assim, uma estratégia mais eficiente para atingir simultaneamente agregação de valor, conservação e exploração do patrimônio representado pela biodiversidade vegetal existente no Brasil deve incorporar os esforços da taxonomia, filogenia, genômica, transcritômica, metabolômica, fitoquímica e fisiológica. O denominador comum dessas áreas é a genética e suas ferramentas.

Entre as ferramentas de genética molecular que possuem aplicações na caracterização e conservação da biodiversidade estão:

- (i) o uso de *next-generation DNA sequencing* para o sequenciamento de genomas inteiros (SEEHOUSEN et al., 2014) e
- (ii) a edição gênica utilizando tecnologia CRISPR/Cas9 (CORLETT, 2016).

Detalhes dessas tecnologias podem ser obtidos em SHENDURE e JI (2008) e BALTES e VOYTAS (2015). As aplicações do sequenciamento de genomas são inúmeras, mas em relação à otimização do estudo da biodiversidade possuem destaque:

- (i) o mapeamento de genes que causam isolamento reprodutivo;
- (ii) a caracterização de padrões de diferenciação de genomas e
- (iii) as identificações de sequências genômicas que foram fundamentais para a adaptação de espécies a diferentes ambientes e estresses ou que contribuem para a capacidade de aclimação de seus indivíduos. Toda essa informação pode ser útil também para o desenvolvimento de ferramentas de monitoramento (marcadores moleculares) da biodiversidade ameaçada.

Quanto à edição gênica, essa pode introduzir tanto modificações para proteger espécies ameaçadas, quanto para eliminar ou controlar espécies invasoras nocivas. No primeiro caso, pode-se editar genes criando alelos que confirmam resistência a novos fatores bióticos (e.g. patógenos e pragas) ou abióticos (e.g. seca e temperaturas extremas) que estejam colocando em risco a sobrevivência de uma espécie na natureza. De modo oposto, a introdução de alelos que levam à redução da capacidade de sobrevivência e/ou reprodução de uma espécie invasora e ameaçadora da flora ou fauna autóctone é uma alternativa para seu controle, algo semelhante ao que já vem sendo utilizado para o controle de pragas urbanas (THOMAS et al., 2000).

A edição gênica também pode viabilizar o uso da chamada “biologia sintética” na conservação de biodiversidade. Nesse caso, uma das metas mais ambiciosas seria reviver espécies extintas a partir de seu genoma. É preciso considerar que todo processo de clonagem necessita partir de material celular pré-formado e não somente de informação contida em DNA. Desse modo, para animais, uma das alternativas é substituir o núcleo de óvulos de espécies relacionadas existentes com núcleo de células somáticas de material extinto, criando embriões sintéticos. Ainda que essa tecnologia seja realizável, ela não está disponível para a grande maioria das espécies extintas e não é viável em plantas. Sendo assim, a alternativa, ainda complexa, mas que pode se tornar factível, é a edição de genomas de espécies pré-existentes, até que esses se aproximem do genoma da espécie extinta.

Menos ambicioso e mais factível que a recriação de espécies silvestres, é o uso de edição gênica para a rápida domesticação de espécies silvestres (ZSOGON et al., 2016). É preciso considerar que a domesticação, embora não necessariamente preserve uma espécie silvestre, representa uma alternativa interessante de utilização da biodiversidade combinada à preservação de pelo menos parte do genoma original. Além disso, a domesticação de espécies silvestres contribui para aumentar a segurança alimentar e para combater a erosão genética causada pela redução do número de espécies e variedades utilizadas como base da produção de energia, fibras e alimentos.

Um raciocínio óbvio por trás das propostas de edição gênica é a resistência à liberação na natureza de organismos que poderão ser considerados geneticamente modificados. De fato, os riscos inerentes ao processo e à magnitude das transformações não podem ser desconsiderados. Por exemplo, as tecnologias utilizadas para eliminação de espécies exóticas que invadem e ameaçam ecossistemas podem “vazar” e ameaçar as próprias espécies nativas. No entanto, talvez o maior entrave para a regularização dessas tecnologias resida no “medo do novo”, já que os próprios profissionais envolvidos em biotecnologia tendem a apresentá-la como algo transgressor e extremamente inovador. Curiosamente, com o avanço dos conhecimentos genômicos, acumulam-se as evidências de que eventos de

“transgenia natural” ou “transmissão horizontal de genes” ocorreram durante a evolução e domesticação de diferentes espécies (SUZUKI et al., 2002; KYNDT et al., 2015).

Um estudo de caso interessante é o das espécies do gênero *Capsicum*, entre as quais um grande número é endêmico da bacia amazônica. Evidências arqueológicas sugerem que sua utilização pelos povos originários remonta a, pelo menos, 4000 anos atrás. Além da sua famosa pungência, que torna algumas espécies de *Capsicum* um componente central da culinária de diversos países, elas representam uma fonte de químicos com interesse econômico, entre os quais se contam nutrientes essenciais (vitamina C e carotenoides), compostos corantes, cosméticos e repelentes. Um esforço coordenado para adquirir conhecimentos detalhados sobre a distribuição, ecofisiologia e fitoquímica do grande número de espécies e variedades existentes no Brasil, deve envolver a caracterização de sua variabilidade genética (WAHYUNI et al., 2011; ROSADO-SOUZA et al., 2015). Essas informações podem contribuir para otimizar sua bioprospecção, ou seja, avaliar e explorar racionalmente os recursos genéticos e bioquímicos para fins comerciais, com a concomitante conservação da biodiversidade e combate ao esgotamento do recurso almejado.

Em suma, mesmo com uma biodiversidade imensurável no Brasil, temos poucos exemplos de sucesso comercial de seu uso. No entanto, esse cenário deverá mudar nos próximos anos, pois é esperada uma mudança de abordagem, evoluindo-se da simples catalogação e descrição da biodiversidade para a concentração de esforços de diferentes áreas, com substancial aporte daquelas ligadas a modernas ferramentas genéticas, no seu estudo funcional, conservação e exploração.

11.2 Conclusões

É consenso que a biodiversidade é uma riqueza, ainda que em potencial e que o Brasil tem destaque por possuir de 10% a 20% das espécies de seres vivos do planeta, sendo que as estimadas 55.000 espécies da flora brasileira perfazem 22% da flora mundial. Há também estimativas que somente 11% da fauna e da flora do Brasil são conhecidas e catalogadas. Temas para ações de PD&I são:

- a) Fomento a estudos para desvendar o funcionamento de mecanismos genéticos, químicos, fisiológicos e ecológicos da biodiversidade. Essa abordagem multidisciplinar deverá facilitar aplicações práticas como a bioprospecção da quimiodiversidade, o uso de recursos genéticos aparentados a espécies cultivadas (ou mesmo a domesticação de novas espécies) e a exploração de serviços ambientais.

- b) Aplicações do sequenciamento de genomas em relação à otimização do estudo da biodiversidade com destaque para o mapeamento de genes que causam isolamento reprodutivo; a caracterização de padrões de diferenciação de genomas e as identificações de sequências genômicas que foram fundamentais para a adaptação de espécies a diferentes ambientes e estresses ou que contribuam para a capacidade de aclimação de seus indivíduos. Toda essa informação pode ser útil também para o desenvolvimento de ferramentas de monitoramento (marcadores moleculares) da biodiversidade ameaçada.
- c) Concepção de uma estratégia mais eficiente para atingir simultaneamente agregação de valor, conservação e exploração do patrimônio representado pela biodiversidade vegetal existente no Brasil, contando com os esforços da taxonomia, filogenia, genômica, transcriptômica, metabolômica, fitoquímica e fisiologia, sendo que a base comum dessas áreas é a genética.
- d) Mudança de abordagem nos estudos de biodiversidade, evoluindo da simples catalogação e descrição da biodiversidade para a concentração de esforços de diferentes áreas, com substancial aporte daquelas ligadas a modernas ferramentas genéticas, no seu estudo funcional, conservação e exploração.
- e) Caracterização e conservação da biodiversidade com aplicações das ferramentas da genética molecular incluindo o uso de next-generation DNA sequencing para o sequenciamento de genomas inteiros e a edição gênica utilizando tecnologia CRISPR/Cas9.
- f) Desenvolvimento de estudos de edição gênica criando alelos que conferem resistência a novos fatores bióticos (e.g. patógenos e pragas) ou abióticos (e.g. seca e temperaturas extremas) que estejam colocando em risco a sobrevivência de uma espécie na natureza. De modo oposto, a introdução de alelos que levam à redução da capacidade de sobrevivência e/ou reprodução de uma espécie invasora e ameaçadora da flora ou fauna autóctone é uma alternativa para seu controle, algo semelhante ao que já vem sendo utilizado para o controle de pragas urbanas.
- g) Menos ambicioso e mais factível que a recriação de espécies silvestres, é o uso de edição gênica para a rápida domesticação de espécies silvestres. Há que considerar que a domesticação, embora não necessariamente preserve uma espécie silvestre, representa uma alternativa de utilização da biodiversidade combinada à preservação de parte do genoma original.
- h) Um esforço coordenado para adquirir conhecimentos sobre a distribuição, ecofisiologia e fitoquímica do grande número de espécies e variedades existentes, deve envolver a caracterização de sua variabilidade genética. Essas informações podem contribuir para otimizar sua bioprospecção, ou seja, ava-

liar e explorar racionalmente os recursos genéticos e bioquímicos para fins comerciais, com a concomitante conservação da biodiversidade e combate ao esgotamento do recurso almejado.

Referências bibliográficas

- ANDERSEN L.E **A Cost-Benefit Analysis of Deforestation in the Brazilian Amazon**. Brasília, Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA. ISSN 1415-4765, 1997. 38p.
- BALTES N.J., VOYTAS D.F Enabling plant synthetic biology through genome engineering. **Trends Biotechnol.** **33**, 120–131, 2015.
- CORLETT R.T. A Biggertoolbox: Biotechnology in biodiversity conservation. **Trends Biotechnol.** **35**, 55-65, 2016.
- DA MOTTA R.S **The Economics of Biodiversity in Brazil: The Case of Forest Conversion**. Brasília, Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA. ISSN 1415-4765, 1996. 21p.
- KYNDT, T. et al. The genome of cultivated sweet potato contains *Agrobacterium* T - DNAs with expressed genes: An example of a naturally transgenic food crop. **PNAS**, **112**, 5844-5849, 2015.
- ROSADO-SOUZA L et al. Exploring natural variation of photosynthetic, primary metabolism and growth parameters in a large panel of *Capsicum chinense* accessions. **Planta**, **242**, 677–691, 2015.
- SEEHAUSEN, O. et al. *Genomics and the origin of species*. **Nat. Rev. Genet.**, **15**, 176–192, 2014.
- SHENDURE, J; JI, H. Next-generation DNA sequencing **Nature Biotech.** **26**, 1135-1145, 2008.
- SUZUKI et al. Tobacco plants were transformed by *Agrobacterium rhizogenes* infection during their evolution. **Plant Sci.**, **J 32**, 775–787, 2002.
- THOMAS, D.D. et al. Insect population control using a dominant, repressible, lethal genetic system. **Science**, **287**, 2474–2476, 2000.
- WAHYUNI, Y. et al. Metabolite biodiversity in pepper (*Capsicum*) fruits of thirty-two diverse accessions: Variation in health-related compounds and implications for breeding. **Phytochemistry**. **72**, 1358–70, 2011.
- ZSOOGON, A. et al. Genome editing as a tool to achieve the crop ideotype and *de novo* domestication of wild relatives: Case study in tomato. **Plant Science** DOI: 10.1016/j.plantsci.2016.12.012.

12

RECURSOS E ECOSSISTEMA: produção de plantas, genética e biodiversidade

Elcio Perpétuo Guimaraes¹

12.1 Características gerais

Ao examinar diferentes documentos que tratam de questões globais como a segurança alimentar, a sustentabilidade, os efeitos das mudanças climáticas, os biocombustíveis e outros, o Brasil aparece em posição de destaque como parte do problema, mas também como parte da solução. Não há dúvidas de que o país é o grande celeiro alimentar mundial e tem lições a ensinar. A produção agrícola brasileira cresceu exponencialmente durante as últimas décadas, devido principalmente à aplicação de resultados de pesquisa e tecnologia. Ainda assim, a atividade permanece associada a certos fatores negativos, como a exploração desmedida de recursos naturais de seus biomas (Figura 1) e o uso excessivo de agroquímicos (atualmente, o país é o maior usuário de agroquímicos do mundo).

Os dados estatísticos mais recentes sobre a produção de grãos brasileira mostram mais um recorde. A produção total de grãos em 2016-2017 superou 227,9 milhões de toneladas métricas. A maior produção foi a da soja: 110,1 milhões de toneladas, seguida pelo milho, com 91,5 milhões de toneladas, e pelo arroz, com 11,9 milhões de toneladas (CONAB, 2017). É impossível falar da produção de

¹ Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão.

Figura 1. Biomas Brasileiros.



Fonte: Projeto Biomas (CNA/Embrapa); MMA.

alimentos no país sem mencionar o quanto o Brasil evoluiu na gestão de recursos naturais e do ecossistema. Dados da FAO referentes a 2006 mostram que, de 1975 a 2005, a área ocupada pela produção caiu 1,91% (de 695 a 681,7 milhões de hectares), e a produtividade cresceu 84,7% (de 1,76 mil tons/ha a 3,36 mil tons/ha). Mais uma vez, a força principal por trás desses resultados foi o uso da ciência e da tecnologia.

O maior desafio do Brasil nas próximas décadas é o de sustentar seu crescimento com zero de expansão de área e o máximo de aumento na produtividade. O papel da ciência e da tecnologia é criar inovações que permitam ao país produzir mais, de maneira sustentável, e aumentar a qualidade nutricional de seus produtos, com mais respeito ao meio ambiente; e tudo isso em um mundo cada vez mais impactado por alterações climáticas que ainda são um desafio para os cientistas.

12.2 Produção de plantas

Examinando a história, vemos que o aumento contínuo da produtividade foi o elemento chave que permitiu o crescimento das sociedades. No início, caçadores precisavam de 2500 hectares para alimentar uma pessoa. No Egito, a agricultura exercida em 10% dessa área produzia alimentos para 750 pessoas. Na agricultura atual, a produção obtida a partir desses 10% alimenta 3600 pessoas (PATERNIANI, 2001).

Nos anos 60 e 70, o foco era cultivar uma cultura por ano e geri-la com a meta de obter a maior produção possível. A fim de alcançar esse objetivo, eram utilizados altos níveis de fertilização, em geral, combinados à exploração excessiva dos recursos naturais. Com o passar do tempo, pesquisadores desenvolveram sistemas agrícolas integrados e mais complexos, utilizando a terra durante o ano inteiro. Nesses sistemas, as culturas são integradas à pecuária, e, em alguns casos, também a florestas (BALBINO et al., 2012). Fazendeiros também adaptam formas criativas de aumentar e sustentar a produção de alimentos. Um deles é o sistema “*zero tillage* que implica em cultivo mínimo”, que teve um grande impacto sobre todo o país. De modo geral, o aumento na complexidade foi associado não só ao aumento da produção, mas também à busca por formas mais sustentáveis de gerir sistemas agrícolas e pecuários.

A mudança no uso da terra, causada pela expansão da pecuária e da agricultura, trouxe uma série de desafios para a pesquisa, em especial, a falta de sustentabilidade devido à degradação das pastagens e às monoculturas (AIDAR; KLUTH-COUSKI, 2003), que ainda aguardam uma resposta melhor por parte da ciência. No geral, esses desafios ligados à sustentabilidade dos sistemas de produção não se referem a uma visão estática, em que os sistemas são considerados sustentáveis quando a produção é mantida no mesmo nível; mas à visão dinâmica, em que os sistemas evoluem, ajustando-se às demandas da sociedade, tendo em conta a computação das avaliações da perda de habitats e serviços ecossistêmicos das vegetações nativas adjacentes à água.

A intensificação, integração e aumento na complexidade do sistema de produção agrícola trouxeram problemas com pestes, como a mosca branca, que atualmente representa um grande problema para as culturas de feijão comum e está afetando também a soja e outras culturas. Isso impôs aos produtores o uso constante de agroquímicos. A exploração contínua da capacidade química e física dos solos é uma questão importante a ser considerada nos sistemas de produção. O desafio para a pesquisa é o de compreender como equilibrar os sistemas complexos de forma que a extração seja neutralizada pela adição de elementos químicos, sem impor altos custos aos produtores e ao meio ambiente. Uma grande questão envolvida aqui é a manutenção e melhora da matéria orgânica no

solo (NEUFELDT; RESCK.; AYARZA, 2002). No ecossistema Cerrado, uma grande limitação para a sustentabilidade é o baixo nível de matéria orgânica nos solos. Assim, é preciso dar prioridade a pesquisas com o objetivo de aumentar e sustentar a matéria orgânica no solo. Isso afeta também outros ecossistemas, como a Caatinga.

No caso da Caatinga, a eficiência no uso da água é outro desafio. Na Região Nordeste, onde a produção de cana-de-açúcar e de frutas são componentes importantes dos sistemas de produção, a escassez da água está se transformando em um grande problema. Essa questão afeta também a produção de arroz nas regiões Sul e Central do Brasil. Apesar da importância dessas regiões para a produção brasileira, e da importância desse problema, a ciência ainda não foi capaz de desvendar a complexidade dessa questão e criar soluções que não só protejam o ecossistema, mas também ajudem os produtores em seu objetivo de aumentar a produtividade. O desenvolvimento de variedades com uso eficiente da água e de tecnologia para poupar água são elementos chave para consideração.

Considerando o país como um todo, a agropecuária mudou o Brasil de um país com insegurança alimentar a um dos principais exportadores de alimentos em algumas décadas, além de se tornar responsável por um quarto do nosso produto interno líquido. Essa produção é originada em diferentes ecossistemas, que contribuem para a produção nacional de formas diferentes, incluindo os custos da incapacidade de produção em longo prazo, tendo em vista a não sustentabilidade. O ecossistema do Cerrado teve uma evolução tremenda, e em menos de cinco décadas se tornou a maior área de produção agrícola do país. Os maiores desafios que o afetam são relacionados à infraestrutura e à logística, mas a ciência ainda batalha para desenvolver sistemas intensificados e sustentáveis. O *no till* fez uma contribuição na direção certa, mas a prevalência de culturas de *commodity*, como soja e milho, ainda é uma grande questão. O principal desafio aqui é desenvolver um sistema de produção intensivo e sustentável. Na região Sul, onde a agricultura tem uma história mais longa, a sustentabilidade e a intensificação dos sistemas de produção são também os principais desafios. Na região da Caatinga, a água permitiu aos produtores orientar suas culturas ao mercado. No passado, o grande foco era a produção familiar. O desenvolvimento de sistemas de irrigação permitiu o cultivo de culturas comerciais e a diversificação, com a mudança da mandioca para a cana-de-açúcar e a produção irrigada de frutas. Nesse caso, a eficiência da água é, sem dúvida, a principal área a pesquisar. É necessário investir em variedades mais tolerantes ao estresse hídrico e em sistemas de irrigação mais eficientes. O ecossistema amazônico tem características muito particulares e a agricultura exerce nele um papel menor quando comparada à exploração de espécies locais e nativas. Atualmente, a pecuária extensiva e a soja em áreas desmatadas contribuem significativamente para a produção agrícola na região. Assim

como nos outros ecossistemas, a questão mais relevante é a sustentabilidade, e o desenvolvimento de sistemas de produção integrada é o maior desafio, além, é claro, da necessidade de integração do conhecimento das particularidades dos biomas nas equações que buscam a sustentabilidade.

A ciência está se movendo rapidamente para fornecer aos produtores ferramentas para compreender o comportamento de seus sistemas de produção, em todos os ecossistemas, em tempo real, integrando o comportamento das culturas com as condições do solo e da água. Hoje, *drones* sobrevoam as fazendas e coletam informações sobre locais onde intervenções são necessárias para prevenir a infestação de culturas com doenças e insetos, e como isso deve ser feito (FONARCE et al., 2014). Esses dados são, então, analisados, e os computadores fornecem informações sobre as melhores formas de gerir os problemas. As máquinas nos informam onde, como e quanto fertilizantes devem ser utilizados, segundo as características do solo, fazendo da agricultura de precisão parte integrante da vida dos produtores. A automação contribui para a melhor gestão do sistema de produção e permite que sistemas mais complexos sejam produtivos e sustentáveis. Todas essas inovações já fazem parte dos sistemas agrícolas no Brasil atual. No entanto, para o futuro, as expectativas para a agricultura brasileira estão centradas não só na produção de mais e melhores alimentos, rações, fibras e combustíveis, mas também na contribuição para a mitigação das mudanças climáticas, minimizando o impacto sobre o meio ambiente, cujo maior desafio será garantir um futuro sustentável, ou seja, que inclua o ecossistema natural de avaliações.

12.3 Genética

O mundo atual deve considerar a área da genética como uma das principais responsáveis pela alimentação de sua população. A contribuição da genética não se limitou à produção de alimentos, afetando também as fibras, as rações e os combustíveis. Desde os primeiros estágios do desenvolvimento da genética, melhoradores usam esse conhecimento para desenvolver variedades melhoradas ano após ano. Ainda assim, os melhoristas buscam métodos e ferramentas que permitam alterações específicas no genoma e aumentem sua eficiência na produção de variedades melhoradas.

Vale a pena mencionar que a aplicação das leis de Mendel nos permitiu aumentar exponencialmente a produtividade, especialmente no caso das culturas principais. E possibilitou também o desenvolvimento de variedades mais resistentes a doenças e insetos e mais tolerantes a estresses abióticos. No entanto, a complexidade dos sistemas de culturas atuais e a necessidade de obter respostas

mais rápidas e melhores para fatores limitantes estão impondo desafios adicionais aos melhoristas.

Recentemente, com os avanços das ciências biológicas, esse desafio parece ter sido vencido e as modificações genéticas oferecem novas fronteiras para descobertas. Hoje, se discute a sintetização do genoma humano. Em 2010, a criação de vida artificial foi reportada nos E.U.A. pela primeira vez pelo J. Craig Venter Institute (JCVI) (GIBSON et al., 2010). Isso dá uma ideia da velocidade com que esse campo está avançando. Voltando ao século passado, todos se lembram do surgimento da transgênese e de como ela atraiu a atenção global para o modo como técnicas de manipulação genética poderiam oferecer alternativas para melhorar a capacidade das culturas para resistir a pestes e, também, para o fato de uma técnica poder atrair opiniões opostas ou até extremas sobre o uso da ciência como suporte da agricultura. As culturas transgênicas resistentes a herbicidas e insetos trouxeram economia em aplicações químicas e contribuem de forma eficaz para uma melhor gestão do meio ambiente. Em um futuro próximo, a ciência fará ainda mais, mas sem as polêmicas associadas à tecnologia dos transgênicos.

A tecnologia das Ciências Biológicas está evoluindo a velocidades incríveis. Em 2003, quando o genoma humano foi completado, o custo estimado era de quase 4 bilhões de dólares americanos – e o trabalho levou dez anos para ser concluído. Hoje há empresas que nos convidam a fazer o sequenciamento de nosso genoma por cerca de mil dólares e em apenas uma tarde.

Olhando para o futuro, podemos dizer que a tecnologia da ferramenta de edição de genes CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) vai revolucionar a forma como fazemos o melhoramento de cultivares. Essa tecnologia é baseada em enzimas que funcionam como tesouras moleculares, cortando e inserindo genes em um organismo de forma controlada (CONG et al., 2013). Assim, será possível desenvolver novas variedades com novos genes específicos para resistência, tolerância a estresses ambientais, como secas, enchentes, frio e calor, e melhor conteúdo nutricional. A pesquisa em geral e o melhoramento de plantas em particular, necessitam mais investimentos (público e privado) para conseguirem responder às crescentes demandas nacional e mundial de alimentos.

Apesar de todos esses avanços na genética e oportunidades para melhorar o uso de recursos e as características de ecossistemas, o Brasil ainda está enfrentando dificuldades básicas. O número de especialistas em melhoramento vegetal no setor público e em instituições que trabalham com melhoramento genético no país não está aumentando. Pelo contrário: em muitos casos, está diminuindo. Felizmente, os trabalhos de melhoramento estão aumentando na iniciativa privada (GERALDI, 2012). No entanto, esse crescimento é limitado às culturas *commodities*, como soja e milho. Há menos especialistas e investimentos dedicados

às outras culturas (RAMALHO; TOLEDO; SOUZA, 2010). Nossas culturas de mandioca e feijão comum, entre outras, necessitam de mais atenção e investimentos, que precisam vir do setor público.

Considerando-se a exacerbação dos efeitos das mudanças climáticas, a melhor compreensão dos recursos e características dos ecossistemas torna-se ainda mais indispensável. E isso conduz ao tema a seguir: a necessidade de preservar e utilizar melhor a biodiversidade do país. A aplicação de ferramentas genéticas na manipulação de plantas se transforma em uma grande prioridade; mas os problemas, mais complexos, exigem equipes científicas também mais complexas. Hoje, o desafio é: como reunir uma equipe de especialistas para resolver os problemas? É necessário combinar melhoristas, fisiologistas, geneticistas, biotecnólogos, entomologistas, patologistas etc., todos trabalhando juntos e concentrando-se na questão de como gerir melhor os recursos para os diferentes ecossistemas.

A genética evoluiu tremendamente. E os investimentos privados em culturas comerciais importantes também cresceram de forma significativa. Agora, cabe a nós explicar a necessidade de adicionar novos esforços e investimentos em culturas de segurança alimentar e culturas relevantes para produtores, além dos cultivos tradicionais.

12.4 Biodiversidade

A biodiversidade pode ser definida como o total de genes, espécies e ecossistemas de uma área, região, país ou mesmo o mundo. O conceito de biodiversidade se refere a três graus de variabilidade: o primeiro, relacionado à diversidade entre espécies; o segundo, relacionado à variabilidade dentro das espécies, ou variabilidade genética, que é a base dos programas de melhoria; e o terceiro, associado aos ecossistemas.

Em 1992, no Rio de Janeiro, representantes de mais de 150 países assinaram a Convenção de Diversidade Biológica (*Convention on Biological Diversity*, CBD), um acordo que expressa preocupações relacionadas a perdas de diversidade genética em todo o mundo e a necessidade de reunir esforços e recursos para evitar tais perdas. É de conhecimento geral que não há um único país autossuficiente em recursos genéticos vegetais (CBD, 1992).

A questão mais lógica seria perguntar “por que essas perdas são preocupantes?”. Uma resposta breve para essa questão é: a biodiversidade é fundamental para fornecer serviços de ecossistema, que, por sua vez, são essenciais ao bem-estar humano. A biodiversidade é responsável por segurança alimentar, saúde, água limpa, produção de energia, vulnerabilidade, entre outros aspectos essenciais.

Em fevereiro de 2008, o governo norueguês criou o maior banco de preservação de sementes do mundo, o *Svalbard Global Seed Vault*, com a intenção de prevenir perdas de sementes em outros bancos genéticos durante crises regionais ou globais (FOWLER, 2016). Essa iniciativa foi proposta com a intenção de conservar a diversidade genética vegetal global.

O Brasil está entre os países mais diversificados do mundo, em termos de biodiversidade. A flora brasileira é a mais diversificada, com cerca de 55.000 espécies descritas, o que representa um quarto do total global de espécies. Os ecossistemas Cerrado, Floresta Atlântica e Amazônia são os biomas mais ricos do planeta. Essa biodiversidade deve ser utilizada de uma forma que faça sentido para o país e para o mundo. Sua preservação deve ser prioritária, mas seu uso racional deve ser parte integrante de estratégias de desenvolvimento nacional.

O Brasil aproveita a sua diversidade genética nativa e exótica para melhorar suas principais culturas e oferecer aos produtores opções de adaptação às alterações sofridas pelos ecossistemas. Apesar dos melhoristas geralmente se concentrarem em materiais melhorados para manter seus programas de reprodução, os recursos genéticos nativos ou selvagens são altamente relevantes para as estratégias nacionais de melhoria genética, já que oferecem oportunidades para integrar novos genes aos *pools* genéticos geridos pelos melhoristas e soluções para limitações atuais e potenciais (melhoramento preventiva).

A despeito da existência de uma legislação muito restritiva, que não estimula o uso de recursos genéticos selvagens nacionais, os melhoristas ainda assim estão aproveitando oportunidades e utilizando a diversidade local. As principais culturas que têm parentes selvagens presentes nos diferentes biomas brasileiros são: *Arachis* (amendoim), *Manihot* (mandioca), *Anacardium* (caju), *Hevea* (seringueira), *Oryza* (arroz), *Ipomoea* (batata-doce), *Solanum* (tomate), diversas frutas tropicais, como o maracujá, entre outras. Um desafio adicional para os programas de melhoria de cultivares é a falta de incentivo ao intercâmbio de recursos genéticos com outros países, pela legislação nacional, o que impõe, em termos práticos, dificuldades ao avanço desses programas.

Nas últimas décadas, com as ferramentas biotecnológicas, avaliações de diversidade genética por meio de marcadores moleculares foram feitas para quase todas as culturas relevantes. Tais estudos permitiram entender melhor como desenvolver estratégias de conservação e, o mais importante, compreender melhor como essa diversidade genética pode ser usada para desenvolver variedades melhoradas.

Em adição aos benefícios mencionados anteriormente, relacionados às provisões da biodiversidade, um benefício que apresenta crescimento nos últimos anos é o valor da diversidade para o turismo. No Brasil, a exploração da diversidade como fonte de renda relacionada ao turismo é limitada e concentrada no sul

do país, onde o circuito do vinho é um bom exemplo. No entanto, o interesse por esse tipo de turismo está se expandindo ao redor do mundo e o Brasil precisa dedicar atenção a isso, a fim de explorar sua tremenda biodiversidade. Apenas 10% da fauna e da flora brasileira já foram descritas e registradas (25% das espécies de vegetais conhecidas em todo o mundo estão no Brasil).

A biodiversidade é extremamente importante para que o Brasil continue sua jornada de crescimento na agricultura. Conseqüentemente, é desejável ter mais flexibilidade e velocidade na troca de recursos genéticos, para que o país seja percebido e respeitado na área internacional. Urge também implementar melhores estratégias para coletar, conservar e utilizar recursos genéticos.

12.5 Conclusões

O maior desafio do setor agrário será manter o crescimento com mínimo aumento da fronteira agrícola, o máximo aumento da produtividade, isso sendo feito de maneira sustentável. O papel da ciência e tecnologia será o de gerar e adaptar inovações que permitirão aumentar a produção de forma sustentável e assegurar melhoria da qualidade nutricional da produção, em um mundo sujeito a mudanças climáticas. Sendo assim, as oportunidades e desafios para ações de PD&I, em recursos e ecossistemas – genética, produção de plantas e biodiversidade – incluem:

- a) A mudança no uso da terra pela expansão da área cultivada e dedicada à pecuária levantou uma série de desafios para a ciência e a tecnologia como a duvidosa sustentabilidade dos atuais sistemas de produção, parecendo sustentáveis em termos estáticos, no espaço de uma safra, mas claramente insustentáveis em termos dinâmicos, quando considerados em várias safras;
- b) A intensificação, integração e aumento de complexidade dos sistemas de produção resultaram em doenças e pragas, como a mosca branca, que, atualmente, é o maior problema comum aos feijões (leguminosas), afetando a soja e culturas similares, exigindo o uso intenso de defensivos;
- c) A contínua exploração das capacidades físicas e químicas dos solos também requer ações de pesquisa, para manter sua capacidade produtiva. Nos ecossistemas Cerrado e Caatinga a maior limitação à sustentabilidade deve-se aos baixos níveis de matéria orgânica nos solos, fator que merece alta prioridade de pesquisa;
- d) No bioma Caatinga, um dos grandes desafios refere-se ao uso eficiente da disponibilidade de água para o cultivo e a pecuária. Esta é a principal prio-

ridade da pesquisa nos cultivos de arroz no Sul e Centro-Oeste. O desenvolvimento de variedades eficientes no uso da água e de tecnologias de cultivo que economizem água merecem prioridade em pesquisa;

- e) No caso do Cerrado, há uma grande deficiência nas infraestruturas e logísticas de apoio ao armazenamento, transporte e comercialização, com vários desafios à intensificação e sustentabilidade da produção;
- f) A aplicação dos recursos da Genética para a manipulação de plantas e animais se torna uma importante prioridade de pesquisa, mas isso vai requerer o esforço de equipes multidisciplinares para tratar os desafios de forma harmônica, com o trabalho integrado de melhoristas, fisiologistas, geneticistas, biotecnologistas, entomologistas, fitopatologistas etc., com o objetivo de manejo eficiente dos recursos dos ecossistemas;
- g) A biodiversidade deverá ser usada com significado para o Brasil e o resto do mundo, sendo a preservação uma prioridade, mas a utilização racional da biodiversidade deve ser parte da estratégia nacional de desenvolvimento;
- h) Um importante desafio aos programas de melhoramento genético refere-se à legislação nacional, que não estimula as trocas de recursos genéticos com outros países, o que impõe restrições ao avanço desses programas. O país deverá dar atenção à exploração da biodiversidade, pois somente 10% da flora e fauna foi descrita e registrada. Deve-se indicar que 25% das espécies de plantas do planeta encontram-se no Brasil.

Referências bibliográficas

- AIDAR, H. E KLUTHCOUSKI, J. Evolução das atividades lavoureira e pecuária nos cerrados. In: KLUTH-COUSKI, J.; STONE, L.F. E AIDAR, H. (ed.). **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 25–58.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L.A.M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P.R. E VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Informações Agrônomicas** 138:1-19, 2012.
- CBD, **Convention on Biological Diversity**. 1992. Disponível em: <<https://www.cbd.int>>. Acesso em: 10 out.2017.
- CONAB (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. V.4 – Safra 2016/17- N. 7 – Sétimo Levantamento, abril, 2017. 160p.
- CONG, L.; ANN RAN, F.; COX, F.D.; LIN, S.; BARRETTO, R.; HABIB, N.; HSU, P.D.-; WU, X.; JIANG, W.; MARRAFFINI, L.A. AND ZHANG, F.

- Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems. **Science**, 339 (6121): 819-823, 2013.
- FONARCE, K.M.; DRAKELEY, C.J.; WILLIAM, T.; ESPINO, F.; AND COX, J. Mapping infectious disease landscapes: unmanned aerial vehicles and epidemiology. **Trends in Parasitology**, 30(11): 514-519, 2014.
- FOWLER, C. **Seed on Ice: Svalbard and the Global Seed Vault**. Easton Studio Press, 2016. 160p.
- GERALDI, I.O. Contribution of graduate programs in plant breeding to the education of plant breeders in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S2: 1-6, 2012.
- GIBSON, D.G.; GLASS, J.I.; LARTIGUE, C.; NOSKOV, V.N.; CHUANG, R.Y.; ALGIRE, M.A.; BENDERS, G.A.; MONTAGUE, M.G.; MA, L.; MOODIE, M.M.; MERRYMAN, C.; VASHEE, S.; KRISHNAKUMAR, R.; ASSAD-GARCIA, N.; ANDREWS-PFANNKOCH, C.; DENISOVA, E.A.; YOUNG, L.; QI, Z.Q.; SEGALL-SHAPIRO, T.H.; CALVEY, C.H.; PARMAR, P.P.; HUTCHISON, C.A.; SMITH, H.O. AND VENTER, J.C. Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. **Science**, 329 (5987): 52-56, 2010.
- NEUFELDT, H.; RESCK, D.V.S.; AYARZA, M.A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, 197 (3-4): 151-164, 2002.
- PATERNIANI, E. Agricultura sustentável nos Trópicos. **Estudos Avançados**, 15 (43): 303-326, 2001.
- RAMALHO, M.P.; TOLEDO, F.H.R.B.; SOUZA, J.C. Melhoramento genético de plantas no Brasil. In: **Compêndio em melhoramento genético de plantas no Brasil**. RAMALHO et al. (ed), 2010. p. 17-37.

13

RECURSO ÁGUA

Lineu Neiva Rodrigues¹
Paulo Estevão Cruvinel²

13.1 Características gerais

Existe uma forte inter-relação entre água, alimento e energia, que é intensificada com o aumento da demanda resultante do crescimento populacional, das mudanças climáticas e das mudanças nos padrões de consumo. Será cada vez mais preponderante adotar estratégias de manejo, que considerem os recursos hídricos de forma integrada e que almejem a sua alocação equitativa, considerando os usos múltiplos da água e tendo a bacia hidrográfica como unidade de referência. Essa abordagem integrada dos recursos hídricos demandará soluções científicas inovadoras que mudarão a forma de trabalhar a agricultura e de produzir alimentos.

Na construção de um projeto de ciência para o Brasil, é fundamental considerar as desigualdades hídricas regionais e ter um olhar diferenciado para as bacias hidrográficas críticas, nas quais a disponibilidade hídrica já está comprometida, assim como, já é realidade a ocorrência de conflitos pelo uso da água. As pesquisas em recursos hídricos devem incorporar uma visão sistêmica do complexo

¹ Pesquisador da Embrapa Cerrados.

² Pesquisador da Embrapa Instrumentação.

hídrico, no qual o curso d'água, em sua qualidade e quantidade, é reflexo das atividades antrópicas que ocorrem na bacia como um todo.

A atividade agrícola é a principal usuária dos recursos hídricos no mundo (Figura 1) e a sua intensificação deve ser feita de forma planejada, evitando os desequilíbrios (UNESCO, 2003; XEVI; KHAN, 2005). Quando se trata, entretanto, de água na agricultura é importante diferenciar a agricultura de sequeiro da agricultura irrigada. A primeira representa cerca de 91,7% da área plantada (CONJUNTURA..., 2013), mas não compete diretamente pelo uso da água do curso de água. A segunda, por outro lado, compete diretamente com outros usuários pelo uso da água, superficial ou subterrânea. Nesse particular, a pesquisa científica tem o desafio de desenvolver conhecimentos e soluções que visem, principalmente, compatibilizar produção de alimento, fibras e energia, com o uso múltiplo e sustentável dos recursos hídricos.

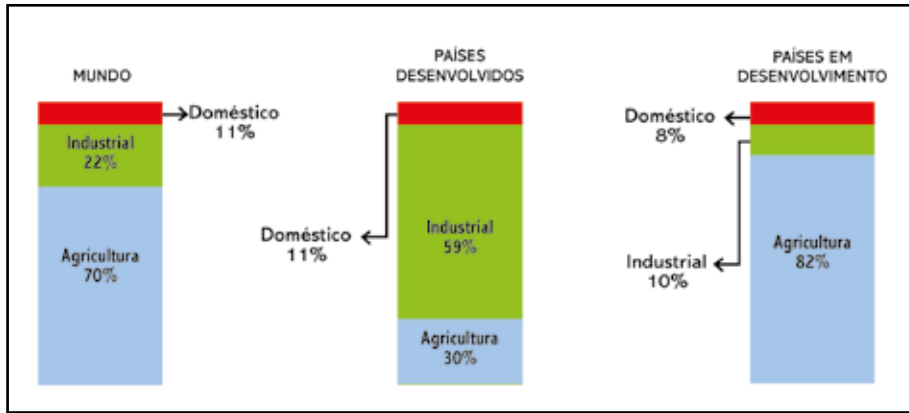
13.2 Prioridades de pesquisa

Nas últimas décadas observam-se avanços importantes na pesquisa em recursos hídricos, mas, de maneira geral, as ações são isoladas e difusas. Ainda existem muitas demandas qualificadas em pesquisa e desenvolvimento que são fundamentais para enfrentar os antigos e os novos desafios e fornecer uma base sólida de conhecimentos indispensáveis para o entendimento integrado da dinâmica da água na bacia hidrográfica.

Atualmente se faz necessária a construção de uma estratégia sustentável que vise à evolução da economia baseada no uso e utilização dos recursos renováveis e apoiada no conceito de cadeia de valor (PORTER, 1985). A estratégia de futuro deve levar em conta os paradigmas da bioeconomia, os quais definem uma abordagem coerente, interdisciplinar e transectorial, visando, portanto, uma economia mais inovadora e de baixo carbono, que concilie as necessidades em termos de agricultura e usos das águas e segurança alimentar e do alimento.

A ciência deve gerar conhecimentos no sentido de garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, sendo necessárias novas pesquisas sobre mecanismos que contribuem para aumentar a oferta hídrica na bacia (OCDE, 2018). Entre esses, os sistemas de conservação do solo, que estão em constante adaptação e evolução, são os que apresentam o maior potencial de contribuição para os recursos hídricos, em termos de sua qualidade e quantidade. Vê-se como prioritário o avanço no conhecimento de mecanismos destinados ao controle da erosão, dessalinização, redução da evaporação e aumento da infiltração e da capacidade de retenção da água no solo.

Figura 1. Quantidade de Água Utilizada por Atividade Econômica.



Adaptado de: WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT, 2003.

Estimativas da FAO (2003) apontam que, entre 2001 e 2025, cerca de 80% da produção adicional de alimento, necessária para atender as demandas, serão provenientes de áreas irrigadas, que são as principais usuárias dos recursos hídricos. Assim, será cada vez mais importante gerar conhecimentos que contribuam para melhorar a eficiência de uso de água na irrigação, reduzir perdas na condução, melhorar o manejo do sistema e a eficiência de uso, desenvolver técnicas de gerenciamento da demanda e desenvolver culturas mais resistentes ao estresse hídrico.

Outro importante aspecto que poderá ser considerado, apesar de seu uso atual ser incipiente, são as águas residuárias. Elas têm grande potencial de uso e poderão se tornar uma importante ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos e de políticas ambientais no Brasil. Há necessidade de avançar, portanto, nas pesquisas relacionadas ao reuso da água no meio rural e aproveitamento de água de chuva. Além disso, é necessário incluir pesquisas para a avaliação e quantificação da poluição difusa, considerando também a contaminação por substâncias tóxicas, metais pesados, fertilizantes etc.

A maior parte dos recursos hídricos ainda continua sendo manejada de maneira fragmentada, desconsiderando relações importantes como aquelas existentes entre as águas subterrâneas e as superficiais. A ciência precisa avançar para entender melhor a dinâmica das águas subterrâneas, ter um melhor conhecimento dos aquíferos, tanto em escala regional quanto local, e sua interação, nos diferentes ambientes, com a água superficial, contribuindo para a gestão integrada dos recursos hídricos.

O efeito das mudanças climáticas no ciclo hidrológico ainda é incerto (OKI; KANAE, 2006). No Brasil, há cenários que projetam mais chuvas em algumas regiões, enquanto outros projetam o oposto. É importante avançar nas pesquisas para compreender melhor o modo de atuação e a magnitude do impacto das mudanças climáticas sobre os processos hidrológicos, bem como os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos nas diferentes regiões do país.

A escassez de chuvas e menor disponibilidade de água para o consumo humano e na agricultura em importantes centros urbanos do país deram impulso às questões de alocação da água. Os processos de tomada de decisão, por outro lado, estão cada vez mais complexos, exigindo decisões mais rápidas e dependendo de análises de quantidade de dados cada vez maiores. Esses fatores aumentam o risco de tomadas de decisão equivocadas. Assim, torna-se importante avançar nas pesquisas relacionadas às tecnologias da informação, da comunicação, de *big-data* (análise e interpretação de grandes volumes de dados de grande variedade) e de modelos de inteligência computacional e simulação que possam viabilizar a emissão de alertas em suporte à decisão.

Adicionalmente, há a necessidade de formalizações de conhecimentos sobre o papel do comportamento humano no uso da água (JURY; VAUX, 2005), ganhando importância a estruturação de programas efetivos de comunicação para o estabelecimento de estratégias abrangentes e integradoras para se enfrentar os vários problemas relacionados ao uso da água. É importante observar que já existem conhecimentos que poderiam ser utilizados de imediato. Os novos avanços científicos prospectados, necessários para manejar o aumento da escassez hídrica e outros problemas emergentes, dependerão fortemente da constituição dessas bases de conhecimentos, de novas tecnologias, de estratégias de manejo e, certamente, de políticas públicas que orientem as interações dos indivíduos com a natureza e em sociedade, incluindo a restauração de áreas produtivas e não produtivas, de conservação de nascentes, tendo em conta que a bioeconomia inclui a biodiversidade e serviços ecossistêmicos em sua base.

13.3 Conclusões

Na construção de um projeto de ciência para o Brasil, é fundamental considerar as desigualdades hídricas regionais e ter um olhar diferenciado para as bacias hidrográficas, nas quais a disponibilidade hídrica já está comprometida, assim como, para aquelas regiões onde há ocorrência de conflitos pelo uso da água. As pesquisas em recursos hídricos devem incorporar uma visão sistêmica do complexo hídrico, em que o curso d'água, em sua qualidade e quantidade, seja reflexo das atividades que ocorram na bacia como um todo. As oportunidades e desafios

de ações de PD&I referentes ao recurso água incluem:

- a) Necessidade da preparação de uma estratégia sustentável que vise à evolução da economia baseada na utilização dos recursos renováveis, com ênfase na água e apoiada no conceito de cadeia de valor. A estratégia de futuro deve levar em conta os paradigmas da bioeconomia, que definem uma abordagem coerente, interdisciplinar e transetorial, visando uma economia inovadora e de baixo carbono que concilie as necessidades da agricultura e os usos das águas e segurança alimentar.
- b) A ciência deve gerar conhecimentos no sentido de garantir o uso sustentável dos recursos hídricos, sendo necessárias mais pesquisas sobre os mecanismos que contribuem para aumentar a oferta hídrica na bacia. Entre esses, os sistemas de conservação do solo e restauração de áreas de recarga, que estão em constante adaptação e evolução, são os que apresentam o maior potencial de contribuir para os recursos hídricos em termos de sua qualidade e quantidade. Vê-se como prioritário o avanço no conhecimento de mecanismos destinados ao controle da erosão, dessalinização, redução da evaporação e aumento da infiltração e da capacidade de retenção da água no solo.
- c) Estimativas da FAO indicam que, de 2001 a 2025, cerca de 80% da produção adicional de alimentos serão provenientes de áreas irrigadas, que são as principais usuárias dos recursos hídricos. Assim, será importante gerar conhecimentos que contribuam para melhorar a eficiência do uso de água na irrigação, reduzir perdas na condução, melhorar o manejo do sistema e a eficiência de uso, desenvolver técnicas de gerenciamento da demanda e desenvolver culturas mais resistentes ao estresse hídrico.
- d) O uso atual incipiente da água, principalmente das águas residuárias, que têm grande potencial de uso e poderão se tornar importante ferramenta para o gerenciamento de recursos hídricos e políticas ambientais. Há necessidade de avançar, portanto, nas pesquisas relacionadas ao reuso da água no meio rural e aproveitamento de água de chuva. Além disso, faz-se necessário incluir pesquisas para a avaliação e quantificação da poluição difusa, considerando também a contaminação por substâncias tóxicas, metais pesados e fertilizantes, entre outros aspectos.
- e) A maior parte dos recursos hídricos ainda continua sendo manejada de maneira fragmentada, desconsiderando-se relações importantes, como aquelas existentes entre as águas subterrâneas e superficiais. A ciência precisa avançar para desvendar a dinâmica das águas subterrâneas, ter um melhor conhecimento dos aquíferos, tanto em escala regional, quanto local, e sua interação, nos diferentes ambientes, com a água superficial, contribuindo para a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.
- f) O efeito das mudanças climáticas no ciclo hidrológico ainda é incerto. No

Brasil, há cenários que projetam mais chuvas em algumas regiões, enquanto outros projetam o oposto. É importante avançar nas pesquisas para compreender melhor como e em que magnitude as mudanças climáticas afetam os processos hidrológicos e os aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, nas diferentes regiões do país.

- g) Torna-se importante avançar nas pesquisas relacionadas às tecnologias da informação, da comunicação, de *big-data* e de modelos de inteligência computacional e simulação que possam viabilizar a emissão de alertas em suporte à decisão no armazenamento, uso, reúso e monitoramento de cursos d'água e de lençóis freáticos.
- h) Há necessidades de formalizações de conhecimentos sobre o papel do comportamento humano no uso da água, ganhando importância a estruturação de programas efetivos de comunicação para o estabelecimento de estratégias abrangentes e integradoras para se enfrentar os vários problemas relacionados ao uso da água. Os novos avanços científicos prospectados, necessários para manejar o aumento da escassez hídrica e outros problemas emergentes, dependerão da constituição dessas bases de conhecimentos, de novas tecnologias, de estratégias de manejo e, certamente, de políticas públicas que orientem as interações dos indivíduos com a natureza e em sociedade.

Deve-se indicar que as limitações e ações, discutidas no simpósio comemorativo do centenário da Academia Brasileira de Ciência (ABC), em abril de 2017, aportaram subsídios às políticas públicas em CT&I relacionadas a água nas áreas da mineração, agricultura e saúde, destacando-se prioritariamente:

- a) Limitações dos padrões de monitoramento da qualidade microbiológica da água; a relação entre o regime hídrico e doenças de veiculação hídrica; a falta de estudos sobre vírus entéricos na água; as limitações para o monitoramento de patógenos emergentes na água e as possíveis soluções.
- b) Necessidade de desenvolvimento e/ou validação de protocolos e procedimentos para valoração e/ou, pagamento de serviços ecossistêmicos;
- c) Falta de organização e manutenção de programas de PD&I de longo prazo em bacias hidrográficas experimentais.
- d) As ações prioritárias e os desafios a enfrentar, indicam que a ciência para a água deve ser feita com políticas de Estado e não de governo. Devem ser conduzidas de maneira integrada, sem perder de vista as demandas atuais da sociedade e a segurança hídrica para a população.

Referências bibliográficas

- CONJUNTURA dos recursos hídricos no Brasil: 2013. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2013. 432 p.
- FAO. Water for sustainable food production, poverty alleviation and rural development, In: **Unlocking the Water Potential of Agriculture**, Chapter 2, pp. 7-17, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2003. Disponível em: ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/unlocking_e.pdf Acesso em: 26 nov. 2016.
- JURY W. A., VAUX JR. H. The role of science in solving the world's emerging water problems, In: **Proceedings** of the National Academy of Science of the United States of America (PNAS), Vol. 102, No. 44, pp.15715–15720, 2005.
- OCDE. Water Security for Better Lives, **OECD Studies on Water**, OECD Publishing, 2013. Disponível em: <http://doi.org/10.1787/9789264202405-en>. Acesso em: 23 ago. 2018.
- OKI T, KANAE S. Global Hydrological Cycles and World Water Resources. **Science**, August, v. 313, pp. 1068-1072, 2006.
- PORTER, M. E. **The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. NY: Free Press, 1985.
- XEVI, E.; KHAN, S. A multi-objective optimisation approach to water management. **Journal of Environmental Management**. v.77, n.4, p.269–277, dez. 2005.
- UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, Brasília, DF, 2013.
- WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT. **Water for people, water for life**. Paris: UNESCO, 2003. 576 p.

14

RECURSO SOLOS: Manejo sustentável do solo na agricultura

Luiz Roberto Guimarães Guilherme¹
Alfredo Scheid Lopes¹
José Oswaldo Siqueira²

14.1 Agricultura, segurança alimentar e mudanças climáticas

O Brasil possui reconhecida liderança mundial em se tratando dos “4 Fs” (*Food, Feed, Fuel e Fiber*), sendo o país um líder na produção de alimentos, energias renováveis e fibras. Ademais, a agricultura, além de garantir a segurança alimentar da população brasileira, e de boa parcela da população mundial, também gera empregos, renda e boa qualidade de vida aos produtores e consumidores. Em valores financeiros (CEPEA, 2015), o PIB do agronegócio brasileiro atingiu o valor total de cerca de 1,281 trilhões de reais, sendo 152 bilhões relativos ao setor de insumos (12%), 383 bilhões derivados da atividade agropecuária em si (30%), 352 bilhões relacionados ao setor industrial (27%) e 394 bilhões vinculados ao setor de serviços (31%). O agronegócio contribuiu também com 46% do valor total das exportações do país em 2015 e de 2016 e das exportações da Agricultura em 2016.

O Brasil só é superado pelos EUA como maior exportador mundial de produtos da agricultura. Porém, indicadores da FAO (2015) Statistical Yearbook 2015

¹ Professores, Departamento de Ciência do Solo, UFLA.

² Instituto Tecnológico Vale, Desenvolvimento Sustentável, Belém.PA.

revelam que, quando se leva em consideração o saldo de “exportações menos importações” de alimentos, o Brasil é o país que apresenta o maior saldo positivo em valores financeiros. Embora esse saldo seja bastante positivo, vale ressaltar um aspecto preocupante relacionado ao balanço de pagamentos do setor agrícola brasileiro, o qual está relacionado à grande dependência de importação de fertilizantes, cerca de 75% dos fertilizantes. Sendo uma importação 60% menos que o seu consumo e mais que 95% para fosfatados e potássicos, segundo dados da ANDA, 2016. Esse aspecto é relevante, dadas as peculiaridades dos solos tropicais, que possuem baixa fertilidade e requerem correções frequentes para a produção sustentável, como indicado a seguir.

A 21ª Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), no seu documento-base assinado em dezembro de 2015, em Paris (PARIS AGREEMENT, 2015), reconhece a prioridade fundamental de garantir a segurança alimentar e acabar com a fome mundial, bem como a vulnerabilidade particular dos sistemas de produção de alimentos aos impactos adversos derivados das mudanças climáticas. A COP-21 reconhece que a agricultura é um dos setores mais afetados pelo clima extremo, mas ressalta que essa atividade também é responsável por 24% das emissões de gases de efeito estufa que causam a mudança climática, propondo que ações de combate às mudanças climáticas devam ser tomadas para não comprometer a produção de alimentos e a segurança alimentar.

No tocante à agricultura, essas ações foram sumarizadas no documento intitulado *Global Agricultural Transition Under Way to Boost Resilience to Climate Change and Reduce Emissions* da Agenda de Ações Lima-Paris ou LPAA (LIMA-PARIS ACTION AGENDA, s.d.) e tratam de iniciativas que se concentram em quatro áreas-chave:

- (i) solos na agricultura;
- (ii) pecuária;
- (iii) perdas de alimentos e
- (iv) métodos de produção sustentáveis e que proporcionem resiliência aos agricultores.

Algumas dessas iniciativas serão tratadas na parte final desta seção. Assim, o manejo adequado do solo foi considerado um fator chave na garantia da segurança alimentar, ao mesmo tempo em que pode ter papel relevante para frear os impactos indesejáveis das mudanças climáticas.

14.2 Importância do solo nos ecossistemas

O solo – o meio principal para o crescimento das plantas – é uma camada de material biologicamente ativo, resultante de transformações complexas que envolvem o intemperismo de rochas e minerais, a ciclagem de nutrientes e a produção e decomposição de biomassa. Uma boa condição de funcionamento do solo é fundamental para assegurar a capacidade produtiva dos agroecossistemas, garantindo assim, não somente a segurança alimentar, mas também a produção de fibras e energia renovável. Uma boa qualidade do solo é importante também para a preservação de outros serviços ambientais essenciais, incluindo o fluxo e a qualidade da água, a biodiversidade e o equilíbrio de gases atmosféricos. Dessa forma, visando preservar essa qualidade – e, conseqüentemente, a resiliência dos sistemas produtivos –, há que se manejar adequadamente os solos dos agroecossistemas.

A presença de nutrientes é um dos aspectos fundamentais que garantem a boa qualidade dos solos e o seu bom uso e manejo, principalmente no caso dos agroecossistemas. Em ecossistemas nativos, a ciclagem natural de nutrientes é a grande responsável pela manutenção do bom funcionamento do solo e do ecossistema como um todo. Essa ciclagem é fundamental para manter o estoque de nutrientes nos ecossistemas naturais, evitando a perda da sua fertilidade natural. O relatório do biênio 2000–2001 do WORLD RESOURCES INSTITUTE (2000) revela que os agroecossistemas cobrem mais de um quarto da área global da terra e que quase três quartos deles apresentam baixa fertilidade de solos, o que, aliado a condições de relevo íngreme, pode afetar sobremaneira a produção agrícola. Mas, o que vem a ser um solo fértil? Todo solo fértil é necessariamente produtivo? O que pode fazer com que os solos possuam baixa fertilidade e, conseqüentemente, baixa capacidade produtiva?

14.3 Solo fértil e solo produtivo

As duas primeiras perguntas podem ser respondidas por meio de uma das definições do que venha a ser um solo produtivo: o solo fértil que contém os nutrientes essenciais em quantidades adequadas e balanceadas para o normal crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas e que apresentam ainda boas características físicas e biológicas, está livre de elementos tóxicos e encontra-se em local de clima favorável. Portanto, um solo pode ser fértil, sem necessariamente ser produtivo. Note-se ainda que a fertilidade do solo pode advir de causas naturais ou ser criada pela adição de nutrientes aos solos durante o cultivo.

Um ponto importante a ser considerado com relação à fertilidade do solo e que tenta responder à última das três perguntas anteriores é que muitos solos não são naturalmente férteis (esse é o caso dos solos sob Cerrados no Brasil, em LOPES et al., 2016) e que mesmo aqueles férteis podem, sob condições de manejo inadequado, transformar-se em solos de baixa fertilidade. Depreende-se que as causas da baixa fertilidade dos solos podem ser tanto naturais quanto antrópicas (decorrentes do manejo inadequado do solo pelo homem).

Um estudo do World Resources Institute mostra que, entre os aspectos adversos ligados à baixa fertilidade dos solos no mundo, a alta acidez (frequentemente associada à toxidez por alumínio) e as baixas reservas de potássio merecem destaque (WOOD et al., 2001). No caso específico das regiões tropical e subtropical, sub-úmida e úmida – caso do Brasil –, além desses aspectos, também a alta capacidade de fixação de fósforo é um importante fator determinante da baixa fertilidade dos solos. Este cenário é desafiador, diante da nossa grande dependência atual de importação de fertilizantes.

14.4 Desafio da baixa fertilidade dos solos tropicais

Conforme enfatizado, a baixa fertilidade dos solos pode ter causas naturais ou antrópicas. Como causas naturais, destaca-se que a gênese do solo e o intemperismo são os principais fatores causadores da baixa fertilidade, particularmente em grande parte das regiões tropicais e subtropicais, onde a remoção de nutrientes do solo é mais acelerada, em razão das condições de altas temperaturas e precipitações pluviais. O fato de o Brasil possuir grandes extensões de terra com problemas e fertilidade relacionados com a alta acidez e toxidez por alumínio, além de alta capacidade de fixação de fósforo, é, em grande parte, consequência de sua localização na região tropical.

Além das causas naturais, também aquelas antrópicas, provocadas pelo manejo inadequado do solo, podem ser causadoras da baixa fertilidade dos solos. Uma dessas causas antrópicas é a exaustão de nutrientes do solo provocada pelas retiradas pelas culturas, maiores do que as adições via adubação. Isso pode levar até mesmo solos anteriormente considerados férteis a tornarem-se não férteis, tendo, assim, sua capacidade produtiva prejudicada. Levantamento pioneiro realizado no início da década de 1990 pelo International Soil Reference and Information Centre estimou que cerca de 240 milhões de hectares de solos no mundo (área equivalente à região dos cerrados brasileiros) estavam comprometidos no que diz respeito à sua integridade química, o que está ligado, entre outros fatores, à deficiência de nutrientes.

Um ponto importante a considerar quando se trata de baixa fertilidade provocada por causas naturais ou até mesmo por exaustão do solo é que as duas primeiras causas podem ser corrigidas facilmente, mediante a correção da acidez e reposição de nutrientes via uso de calcário, gesso agrícola e adubação mineral e orgânica, bastando, para isso, que o agricultor faça uso da análise de solo e de planta (análise das folhas ou do produto colhido) para diagnosticar possíveis problemas ligados à fertilidade do seu solo. Vale ressaltar que o esforço de cerca de 50 anos de pesquisa agropecuária adaptada aos solos dos trópicos permitiu que o Brasil pudesse encontrar tecnologias altamente eficientes para contornar esses problemas de baixa fertilidade de solos.

Um problema maior ligado às causas não naturais de queda da fertilidade do solo está relacionado à erosão. A erosão é a maior causa de degradação de solos no mundo, e tem consequências, às vezes, permanentes, sobre a fertilidade dos solos. A exaustão de nutrientes dos solos também é causa de erosão, visto que reduz a cobertura vegetal e, com isso, a resistência do solo à erosão. O pior aspecto da queda de fertilidade do solo causada pela erosão é que, ao contrário da exaustão causada por extração de nutrientes em taxa maior que a reposição ou a baixa fertilidade por causas naturais, as quais podem ser recuperadas de maneira simples, a erosão resulta, algumas vezes, em degradação de difícil recuperação ou até mesmo em dano irreparável à capacidade produtiva do solo.

14.5 Matéria orgânica do solo *versus* resiliência dos agroecossistemas

Um dos piores aspectos da erosão, que afeta grandemente a fertilidade dos solos, é a perda da matéria orgânica do solo (MOS). Também práticas de manejo inadequadas, como, por exemplo, a adoção do cultivo intensivo, em vez do cultivo mínimo ou do plantio direto, pode levar à queda rápida do teor de matéria orgânica do solo. Isso é particularmente relevante em solos altamente intemperizados, localizados na região tropical, extensas áreas do Brasil. A MOS pode ser considerada o indicador mais simples e entre os mais importantes para se medir a qualidade do solo e, conseqüentemente, dos agroecossistemas. Alguns efeitos benéficos que a MOS proporciona são:

- a) Estabiliza e agrega partículas de solo, reduzindo a erosão;
- b) Provê carbono e energia para os microrganismos do solo;
- c) Melhora o armazenamento e o fluxo de água e de ar no solo;
- d) Armazena e provê nutrientes, como o nitrogênio, o fósforo e o enxofre;
- e) Mantém o solo menos compactado e mais fácil de trabalhar;
- f) Retém carbono da atmosfera e de outras fontes;

- g) Retém nutrientes como cálcio, magnésio e potássio, pois aumenta a capacidade de troca de cátions do solo e
- h) Serve para reduzir possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo.

No contexto principal da Agenda de Ações Lima-Paris, discutida na COP-21, foram sugeridas seis iniciativas que visam dar suporte aos agricultores no seu papel de garantir segurança alimentar e mitigar impactos sobre o clima. Entre essas, destacamos duas que possuem implicação direta com a questão de preservação de matéria orgânica (isto é, retenção de carbono) nos agroecossistemas, quais sejam: (i) a *4/1000 Initiative: Soils for Food Security and Climate*; e, (ii) a *Live Beef Carbon*.

A “Iniciativa 4/1000” mostra que um pequeno aumento de 4/1000 (0,4%) por ano do estoque de carbono do solo (solos agrícolas, notadamente campos, pastagens e solos florestais) é uma grande alavanca para melhorar a fertilidade do solo e a resiliência dos sistemas de produção agrícola, contribuindo para o objetivo de longo prazo de manter o aumento da temperatura média global abaixo de 2 graus. No Brasil, essa iniciativa é amplamente contemplada pelo sistema plantio direto (SPD) – que vem crescendo, sobremaneira, ultrapassando os 30 milhões de hectares, atualmente –, bem como pela implantação dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que deverão cobrir cerca de 20 milhões de hectares no Brasil até 2030. Ambos os sistemas – SPD e ILPF – são, comprovadamente, capazes de assegurar aportes de carbono ao solo em quantidades superiores ao pretendido pela iniciativa 4/1000 (0,4%).

A segunda iniciativa visa promover sistemas pecuários inovadores – e suas práticas associadas – de forma a garantir a sustentabilidade técnica, econômica, ambiental e social da pecuária de corte, reduzindo, assim, a contribuição do setor para as emissões de gases de efeito estufa, ou seja, para reduzir a pegada de carbono na pecuária brasileira. Também nesse caso, ressalta-se que, a partir de 2010, o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) vem estimulando a implantação da iniciativa “Carne Carbono Neutro”, um novo conceito para a carne sustentável produzida nos trópicos, por meio, principalmente, da adoção dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

Portanto, o solo funciona como um compartimento ambiental primário que suporta a agricultura e, conseqüentemente, a sobrevivência do ser humano na face da terra. Manter e aumentar o teor de MOS são condições primordiais para evitar a diminuição da fertilidade dos solos e para garantir sua qualidade e seu funcionamento e agroecossistemas produtivos. Somente dessa maneira, e com o envolvimento de todas as partes interessadas trabalhando de maneira conjunta,

é que se poderá construir e consolidar no Brasil sistemas agrícolas e de produção de alimentos que sejam cada vez mais resilientes e de baixo carbono. Dessa forma, se continuará contribuindo para garantir a produção de alimentos para a população mundial, assegurando-se ao país o papel de líder global em sustentabilidade agrícola.

Temos um desafio futuro antevisto pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) de o Brasil ser capaz de produzir 40% do alimento mundial no ano de 2050. Isso somente será possível se o país for competente para conciliar produtividade com resiliência nos sistemas produtivos. As tecnologias para o aumento da resiliência dos solos brasileiros são amplamente conhecidas e disponíveis, porém, a pesquisa agrícola brasileira precisa continuar evoluindo para gerar informações e conhecimentos inovadores que promovam uma eficiência cada vez maior de uso dos nutrientes adicionados via práticas de correção e adubação. Ao mesmo tempo, temos que buscar fontes alternativas de nutrientes (por exemplo, subprodutos de atividades agropecuárias e urbanas/industriais) para os diferentes sistemas de produção agrícola existentes no país, priorizando aqueles sistemas que permitam produtividades máximas, com maximização da eficiência das adubações e do uso de nutrientes. Além disso, aspectos ligados à qualidade de produtos agrícolas utilizados como fonte de alimento – por exemplo, valor nutricional e inocuidade, componentes esses igualmente fundamentais para a segurança alimentar – também devem ser priorizados nos sistemas de produção agrícolas.

Obviamente, para que ocorra a inovação na produção agrícola, devem ocorrer investimentos governamentais em pesquisa e desenvolvimento. O suporte público no Brasil ainda está muito aquém daquele apresentado por seus principais competidores no comércio agrícola mundial. Segundo dados da FAO (2013), *Statistical Yearbook*, menos de 1% do PIB agrícola brasileiro foi investido em pesquisa agrícola de 2006 a 2010, enquanto alguns dos países concorrentes mais diretos em exportações agrícolas (EUA, Alemanha, Holanda e França) investiram mais de 3% do seu PIB agrícola em pesquisas, com foco na agricultura e nos seus produtos.

Se forem observados os valores do PIB agropecuário apresentados no início deste texto, e tomando-se como exemplo apenas o valor de R\$ 383 bilhões derivados da atividade agropecuária em si, caso se queira manter o país em pé de igualdade com os concorrentes nas exportações agrícolas mundiais, o investimento deveria atingir cerca de R\$ 11,5 bilhões/ano para pesquisa, desenvolvimento e inovação na agricultura brasileira. Isso demandaria um esforço conjunto e articulado de agências de fomento federais e estaduais, que deveriam trabalhar em estreita parceria com os diferentes segmentos do PIB agropecuário (insumos, agropecuária, indústria e serviços), para que a vocação do Brasil como grande *player* mundial em segurança alimentar seja efetivamente estimulada.

Vale também ressaltar que todas as tecnologias – atuais e futuras – precisam chegar até os agricultores, ou seja, sua efetiva implementação requer um sistema eficiente de extensão rural, o que hoje, no Brasil, funciona de maneira precária. Isso, aliado ao gargalo de infraestrutura, são fatores limitantes adicionais que também precisam ser urgentemente equacionados em prol da sustentabilidade da agricultura no país. Essas questões, entretanto, extrapolam o objetivo desse texto e devem ser objeto de discussão nos fóruns pertinentes.

14.6 Conclusões

O Brasil é um líder na produção de alimentos, energias renováveis e fibras, com uso sustentável do recurso solos agrícolas. Isso porque a agricultura, tendo por base os solos agrícolas, além de garantir a segurança alimentar, também gera empregos, renda e boa qualidade de vida aos produtores e consumidores. As oportunidades e desafios para ações de PD&I em termos de solos agrícolas incluem:

- a) Monitorar o uso dos solos para a sua sustentabilidade, pois, em geral os solos agrícolas, e mesmo aqueles férteis, podem, sob condições de manejo inadequado, transformar-se em solos de baixa fertilidade. Depreende-se que as causas da baixa fertilidade dos solos pode ser tanto naturais quanto antrópicas (decorrentes do manejo inadequado do solo pelo homem).
- b) Gerar informações e conhecimentos inovadores que promovam uma eficiência cada vez maior no uso dos nutrientes adicionados via práticas de correção dos solos e adubação. É preciso buscar fontes alternativas de nutrientes, subprodutos de atividades agropecuárias e urbanas/industriais, para os diferentes sistemas de produção agrícola, priorizando aqueles sistemas que permitam produtividades máximas com maximização da eficiência das adubações e do uso de nutrientes.
- c) Dada a baixa fertilidade dos solos tropicais brasileiros, há uma grande dependência de importação de fertilizantes, para cerca de 75% dos produtos, em geral; sendo menor (60%) para fosfatados e maior (95%) para potássicos, segundo dados da ANDA. Portanto, há desafios a enfrentar em termos de manejo adequado na fertilização dos solos, com vista a evitar mineralização, salinização e contaminação dos lençóis freáticos. Por outro lado, o manejo adequado do solo é considerado um fator chave na garantia da segurança alimentar, ao mesmo tempo em que tem papel relevante para frear os impactos indesejáveis das mudanças climáticas, devido ao gases de efeito estufa gerados por atividades agropecuárias.

- d) Um dos piores aspectos da erosão, que afeta grandemente a fertilidade dos solos brasileiros, é a perda de matéria orgânica do solo. Também práticas de manejo inadequadas, como, por exemplo, a adoção do cultivo intensivo, em vez do cultivo mínimo ou do plantio direto, pode levar à queda rápida do teor de matéria orgânica (MOS) dos solos. Isso é particularmente relevante em solos altamente intemperizados em extensas áreas do Brasil. A MOS pode ser considerada o indicador mais simples e entre os mais importantes para se medir a qualidade do solo e, conseqüentemente, dos agroecossistemas.
- e) Um dos maiores desafios em manejo dos solos brasileiros tem sido conciliar a manutenção das produtividades agropecuárias com a resiliência dos sistemas produtivos vegetais e animais. O País possui grandes extensões de terra com problemas e fertilidade relacionados com a alta acidez e toxidez por alumínio nos solos, além de alta capacidade de fixação de fósforo, requerendo medidas específicas de manejo para cada classe de solo.
- f) Por último, mas não menos importante, as tecnologias – atuais e futuras – precisam chegar até os agricultores, ou seja, sua efetiva implementação requer um sistema eficiente de extensão rural, o que hoje, no Brasil, funciona de maneira precária. Isso, aliado ao gargalo de infraestrutura, são fatores limitantes adicionais que também precisam ser urgentemente equacionados em prol da sustentabilidade dos solos e da agricultura no país. Entretanto, essas questões, entretanto, extrapolam o objetivo desse texto e devem ser objeto de discussão nos fóruns pertinentes.

Referências bibliográficas

- ANDA, Associação Nacional para Difusão de Adubos. **2016**. Disponível em: <www.anda.org.br>. Acesso em: 10 jul.18.
- CEPEA. 2015. Disponível em: <www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Pib_Cepea_1994_2015_V2.xlsx>. Acesso em: 15 de ago. 2018.
- FAO. **Statistical Yearbook 2013**. Disponível em: <www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF>. Acesso em: 8 jul.18.
- _____. **Statistical Yearbook 2015**. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>>. Acesso em: 10 jul.18.
- LIMA-PARIS ACTION AGENDA, s.d. newsroom.unfccc.int/lpaa/agriculture/press-release-lpaa-focus-agriculture-at-cop21/#downloads
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Adv. Agron.** 137, 1-72. 2016.
- PARIS AGREEMENT, 2001. Disponível em: <unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_english_.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2018.

- UN, 2015. **Climate Press Release: LPAA Focus Agriculture at COP21**. Disponível em: <www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/0balancacomercial/SERIE%20HISTORICA%20BCA%20RESUMIDA%201997-2016.xls>. Acesso em: 15/7/18.
- WOOD, S.; SEBASTIAN, K.; SCHERR, S. Soil resource condition. In: **Pilot analysis of global ecosystems: Agroecosystems**. A joint study by the International Food Policy Research Institute and World Resources Institute. Washington DC: International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, 2001. p. 45-54.
- World Resources Institute, 2000. WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **World resources 2000–2001: people and ecosystems: The fraying web of life**. Washington, DC, United Nations Development Programme, United Nations Environment Programme, World Bank, World Resources Institute, 2000. 400p.

15

RECURSO FLORESTAIS

Dario Grattapaglia¹
Acelino C. Alfenas²
Jorge Colodette³
Gabriel D. Resende⁴
Niro Higuchi⁵

15.1 Características gerais

O Brasil é indiscutivelmente um dos países com a maior vocação florestal do planeta. Possui alguns dos mais extensos e diversos ecossistemas florestais naturais do mundo e é líder em produtividade de florestas plantadas, suprindo biomassa florestal de forma sustentável para as mais variadas aplicações nas indústrias e comunidades rurais. Dos 851 Mha (milhões de hectares) do território nacional, 517 Mha (61%) são cobertos por florestas naturais e apenas 7,8 Mha, 0,9% do território, por florestas plantadas (IBA, 2016). O Brasil implanta proporcionalmente muito menos florestas do que vários outros países como os EUA (26 Mha; 2,7% do território), China (78 Mha; 8,4 %) e Japão (10.3 Mha; 28%) (FAO, 2016), o que representa um grande desafio e oportunidade para o crescimento da participação brasileira no mercado florestal mundial. No contexto de um projeto de Ciências Agrárias para o país, são brevemente destacadas a seguir as principais prioridades de uma agenda futura de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, visando potencializar o papel do Brasil no cenário florestal mundial.

1 Pesquisador Científico da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.

2 Professor Titular, Departamento de Fitopatologia – UFV.

3 Professor Titular, Departamento de Engenharia Florestal – UFV.

4 Gerente Geral de Tecnologia e Inovação Florestal, Fibria Celulose S. A.

5 Pesquisador Científico do Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia.

15.2 Florestas naturais

As oportunidades de PD&I para as florestas naturais incluem:

- a) Revisão dos planos de manejo e ciclos de corte determinados em lei com base em estudos científicos da sustentabilidade das diferentes espécies nos respectivos biomas;
- b) Desenvolvimento de tecnologias de processamento da madeira e produtos florestais visando o aumento da taxa de rendimento de toras;
- c) Intensificação na utilização de tecnologia de informação, georreferenciamento e VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) no monitoramento e inventário das áreas de exploração florestal;
- d) Desenvolvimento e aplicações da genética molecular na identificação, rastreabilidade e certificação de madeira de espécies nativas.

Além disso – e, possivelmente, mais importante – um novo paradigma de desenvolvimento deverá ser buscado para as Florestas Amazônicas além da tentativa de reconciliação entre máxima conservação e intensificação de agricultura (NOBRE et al., 2016). Pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e tecnologias de alto valor agregado deverão ser intensificados a partir dos ativos existentes na biodiversidade da floresta com o emprego de avançadas tecnologias digitais, bio e nanotecnologias da “quarta revolução industrial”, em andamento no mundo.

15.3 Florestas plantadas

Com um total de apenas 278 milhões de hectares de florestas plantadas no mundo (PAYN et al., 2015), as previsões para os próximos 20 anos da FAO são de necessidade de crescimento massivo e acelerado da área de florestas plantadas para atender a demanda crescente por produtos florestais, atuais e futuros, e bioenergia. Além disso, o papel das florestas plantadas tem sido cada vez mais reconhecido no sequestro de carbono, na recuperação de áreas degradadas e na contribuição para outros serviços ecossistêmicos e ambientais como a manutenção do ciclo hidrológico e a conservação de solos.

O Brasil terá papel central no crescimento da área de florestas plantadas no mundo, com perspectivas de triplicar a sua área para mais de 20 milhões de hectares nos próximos 20 anos. O Brasil conta com mais de 60 milhões de hectares de pastos abandonados, mal manejados ou degradados que podem ser convertidos em culturas agrícolas para a produção de alimentos e florestas para a produção de fibra e biomassa lenhosa, com mínimo impacto ambiental (ALKIMIM; SPA-

ROVEK; CLARKE, 2015). Essa expansão florestal se dará principalmente em novas fronteiras agroflorestais sujeitas a maiores estresses abióticos, como secas e geadas, e pressão biótica de pragas e patógenos, potencializadas pelo efeito crescente de eventos climáticos extremos. Ações fortes e coordenadas de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico serão necessárias em silvicultura, manejo, proteção, genética e biotecnologia florestal visando ao desenvolvimento e à utilização de novos materiais genéticos com amplo espectro de adaptação e propriedades da madeira para a obtenção de novos produtos florestais de alto valor agregado. Isto porque o mercado de madeiras tropicais está a beira do colapso como indicado por HUGUCHIN et al. (2006). As prioridades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para atender a esses novos desafios envolvem:

- a) Introdução, caracterização, conservação e avaliação em campo de nova variabilidade genética das espécies utilizadas em plantios florestais visando a identificação de fontes de tolerância a estresses abióticos e resistência a pragas e patógenos de relevância florestal presente e potencial futuro;
- b) Estabelecimento de uma plataforma de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies arbóreas nativas de alto potencial econômico envolvendo coleta de germoplasma, domesticação, melhoramento genético, genômica e novas estratégias silviculturais, visando o estabelecimento de florestas plantadas de espécies nativas para diferentes produtos florestais além de madeira;
- c) Desenvolvimento de novas tecnologias silviculturais para otimização conjunta de produtividade e sustentabilidade das plantações florestais, envolvendo nutrição mineral, uso da água, mecanização, manejo da mata-competição, tecnologias de propagação vegetativa, inventário e monitoramento florestal com VANTs, em paralelo à otimização e inovação contínua de sistemas integrados lavoura pecuária floresta (ILPF);
- d) Intensificação da pesquisa para o desenvolvimento de técnicas avançadas de diagnose (análise de DNA, sorologia e nanotecnologia), epidemiologia e controle de doenças, estabelecimento de coleções e caracterização genética e fisiológica de patógenos e pragas florestais, paralelamente ao desenvolvimento de práticas de manejo integrado com ênfase no controle biológico de pragas e desenvolvimento de materiais genéticos resistentes a doenças;
- e) Modernização das estratégias e práticas de melhoramento genético florestal visando produtividade e qualidade de produtos, eficiência no uso de recursos naturais e principalmente resistência a doenças com a integração de tecnologias de seleção genômica, modificação genética via transgenia e edição gênica sempre atendendo aos requisitos de biossegurança.
- f) Avanço na pesquisa e desenvolvimento no uso da madeira como matéria-prima para a produção de compostos de alto valor agregado e combustíveis de aviação, em substituição a fontes fósseis. Exemplos incluem o uso da lignina na fabricação de fibras de carbono, resinas, PET (poli-etilertefitalato);

da celulose na produção de nanoceluloses e das hemiceluloses como fonte de aditivos e produtos químicos.

- g) Mapeamento de potencialidades – onde plantar –, considerando-se a melhor relação custo-benefício e a conservação da biodiversidade e de serviços.

15.4 Conclusões

Florestas naturais. As oportunidades e desafios para ações de PD&I no âmbito da produção das florestas naturais incluem:

- a) Revisão dos planos de manejo e ciclos de corte determinados em lei com base em estudos científicos da sustentabilidade das diferentes espécies nos respectivos biomas;
- b) Desenvolvimento de tecnologias de processamento da madeira e produtos florestais visando o aumento da taxa de rendimento de toras;
- c) Intensificação na utilização de tecnologia de informação, georreferenciamento e VANTs (Veículos Aéreos não Tripulados) no monitoramento e inventário das áreas de exploração florestal;
- d) Desenvolvimento e aplicações da genética molecular na identificação, rastreabilidade e certificação de madeira de espécies nativas;
- e) Busca de um novo paradigma de desenvolvimento para as Florestas Amazônicas, além da tentativa de reconciliação entre máxima conservação e intensificação de agricultura. Pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e tecnologias de alto valor agregado deverão ser intensificados a partir dos ativos existentes na biodiversidade da floresta com o emprego de avançadas tecnologias digitais, bio e nanotecnologias, da “quarta revolução industrial” em andamento no mundo.

Florestas plantadas. As oportunidades e desafios para ações de PD&I incluem:

- a) Ações coordenadas de pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico em silvicultura, manejo, proteção, genética e biotecnologia florestal, visando ao desenvolvimento e à utilização de novos materiais genéticos com amplo espectro de adaptação e de propriedades da madeira para a obtenção de novos produtos florestais de alto valor agregado;
- b) Introdução, caracterização, conservação e avaliação em campo de novas variabilidades genéticas das espécies já utilizadas em plantios florestais para identificação de fontes de tolerância a estresses abióticos e resistência a pragas e patógenos de relevância florestal. Incluindo os aspectos referentes sobre o mapeamento das potencialidades, para se definir onde plantar, considerando a melhor relação custo-benefício e claro a conservação da biodiversidade e serviços ecossistêmicos

- c) Estabelecimento de plataforma de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies arbóreas nativas de alto potencial econômico envolvendo coleta de germoplasma, domesticação, melhoramento genético, genômica e novas estratégias silviculturais, com o estabelecimento de florestas plantadas de espécies nativas para diferentes produtos florestais;
- d) Desenvolvimento de novas tecnologias silviculturais para otimização conjunta de produtividade e sustentabilidade das plantações florestais, envolvendo nutrição mineral, uso da água, mecanização, manejo da mata-competição, tecnologias de propagação vegetativa, inventário e monitoramento florestal com VANTs, em paralelo à otimização e inovação contínua de sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta (ILPF);
- e) Intensificação da pesquisa para o desenvolvimento de técnicas avançadas de diagnose (análise de DNA, sorologia e nanotecnologia), epidemiologia e controle de doenças, estabelecimento de coleções e caracterização genética e fisiológica de patógenos e pragas florestais, com o desenvolvimento de práticas de manejo integrado com ênfase no controle biológico de pragas e desenvolvimento de materiais genéticos resistentes a doenças;
- f) Modernização das estratégias e práticas de melhoramento genético florestal visando à produtividade e à qualidade de produtos, eficiência no uso de recursos naturais e, principalmente, resistência a doenças, com a integração de tecnologias de seleção genômica, modificação genética via transgenia e edição gênica, sempre atendendo aos requisitos de biossegurança;
- g) Avanço na pesquisa e desenvolvimento no uso da madeira como matéria-prima para a produção de compostos de alto valor agregado e combustíveis de aviação em substituição a fontes fósseis. Exemplos incluem o uso da lignina na fabricação de fibras de carbono, resinas, PET (poli-etilitereftalato), da celulose na produção e de nanoceluloses, das hemiceluloses como fonte de aditivos e produtos químicos.

Referências bibliográficas

- ALKIMIM, A.; SPAROVEK, G.; CLARKE, K.C. Converting Brazil's pastures to cropland: An alternative way to meet sugarcane demand and to spare forestlands. **Applied Geography**, 62:75-84, 2015.
- IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual da IBÁ**. São Paulo: IBÁ, 2016.
- FAO: **Global Forest Resources Assessment 2015 – How are the world's forests changing?** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.
- HIGUCHIN, SANTOS J, TEIXEIRA LM, LIMA AJN: O mercado internacional

de madeira tropical está à beira do colapso. **SBPN Scientific Journal**, 2006, 1(2):33-41.

NOBRE, C.A.; SAMPAIO, G.; BORMA, L.S.; CASTILLA-RUBIO, J.C.; SILVA, J.S.; CARDOSO, M.: Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 113(39):10759-10768, 2016.

PAYN, T.; CARNUS, J-M.; FREER-SMITH, P.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L.N.; WINGFIELD, M.J. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, 352:57-67, 2015.

16

AQUICULTURA

Ronald Kennedy Luz¹
Eric Arthur Bastos Routledge²

16.1 Características gerais

As oportunidades e desafios do crescimento da aquicultura brasileira nos últimos anos incluem a predominância de clima tropical, a disponibilidade de imensa rede hídrica com águas represadas em barragens de hidroelétricas, o aumento da demanda por pescado e a estruturação do setor produtivo – seja por meio de empresas privadas, seja por organizações produtivas como cooperativas e associações, tendo-se em conta a enorme biodiversidade de peixes e organismos aquáticos cujo potencial deveria ser conhecido e explorado.

A produção nacional cresceu cerca de 123% entre 2005 e 2015. Dados do IBGE (2016) mostram que a piscicultura de água doce é o segmento que mais se destaca, sendo a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e o tambaqui (*Colossoma macropomum*) as principais espécies cultivadas, representando 62% de todo o pescado cultivado no país. Na maricultura (cultivo de organismos que se desenvolvem total ou parcialmente em ambiente de água salgada ou salobra), o camarão branco do Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) e os moluscos bivalves (principalmente a ostra ja-

1 Professor do Laboratório de Aquicultura da UFMG.

2 Pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura.

ponesa *Crassostrea gigas* e o mexilhão *Perna perna*) são os mais representativos, com fazendas de produção concentradas nas regiões Nordeste e Sul, respectivamente.

O crescimento da aquicultura nacional está se sustentando no cultivo de tilápia com a utilização de aeradores que permitem maior densidade de estocagem em tanques escavados ou o cultivo em sistemas intensivos de tanques-rede. A utilização de peixes com genética superior que apresentam maior crescimento, melhor conversão alimentar e rendimento de filé são características fundamentais para viabilidade da atividade. Assim, o cultivo de tilápia se tornou uma plataforma que está permitindo a profissionalização do setor, enquanto cria condições para a adaptação de tecnologias para cultivo de espécies nativas de potencial zootécnico.

16.2 Oportunidades e desafios de PD&I

Contudo, os aquicultores ainda enfrentam desafios. O maior deles está relacionado ao licenciamento ambiental do empreendimento. Para que o país cresça em produtividade, é necessário, e urgente, a simplificação do licenciamento ambiental, associada à aplicação da isonomia da política de incentivos, a partir da isenção da cobrança de PIS/CONFINS nas rações, como ocorre em outras cadeias de produção animal. Claro que há necessidade também de conhecer mais a fundo os impactos ou pressão sobre o ambiente.

O Brasil também precisa evoluir na verticalização da cadeia produtiva, logística, qualidade final do produto, formação de cooperativas e arranjos produtivos, busca de novos mercados (mercado internacional e novos produtos) e, principalmente, investimentos em marketing para melhor divulgação dos produtos oriundos da aquicultura e seus benefícios para a saúde humana, para a sociedade como um todo e para o meio ambiente.

Com relação à mão de obra, segundo a CAPES, existem 18 cursos de pós-graduação, específicos em aquicultura, no país. Porém, torna-se estratégico o estímulo à expansão de cursos nos estados das regiões Norte e Centro-Oeste do país, onde a produção vem crescendo nos últimos anos, assim como estimular projetos de pesquisa aplicada à solução de problemas da cadeia produtiva. A distância entre produtores e instituições de pesquisa – explicada pela burocracia e dificuldades na formatação de convênios de colaboração ou na prestação de serviços – também precisa ser superada. Com o marco legal de C&T, espera-se maior aproximação entre esses segmentos. Em paralelo, a extensão e assistência técnica precisam ser valorizadas e fortalecidas, visto que muito do conhecimento gerado em instituições públicas e privadas não chegam adequadamente ou demoram a ser repassados ao setor produtivo.

A aquicultura é a oportunidade para diversificar a economia na produção de proteínas nobres com crescente demanda mundial. Aproveitar o clima e a oferta de grãos, principal insumo das rações, representando cerca de 70% dos custos de produção, é uma vantagem competitiva que o Brasil não deve desperdiçar. A produção sustentável da aquicultura deverá dar suporte para o país aumentar a segurança alimentar da sua população, enquanto, como atividade produtiva, gera empregos, aumenta a renda e fortalece a cadeia produtiva.

A prioridade de pesquisa e de desenvolvimento tecnológico para consolidar a aquicultura como um setor importante para a agropecuária nacional deve considerar todas as áreas de conhecimento relacionadas a cada etapa do ciclo de produção, desde a reprodução até o melhoramento genético, nutrição, manejo e sistemas de produção, desenvolvimento de equipamentos e automação, sanidade, processamento do pescado e estudos econômicos aplicados. A seguir são apresentadas algumas linhas de pesquisa nesses grandes temas, consideradas prioritárias pela Embrapa em seu portfólio de aquicultura e que poderão nortear os esforços de fomento de C&T em aquicultura no Brasil:

- a) Desenvolvimento de programas de melhoramento genético de espécies aquáticas com mercado já estabelecido e realização de estudos quanto aos aspectos ambientais e hormonais na reprodução artificial;
- b) Adaptação e avaliação de tecnologias para a sustentabilidade dos sistemas de produção aquícola incluindo aprimoramento de sistemas intensivos de produção para otimização do uso dos recursos hídricos, o uso de tecnologias inovadoras para biorremediação e tratamento de efluentes e uso de bacias de sedimentação;
- c) Geração de estratégias e tecnologias que permitam detectar, avaliar e mitigar os riscos ambientais e biológicos na aquicultura por meio de bioindicadores, biomarcadores e de sistemas de recirculação e tratamento de efluentes com biofiltros;
- d) Estudos quanto à adição de imunoestimulantes, fitoterápicos, pigmentos, aminoácidos, vitaminas, minerais, antioxidantes e ingredientes funcionais na ração de organismos cultivados, em paralelo a estudos de avaliação de ingredientes (digestibilidade, níveis de inclusão, substituição da farinha de peixe por ingredientes de origem vegetal);
- e) Aperfeiçoamento de métodos de diagnóstico rápido, tratamento e boas práticas ou monitoramento para avaliação da segurança do alimento, sanidade e qualidade ambiental dos sistemas de produção aquícola;
- f) Uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos para inclusão dos produtores familiares e comunidades tradicionais na aquicultura sustentável;
- g) Tecnologias e métodos para análise de qualidade da carne do pescado incluindo técnicas de pré-abate e abate alinhado com as premissas de bem-estar animal;

- h) Estudo das diferentes cadeias produtivas da aquicultura incluindo análises de risco e econômica do setor aquícola nacional e internacional.

Sendo assim, é clara a necessidade de políticas públicas de longo prazo visando aportar recursos para estimular a inovação, a modernização da infra-estrutura e a formação continuada de recursos humanos para dar suporte ao setor produtivo e às instituições de pesquisa, visando tornar a aquicultura brasileira competitiva.

16.3 Conclusões

As oportunidade e desafios para ações de PD&I em aquicultura incluem:

- a) Simplificação do licenciamento ambiental associada à aplicação da isonomia da política de incentivos, a partir da isenção da cobrança de PIS/CONFINS nas rações, como ocorre em outras cadeias de produção animal;
- b) Evolução na verticalização da cadeia produtiva, logística, qualidade final do produto, formação de cooperativas e arranjos produtivos, incluindo a busca de novos mercados (mercado internacional e novos produtos) e, principalmente, investimentos em marketing, para melhor divulgação dos produtos oriundos da aquicultura e seus benefícios para a saúde humana, para a sociedade como um todo e para o meio ambiente;
- c) Investimento em educação formal e informal, mediante estímulo a expansão de cursos de especialização em piscicultura nos estados das regiões norte e centro-oeste, onde a produção de pescado vem crescendo nos últimos anos, mas com limitada mão de obra especializada;
- d) Estímulos a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação aplicados à solução de problemas das cadeias produtivas de pescado;
- e) Elaboração e implementação de políticas públicas a curto, médio e longo prazos, visando aportar recursos para estimular a inovação, a modernização da infra-estrutura e para formação continuada de recursos humanos, em suporte ao setor produtivo e às instituições de pesquisa, visando tornar a aquicultura brasileira competitiva;

Referências bibliográficas

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal 2015**. Rio de Janeiro, v. 43, p. 1- 49, 2016.

17

CONTROLE BIOLÓGICO, FEROMÔNIOS E INTERAÇÃO PLANTA-MICRO-ORGANISMO PARA O MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS

José Roberto P. Parra¹
José Maurício S. Bento¹
Italo Delalibera Jr.¹
João Lucio¹
Evaldo F. Vilela²

17.1 Considerações gerais

Embora menos conhecida e explorada, o Brasil também apresenta uma alta diversidade microbiana. Micro-organismos, entre eles fungos e bactérias, habitam em grande quantidade a superfície e o interior de tecidos e órgãos vegetais e animais. Na realidade, o número de células microbianas supera em muito o número de células que fazem parte de espécies animais e de plantas. Também vem sendo constatado que esses micro-organismos são em grande parte benéficos e apenas uma pequena fração dessa microbiota é prejudicial aos seus hospedeiros. Assim, seu uso na área agrícola vem sendo considerado e melhor estudado. Fungos em associações com plantas (micorrizas), bactérias fixadoras de nitrogênio, micro-organismos que solubilizam fosfato, produtores de hormônios de crescimento vegetal, além de outros, são utilizados, especialmente em plantas cultivadas, resultando em aumento de produtividade e reduzindo o uso de produtos químicos na agricultura, o que contribui para a proteção ambiental, a redução de custos e a produção de alimentos mais saudáveis.

1 Professores do Departamento de Entomologia e Acarologia – ESALQ, USP, Piracicaba, SP.

2 Professor do Departamento de Entomologia – UFV, Viçosa, MG.

Mais ainda, micro-organismos vem sendo utilizados no controle biológico de pragas e doenças substituindo com vantagens inseticidas, fungicidas, nematicidas e outros produtos químicos muitas vezes prejudiciais à saúde humana e causando problemas a outras espécies úteis, incluindo-se aqui as abelhas e demais insetos polinizadores.

17.2 Oportunidades e desafios de PD&I

As pesquisas e aplicações dos micro-organismos úteis realizadas em países de clima temperado muitas vezes não se aplicam a regiões tropicais, justamente as mais afetadas por pragas e doenças. No trópico, o controle de pestes depende da importação de produtos, tais como defensivos agrícolas, que oneram a produção de alimentos, entre eles, outros insumos, incluindo os fertilizantes agrícolas. Considerando a pouco conhecida biodiversidade microbiana brasileira, seu uso na agricultura é ainda incipiente. O Brasil possui provavelmente espécies de micro-organismos ainda não isolados em climas tropicais e que poderiam contribuir para incremento da produtividade sem aumento de áreas dedicadas à agricultura e pecuária e com redução dos custos para o agricultor e pecuarista. Mais ainda, o Brasil já está se tornando uma referência na pesquisa em Ciências Agrárias em países de clima tropical.

Com a utilização de interação benéfica plantas-micro-organismos, esse conhecimento poderá tornar-se referência e ser exportado para outros países tropicais com problemas semelhantes aos nossos. O uso das técnicas atuais de biologia molecular aplicadas aos micro-organismos seria um ponto positivo no melhoramento microbiano. As técnicas utilizadas em micro-organismos são, como ocorre na área de saúde humana, bem aceitas pelo público leigo, sem entraves de biossegurança alimentar. A filosofia atual para o controle de pragas agrícolas – Manejo Integrado de Pragas, MIP – prevê a associação de diferentes métodos de controle, levando-se em conta, critérios econômicos, ecológicos e sociais. Entre o conjunto de medidas (métodos de controle) disponíveis para manter as pragas abaixo do nível de dano econômico (NDE), o controle biológico e os feromônios ocupam posição de destaque.

O controle biológico é um fenômeno natural que consiste na regulação do número de plantas e animais por inimigos naturais, os quais se constituem agentes de mortalidade biótica (PARRA et al. 2002). Os feromônios, por sua vez, são compostos químicos não tóxicos produzidos e usados pelos insetos na comunicação entre indivíduos de uma mesma espécie.

No controle biológico são utilizados macro-organismos (insetos vs insetos, ácaros vs ácaros) ou micro-organismos (fungos, bactérias, vírus, nematoides, endofíticos, entre outros). As estratégias de uso incluem:

(i) controle biológico clássico ou inoculativo - especialmente pela introdução e liberação de organismos exóticos (centro de origem) que se estabeleçam permanentemente e controlem a praga num longo período, atualmente incluindo também os inimigos naturais nativos;

(ii) controle biológico conservativo - que propõe modificar o ambiente ou as práticas existentes para que os inimigos naturais ou outros organismos reduzam o efeito das pragas e

(iii) controle biológico aplicado ou aumentativo – que visa à liberação inundativa de organismos vivos suficiente para controlar as pragas sem a dependência de sua progênie.

Nos feromônios são utilizados diferentes formulações dos compostos químicos sintéticos provenientes dos próprios insetos, nas estratégias a seguir:

(i) monitoramento populacional para definir o momento ideal de controle (ex. inseticidas), de acordo com limiares (níveis de ação) pré-definidos a partir da captura de insetos em armadilhas;

(ii) coleta massal dos insetos por meio de um grande número de armadilhas;

(iii) método ‘atrai-mata’ que corresponde à aplicação localizada de uma combinação de feromônio + inseticida e

(iv) técnica de confusão sexual, que libera um feromônio em grande quantidade na área para interromper os acasalamentos e desse modo controlar as pragas.

No Brasil, diversos são os casos de sucesso no controle de pragas, com o uso de controle biológico e feromônios, nas mais diversas culturas agrícolas. Em cana-de-açúcar, por exemplo, as principais pragas como broca-da-cana (*Diatraea saccharalis*) e cigarrinhas (*Mahanarva* spp.) são controladas de forma biológica em quase metade da área plantada no Brasil, anualmente. Para controlar *D. saccharalis*, o parasitoide larval exótico *Cotesia flavipes*, tem sido utilizado em mais de 3 milhões de ha, enquanto outros 500 mil ha são “tratados” com o parasitoide de ovos nativo, *Trichogramma galloi*. Para controlar *Mahanarva* spp., o fungo entomopatogênico *Metarhizium anisopliae* tem sido pulverizado com sucesso em cerca de 2 milhões de ha (PARRA, 2014).

Em culturas como soja, milho, algodão etc., alguns milhões de ha são “tratados” para controlar pragas e doenças com outros microrganismos como *Trichoderma harzianum* (5 milhões de ha); *Bacillus thuringiensis* (5 milhões de ha); *Beauveria bassiana* (1,5 milhão de ha), entre outros. Ácaros predadores vêm sendo utilizados de forma crescente para controle de pragas em hortaliças e na floricultura, bem como o parasitoide de ovos, *Trichogramma pretiosum*, para controlar pragas em culturas como soja, milho etc. (PARRA, 2014).

Com relação aos feromônios, o seu emprego no Brasil mostrou-se imprescindível em diversas culturas agrícolas como frutíferas temperadas, algodoeiro, milho e cana-de-açúcar. Em citros, por exemplo, um feromônio desenvolvido para o bicho-furão, *Gymnandrosoma aurantianum*, vem sendo utilizado com sucesso desde 2001. Somente de 2001 a 2013, foram evitadas perdas na produção de citros de até US\$1,32 bilhão, com admirável racionalização no controle da praga, além de ganhos ambientais com menor uso de inseticidas (BENTO et al., 2016).

Embora os resultados até aqui alcançados tenham trazido inúmeros benefícios socioeconômicos para o Brasil e promovido grande repercussão na comunidade científica internacional, ainda existem obstáculos a serem transpostos e desafios a serem vencidos, destacando-se:

- a) Promover a evolução da cultura do agricultor brasileiro, tradicionalmente centrada no uso de agroquímicos;
- b) Melhorar os métodos de monitoramento para a agricultura extensiva, usando mais adequadamente os feromônios ou sensoriamento remoto;
- c) Disponibilizar insumos biológicos de qualidade, fornecidos por empresas com alta tecnologia, incluindo novas formulações para micro-organismos e mecanização da produção e liberação para macro-organismos;
- d) Tornar o serviço de extensão mais qualificado para transferência das tecnologias biológicas;
- e) Criar legislação específica para uso do controle biológico e feromônios;
- f) Implementar logística de armazenamento e transporte, especialmente para macro-organismos;
- g) Utilizar produtos mais seletivos, no caso de culturas com várias pragas;
- h) Utilizar novas tecnologias de liberação, reduzindo predações (especialmente de formigas) para macro-organismos e atingindo maiores áreas por meio de aviões ou mesmo drones;
- i) Ampliar os estudos das potencialidades das micorrizas, fungos endofíticos e outros microrganismos com a finalidade de uso e criação de vacinas contra patógenos etc. A biodiversidade de micorrizas, por exemplo, é gigante nos Cerrados, que reúne mais de 25 das espécies descritas até o momento não foi alvo de nenhum estudo sobre seu potencial, seja para ampliar o crescimento e produção das plantas ou mesmo para conferir a resistência a pragas e patógenos.

Apesar de todas essas dificuldades, a utilização do controle biológico no país, para o controle de pragas, cresce cerca de 10% a 15% ao ano, com um potencial ainda enorme de expansão, considerando-se a biodiversidade e a *expertise* desenvolvida nos últimos anos nessa área de conhecimento no país, especialmente com o incremento dos cursos de pós-graduação em Entomologia.

Referências bibliográficas

- BENTO, J.M.S.; PARRA, J.R.P.; MIRANDA, S.H.; ADAMI, A.C.; VILELA, E.F.; LEAL, W.S. How much is a pheromone worth? **F1000 Research**, 5:1763, 2016.
- PARRA, J.R.P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**. 71(5): 420-429, 2014.
- PARRA, J.R.P.; BOTELHO, P.S.M.; CORREA-FERREIRA, B.S.; BENTO, J.M.S. **Controle biológico no Brasil: parasitoides e predadores**. Barueri, SP: Editora Manole, 2002. 609p.

18

AGROENERGIA

Frederico Ozanan Machado Durães¹
Bruno dos Santos Alves Figueiredo Brasil²
Esdras Sundfeld³
Maurício Antônio Lopes⁴

18.1 Agricultura brasileira no século XXI

“O futuro é Bio e o século XXI será o século da biomassa” (DURÃES, 2013) para a produção de alimentos, energia e químicos renováveis. Considerando essa lógica, sobretudo em áreas tropicais, uma biorrefinaria competitiva requer matérias-primas, processos de conversão e tecnologias para novos produtos como elementos-chave para os negócios de base tecnológica. A biomassa vegetal é a fonte primária de carboidratos estruturais, não estruturais e óleos, que são alimentos, energia e potenciais matérias-primas para a química verde, a exemplo da química de biocombustíveis, alcoolquímica, oleoquímica e termoquímica e derivados.

A dinâmica do mercado de inovação e a evolução dos arranjos produtivos e do abastecimento de bens e serviços colocam para o mundo moderno, sobretudo para os países na faixa territorial tropical, uma oportunidade ímpar de utilização de recursos naturais para promoção do seu desenvolvimento econômico e social. Esses fundamentos permitiram ao Brasil construir, principalmente nos últimos 40 anos, uma agropecuária competitiva, com base em ciência, dados e evidências,

1 Pesquisador da Embrapa.

2 Pesquisador da Embrapa.

3 Pesquisador da Embrapa.

4 Pesquisador e ex-Presidente da Embrapa.

viabilizando sua inserção no mercado global como importante produtor e provedor de alimentos.

Superadas as consequências culturais, econômicas e sociais herdadas desde a famosa frase de Pero Vaz de Caminha “em se plantando tudo dá” e dos períodos históricos dos “ciclos econômicos” de exploração de atividades vegetais, pecuárias e minerais, o Brasil desenvolve competências para robustecer a ideia de que produzir e distribuir alimentos, bioenergia e fibras depende de práticas de baixo impacto; e nessa direção o país toma medidas e promove ações, nas áreas públicas e privadas, para reorganizar sua matriz energética, com participação crescente da biomassa.

O tema agroenergia está assentado em uma área ampla de conhecimento e empreendedorismo e, conceitualmente, define a forma de administrar o negócio agrícola para a conversão de energia de biomassa, de fonte primária solar - que possibilita a produção de energia química a partir da fotossíntese por organismos biológicos clorofilados -, em outras formas de energia (DURÃES, 2009). Como um país continental e tropical, o Brasil tem um grande potencial de produção e usos de energia de biomassa. As áreas tropicais têm vantagem comparativa em relação às temperadas devido à intensidade e sazonalidade da incidência de radiação solar, o que favorece o aproveitamento do processo de fotossíntese.

As plataformas energéticas estão desenhadas para extrapolar o âmbito da produção agropecuária, incorporando inovações em toda a cadeia produtiva, contemplando aspectos ligados à agroindustrialização, aos processos de conversão de matéria-prima em produtos energéticos, às questões de gestão e logística, impactos socioeconômicos e ambientais, cenários futuros mundiais da produção e do comércio, monitorando, inclusive, o desenvolvimento da pesquisa ligada às tecnologias complementares ou concorrentes com as que forem desenvolvidas no país.

Os setores público e privado têm duas perspectivas principais para a agroenergia nos próximos anos: uma, centrada na diversidade e no volume dos recursos que o país tem para sua execução, e outra, na visão incremental, ou mesmo disruptiva, de novas rotas tecnológicas. Com isso, o Brasil define claramente seu potencial biológico e industrial e busca na biodiversidade seus componentes biológicos e nos processos de conversão seus componentes bioquímicos e industriais. Focam-se, doravante, esforços científicos, gerenciais e mercadológicos para agregar inovação às tecnologias para a produção de bioenergia (etanol, biodiesel, biogás, gás de síntese, biomateriais e coprodutos), para viabilizar o conceito de biorrefinaria, e para a busca de processos competitivos que qualifiquem os times nacionais e internacionais para, em parceria, alcançarem saltos de competitividade e sustentabilidade.

O desenvolvimento econômico do país tem um histórico de uso da energia da biomassa desde os ciclos da cana-de-açúcar até às florestas energéticas para a siderurgia e ao Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool), iniciado em 1975, e também ao Programa de Biodiesel (Pró-óleo), nos anos 1980. Em meados da década de 2000, o Programa Nacional para Produção e Uso do Biodiesel (PN-BIO) fortaleceu e modernizou o conceito de interatividade de ações públicas e privadas. Foi possível acoplar tecnologias e mecanismos de gestão capazes de gerar saltos de competitividade na ampliação de escala de geração de fontes alternativas de energia renovável. A partir desse período observa-se, também, uma tendência internacional ao aumento da produção de biocombustíveis, como resposta às ameaças criadas pela oscilação no preço de combustíveis fósseis e pelas mudanças climáticas globais.

A transição negociada da economia baseada no petróleo para a bioeconomia, calcada em processos de base biológica e energia renovável dependerá especialmente da disponibilidade de acordos internacionais e nacionais que criem diretrizes e metas norteadoras para a mudança. Pode-se aqui citar a 21^a Conferência das Partes (COP 21), realizada em 2015, na qual o governo brasileiro se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em 43% até 2030, em relação aos níveis de 2005. O cumprimento dessa meta pressupõe contribuições relevantes da indústria brasileira de biocombustíveis.

18.2 Perspectivas da agroenergia

No caso do setor sucroenergético, por exemplo, a expectativa é de que as produções brasileiras de etanol de primeira e segunda geração atinjam, respectivamente, 51 e 2,5 bilhões de litros em 2030. Além disso, a geração de eletricidade a partir de biomassa deve triplicar nesse mesmo período, mediante o aproveitamento não só do bagaço, mas também da palha e biogás (Tabela 1). Para o longo prazo, observa-se tendência à consolidação do conceito de biorrefinaria, com as usinas diversificando seu portfólio de produtos para produzir também biometano, bioplásticos e outros químicos renováveis.

Enquanto o mercado mundial de álcoois produzidos por fermentação deverá crescer 4,5% ao ano até 2020, para os demais produtos químicos produzidos por fermentações há projeção para crescimento maior que 6,5%, com destaque para enzimas, ácidos orgânicos e polímeros de base biológica, como xantana e PHA (Polihidroxicanoatos - família de poliésteres produzidos por microrganismos a partir de substratos de carbono). A adoção de um modelo de negócios multiproduto também deve ser impulsionada pelo crescimento da frota de veículos leves

Tabela 1: Projeções para o Crescimento da Agroenergia no Brasil.

FONTE DE ENERGIA	PRODUÇÃO EM 2015	PRODUÇÃO EM 2030	PARTICIPAÇÃO (%) NA MATRIZ DO BIODIESEL EM 2030
Bioeletricidade ¹	48.356 mil TEP*	145.068 mil TEP	-
Etanol ²	29 bilhões de L	53,5 bilhões de L	-
Biodiesel (total) ³	3,9 bilhões de L	18 bilhões de L	-
Biodiesel (óleo de soja)	3,0 bilhões de L	13,9 bilhões de L	77
Biodiesel (sebo bovino)	0,7 bilhões de L	1,4 bilhões de L	8
Biodiesel (óleo de palma)	0,0 bilhões de L	1,4 bilhões de L	8
Biodiesel (outros)	0,195 bilhões de L	1,26 bilhões de L	7

Fontes: 1. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, (BRASIL, 2015).

2. Revista Opiniões, Sucro energético: cana, açúcar, etanol e bioeletricidade. Ano 14, número 50, Divisão C, Out-Dez 2016. ISSN: 2177-6504.

3. Biodiesel em foco. União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO), Ano VII, Edição 7, Nov 2016.

*TEP: Tonelada equivalente de petróleo.

com motorização elétrica ou híbrida. Estima-se que os veículos híbridos aumentarão progressivamente sua participação no mercado brasileiro, de 0,09% dos licenciamentos em 2015 até 4,6% em 2024. Todavia, o impacto da mudança na motorização veicular sobre o setor do etanol pode ser minimizado pela adoção de novas tecnologias como a produção de modelos híbridos *flex* pela indústria e a utilização de células combustíveis em veículos elétricos.

O setor de produção do biodiesel projeta um salto de produção, de 3,9 bilhões de litros, em 2015, para 18 bilhões em 2030. Esse aumento seria impulsionado, também, por gradual aumento na mistura obrigatória do biodiesel ao diesel fóssil, saindo de 7% (B7) em 2015, para 20% (B20) em 2030. Projeta-se, ainda, que o biodiesel brasileiro deverá ser produzido a partir de óleo de soja (77%), sebo bovino (8%), óleo de palma (8%) e outras (7%) (Tabela 1). A definição das outras matérias-primas que farão parte da matriz de produção de biodiesel dependerá de políticas adequadas de incentivo à produção industrial, assim como fomento à pesquisa e ao desenvolvimento tecnológico. Destacam-se, entre as mais promissoras: algodão, óleo de fritura reciclado, canola, macaúba, babaçu, pinhão-manso e microalgas (DURÃES, 2009).

Entre os biocombustíveis de alta densidade energética destaca-se, também, a emergência no cenário industrial do bioquerosene de aviação, em um futuro próximo (CGEE, 2010). O setor de aviação estabeleceu contribuições voluntárias para a mitigação das ameaças climáticas globais, como crescimento carbono-neutro a partir de 2020 e redução nas emissões de GEE em 50% até 2050. Uma vez que o setor não projeta alterações na motorização das aeronaves nas próximas décadas, este dependerá da adoção de combustível líquido *drop in* produzido a partir de matérias-primas renováveis disponíveis, não alimentícias, amplamente distribuídas e, preferencialmente, dedicadas à produção de energia (CORTEZ, 2014).

18.3 Oportunidades e desafios de PD&I

É objetiva a oportunidade para o Brasil liderar, neste século, uma nova matriz energética baseada na expansão da energia renovável, especialmente de biomassa, centrada nos conceitos de densidade energética e eficiência energética para matérias-primas, processos, produtos e coprodutos. A agroenergia, ou bioenergia, é um negócio típico da parceria público-privada (DELOITTE, 2014). E o Brasil carece de uma política estruturada – programa de longo prazo para o negócio de agroenergia, bem como de uma agenda de prioridades em pesquisa, desenvolvimento e inovação, que suportem o empreendedorismo e os negócios de base tecnológica, articuladas em uma “aliança para inovação e empreendedorismo” nessa área. Para tanto, os seguintes desafios em arranjos (técnico-científicos, institucionais e produtivos) para tecnologias de biomassa e energia de biomassa podem ser elencados como prioridades:

- a) Estabelecimento de uma Política Nacional de Energia e de um Programa Nacional de Agroenergia, alinhados com um Plano de Metas de curto e longo prazos, coordenados por um Comitê Central de Governança Público-Privada, operado de acordo com conceitos e propósitos de bioeconomia, produtividade e sustentabilidade, visando a saltos de competitividade;
- b) Criação de um Sistema de Inteligência Estratégica para energia de biomassa, com foco no mapeamento, disponibilidade e caracterização de biomassas, resíduos e efluentes no território nacional, visando subsidiar investimentos para estruturação do emergente parque industrial de base biológica (bioindústria);
- c) Melhoramento genético de matérias-primas agroenergéticas - sacarinas (cana-de-açúcar, sorgo-energia: sacarino e biomassa lignocelulósica), amiláceas (arroz-gigante) e oleaginosas (soja, palma-de-óleo (dendê), canola, macaúba, pinhão-manso e microalgas) visando a ganhos de produtividade, tolerância a estresses abióticos, resistência a pragas e aquisição de características que

- facilitam o processamento e o aproveitamento industrial. Destaques para o melhoramento assistido por marcadores moleculares, o uso de ferramentas de transgenia e a edição gênica;
- d) Desenvolvimento de processos industriais eficientes para desconstrução de biomassa lignocelulósica (pré-tratamento e hidrólise enzimática) e aproveitamento integral da biomassa (celulose, hemicelulose e lignina) para produção de energia, produtos químicos e materiais renováveis;
 - e) Desenvolvimento de veículos movidos à célula a combustível alimentada por etanol;
 - f) Desenvolvimento de rotas tecnológicas para produção de bioquerosene de aviação; gás de síntese; termoquímica;
 - g) Processos de produção de biogás/biometano a partir de resíduos e efluentes urbanos e industriais. Destaque para processos de reforma de biogás visando à produção de gás de síntese;
 - h) Desenvolvimento da Biotecnologia Industrial e processos biofísicos, químicos e biológicos, visando à produção de biocombustíveis, enzimas, polímeros, ácidos orgânicos, polióis, entre outros. Destaque para a utilização de microrganismos modificados geneticamente por meio da utilização de técnicas de engenharia metabólica e biologia sintética;
 - i) Desenvolvimento de novos processos industriais no âmbito da alcoolquímica, oleoquímica e gliceroquímica com vistas à produção de materiais e produtos químicos renováveis e
 - j) Modelagem técnico-econômica e análises de ciclo de vida (ACV) como ferramentas direcionadoras para investimentos em novas matérias-primas/processos/produtos no contexto de biorrefinarias.

Registra-se, portanto, que, na era das oportunidades derivadas das vantagens comparativas naturais e construídas pelo talento humano, é esperado que o agro brasileiro assuma protagonismo nesse novo mercado de inovações.

Referências Bibliográficas

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024**. Brasília: MME/EPE, 2015.
- CGEE Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Biocombustíveis aeronáuticos: progressos e desafios**. Brasília: CGEE, 2010.
- CORTEZ et al. **Roadmap for sustainable aviation biofuels for Brazil: A flightpath to aviation biofuels in Brazil**. CORTEZ, L. A. B.; NIGRO, F.E. B. (coord.). São Paulo: Blucher, 2014.

- DELOITTE. **Opportunities for the fermentation-based chemical industry** – An analysis of the market potential and competitiveness of North-West Europe. Editora Deloitte, Set 2014.
- Durães, F.O.M. Agroenergia para o Biodiesel. (Ponto de Vista). **Rev. de Política Agrícola**. Brasília, DF. Ano XVIII, No. 1, Jan/Fev/Mar, 2009.
- _____. Sucroalcooleiro energético e tecnologia agroindustrial - Visão 2013-2033. 2013. 24p. In: **O Futuro da Inovação Tropical** – Tendências e Impactos das Transformações do Mundo nas Cadeias Produtivas Agropecuárias Brasileiras – Visão 2013-2033. Workshop Embrapa; Agropensa, 2. Brasília, DF, 12-13/Nov/2013.
- REVISTA OPINIÕES. **Sucroenergético**: cana, açúcar, etanol e bioeletricidade. Ribeirão Preto: WDS/ VRDS. Ano 14, número 50, Divisão C, Out-Dez 2016. ISSN: 2177-6504.
- UBRABIO, União Brasileira do Biodiesel e Bioquerosene. **Biodiesel em foco**, Ano VII, Edição 7, Nov 2016.

19

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Marcos Heil Costa¹

19.1 Aspectos gerais e oportunidades e desafios de PD&I

A relação entre as mudanças climáticas e a agricultura envolve os impactos das mudanças climáticas na agricultura, a adaptação da agricultura às mudanças do clima e a mitigação das mudanças climáticas pela redução das emissões de gases de efeito estufa pela agropecuária. Além disso, não há como desconectar o estudo entre mudanças climáticas e agricultura do contexto da sustentabilidade da agricultura e da segurança alimentar global.

Enquanto se espera que a produção global de calorias e proteínas terá que crescer em torno de 100% e 110%, entre 2005 e 2050, para atender à demanda global e garantir segurança alimentar (TILMAN et al., 2011), o Brasil geralmente é considerado o país que mais contribuirá para o aumento da produção global de alimentos. Isso é devido às suas vastas áreas de terras disponíveis para expansão, ao clima adequado e à sua capacidade de pesquisa e de inovação no setor agropecuário. A seguir serão discutidas a capacidade de pesquisa e inovação pode focar em terras disponíveis para expansão e clima adequado, de modo que a agricultura brasileira possa contribuir para a melhoria da segurança alimentar global, de forma sustentável e adaptada às mudanças climáticas.

¹ Departamento de Engenharia Agrícola - UFV.

Por décadas, expandir a fronteira agrícola foi uma das principais formas de aumentar a produção agropecuária brasileira, mas isso implicou em desmatamento e a consequente emissão de gases de efeito estufa – continuar com essa prática contribui para aumentar as mudanças climáticas. Assim, o primeiro desafio da agropecuária brasileira é o de expandir a sua produção sem aumentar a sua fronteira agrícola, o que implica numa revolução na maneira de se pensar a agropecuária no Brasil, dos cursos de Ciências Agrárias aos fazendeiros, da cadeia produtiva aos órgãos de pesquisa. Essa mudança de paradigma, na verdade, aparentemente, teve início em 1985, quando a produção brasileira começou a aumentar mais devido à intensificação do que devido à extensificação (DIAS et al., 2016). Estudos recentes (STRASSBURG et al., 2014) indicam que um mero incremento da eficiência das pastagens brasileiras dos atuais 33% para 50%, por meio do manejo adequado, para se tornarem mais produtivas, permitiria um aumento da produção brasileira de carne e grãos de modo a satisfazer toda a demanda global por alimentos, sem a necessidade de expansão das terras agrícolas. Essas áreas de baixa eficiência são principalmente pastagens degradadas, terrenos com alta declividade ou áreas abertas por fogo, que nunca foram preparadas para mecanização nem calcareadas.

Será necessário priorizar pesquisas para entender a dinâmica do uso do solo no Brasil, principalmente o que faz a intensificação em algumas regiões ocorrer mais rapidamente do que em outras, de modo que os resultados dessas pesquisas possam orientar políticas governamentais para facilitar a intensificação da agropecuária. Mas seria importante, em algum momento, averiguar se entorno destas áreas, com alta biodiversidade e funcionalidade, como, por exemplo, polinizadores e inimigos naturais das pragas, não poderiam também auxiliar neste maior ganho e produção com mais sustentável desta nova agricultura.

Outra característica importante para a agropecuária brasileira é o clima adequado. De maneira geral, tem-se um clima no qual raramente ocorre congelamento e a agricultura é viável desde, que haja chuvas suficientes e regulares. No sul do Brasil, as chuvas são bem distribuídas durante o ano, porém irregulares de ano para ano, apresentando chuvas intensas em anos de ocorrência do fenômeno El Niño e longos veranicos em anos do fenômeno de La Niña, condições que podem levar a perdas de safra. A tendência climática para as próximas décadas é a intensificação desse modo de variabilidade interanual do clima, o que aumentará o risco agrícola na Região Sul.

Por outro lado, o Sudeste, o Cerrado, o sul da Amazônia e MATOPIBA são caracterizados por um clima mais quente, com uma estação chuvosa longa e bem-definida, com a vantagem de ser menos sujeita à estiagem do que a Região Sul. Isso torna a produtividade nessas regiões muito mais regular, de ano para ano. Em algumas dessas regiões, em particular em MATOPIBA e no sul da Ama-

zônia, a agricultura evoluiu para um sistema altamente intensivo, com duas safras plantadas na estação chuvosa, o que requer uma estação chuvosa com duração superior a 200 dias. De forma um tanto preocupante, a principal mudança climática esperada para essas regiões é o alongamento da estação seca e a diminuição da estação chuvosa (FU et al., 2013), o que aumentaria o risco climático da agricultura nessas regiões (PIRES et al., 2016), ampliando a degradação existente num futuro já incerto.

É necessário priorizar pesquisas para desenvolver novas variedades genéticas das plantas cultivadas nessas regiões e buscar novas espécies ou variedades a partir do conhecimento local, para encurtar o seu ciclo e manter ou aumentar a sua produtividade atual, de modo que duas safras possam continuar a ser viáveis numa estação chuvosa mais curta. Nosso fracasso em desenvolver essas variedades pode levar ao abandono do sistema de dupla safra nessas regiões, com forte pressão sobre a extensificação da fronteira agrícola e sobre a segurança alimentar global.

Há também que se considerar que os solos brasileiros são muito pobres em carbono. Aumentar o teor de carbono dos nossos solos seria uma estratégia em que todos ganhariam: solos com mais carbono são mais permeáveis, retêm mais água, reduzem o risco associado a longas estiagens e, obviamente, imobilizam carbono, que de outra forma voltaria para a atmosfera na forma de CO_2 . Aumentar o teor de carbono nos solos, ao mesmo tempo, adapta a agricultura aos extremos do clima, assim como pode mitigar as mudanças climáticas. Assim, faz-se necessário mapear o carbono nos solos, identificar regiões prioritárias para recuperação e pesquisar estratégias de recuperação e conservação de solos que funcionem em grande escala, para orientar políticas públicas que possam ser desenhadas para esse fim.

19.2 Conclusões

As oportunidades e desafios para ações de PD&I em mudanças climáticas incluem:

- a) Desenvolvimento de pesquisas visando expandir a produção agropecuária sem aumentar a fronteira agrícola, o que implica uma revolução na maneira de se pensar a agropecuária, dos cursos de Ciências Agrárias aos fazendeiros, das cadeias produtivas aos órgãos de pesquisa. No entanto, é preciso que os cursos também avancem no conteúdo para essa nova agricultura sustentável do futuro, para superarem os rumos da ciência antiga, que não mais atende às necessidades atuais e futuras.

- b) Priorização de pesquisas para desvendar a dinâmica no uso do solo, principalmente, o que faz a intensificação em algumas regiões ocorrer mais rapidamente do que em outras, de modo que os resultados dessas pesquisas possam orientar políticas para facilitar a intensificação da agropecuária.
- c) Desenvolvimento de novas variedades genéticas de plantas cultivadas, para encurtar o seu ciclo e manter ou aumentar a sua produtividade, de modo que duas safras possam continuar a ser viáveis numa estação chuvosa mais curta. O fracasso em desenvolver essas variedades pode levar ao abandono do sistema de dupla safra nessas regiões, com forte pressão sobre a extensificação da fronteira agrícola e sobre a segurança alimentar global.
- d) Mapeamento do carbono nos solos para identificar regiões prioritárias para recuperação e pesquisar estratégias de recuperação e conservação de solos que funcionem em grande escala. Há que se considerar que os solos brasileiros são muito pobres em carbono, assim, aumentar o teor de carbono dos nossos solos é uma estratégia com a qual todos ganhariam: solos com mais carbono são mais permeáveis, retém mais água, reduzem o risco associado a longas estiagens e, obviamente, imobilizam carbono, que de outra forma voltaria para a atmosfera na forma de CO₂. Aumentar o teor de carbono nos solos, ao mesmo tempo, adapta a agricultura aos extremos do clima e pode mitigar as mudanças climáticas.

Referências bibliográficas

- DIAS, L. C. P., PIMENTA, F. M., SANTOS, A. B., COSTA, M.H., LADLE, R. J., Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture, **Glob. Chang. Biol.** 22, 1-45, 2016.
- FU, R. et al. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection, **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.** 110, 18110–18115, 2013.
- PIRES, G. F. et al., Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: implications for land use in Northern Brazil, **Agric. For. Meteorol.** 228-229, 286-298, 2016.
- STRASSBURG, B. N. et al. When enough should be enough: Improving the use of current agricultural lands could meet production demands and spare natural habitats in Brazil, **Global Environmental Change**, 28, 84-97, 2014.
- TILMAN, D., BALZER, C., HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proc. Natl Acad. Sci. USA** 108, 20260-20264, 2011.

20

EFICIÊNCIA NAS CADEIAS PRODUTIVAS AGRÍCOLAS

Antônio Márcio Buainain¹
Ricardo S. Martins²

20.1 Características gerais

Os cenários demográficos e econômicos futuros indicam que as cadeias produtivas do agronegócio estarão sob forte pressão e enfrentarão um duplo desafio: quantitativo e qualitativo. De um lado, o sistema precisará produzir alimentos e matérias-primas de origem agropecuária em quantidade suficiente para atender a demanda crescente, com a qualidade e atributos adequados às crescentes exigências dos mercados consumidores e da sociedade em geral. De outro, o aumento da produção de produtos agropecuários estará condicionado, cada vez mais, a um conjunto de restrições/condicionantes que emanam de uma nova institucionalidade, já presente e cada vez mais exigente e impositiva, relacionada ao uso sustentável dos recursos naturais, às relações sociais de produção, à preservação da biodiversidade e à equidade (BUAINAIN, 2014).

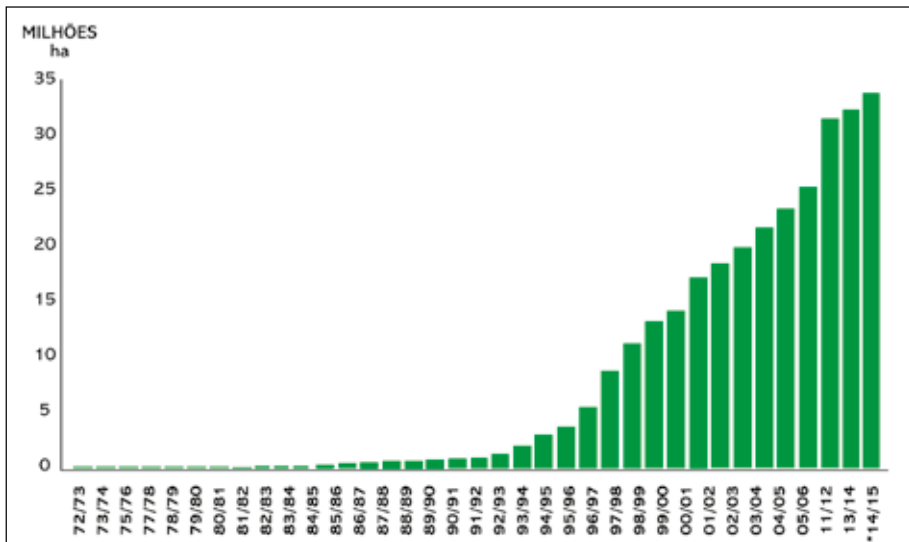
Esse novo contexto implica em mudanças radicais no padrão de crescimento da produção agropecuária e na dinâmica das cadeias produtivas do agronegócio. Até recentemente, o crescimento da oferta alicerçou-se sobre dois eixos, a incorporação de novas terras e a inovação tecnológica, com pequena – em muitos

¹ Professor Economia do Instituto de Economia - UNICAMP.

² Professor de Operações e Supply Chain - Cepead/UFMG.

casos nenhuma— consideração ao uso sustentável dos recursos naturais. Florestas ricas em madeiras nobres e biodiversidade valiosa foram queimadas para dar origem a pastagens frágeis, em uma lógica mais voltada para a apropriação de terras do que para a criação e realização de riqueza. Racional do ponto de vista micro, essa dinâmica de queimar riqueza social sempre foi irracional do ponto de vista da sociedade, que, no entanto, não dispunha de instrumentos para coibi-la e nem tinha consciência da necessidade de fazê-lo, com exceção da difusão da técnica de plantio direto, que atualmente beneficia mais de 33 milhões de hectares de área plantada (Figura 1).

Figura 1. Brasil: área cultivada com plantio direto, 1973-2015.



Fonte: EMBRAPA, 2017. *Último dado disponível.

20.2 Oportunidades e desafios para PD&I

De modo similar, a inovação tecnológica orientava-se fundamentalmente para a elevação da produtividade e/ou redução dos custos, especialmente via economia de mão-de-obra. Contudo, essa dinâmica estava apoiada em uma visão microeconômica de curto prazo, sem praticamente levar em conta as externalidades negativas e a sustentabilidade em sentido amplo. Sendo assim, muitos insumos químicos que foram importantes para elevar a produção, contaminavam o meio ambiente, deixavam resíduos tóxicos em alimentos etc.. Em muitos locais, a irrigação desmedida salinizava o solo, tornando-o praticamente infértil, e o uso excessivo da mecanização compactava o solo, provocando erosão e perda de fertilidade.

Na prática, o padrão então vigente envolvia um círculo vicioso, que exigia a incorporação de mais terras e mais tecnologia para compensar a perda de produtividade, provocada, pelo menos em parte, pelos sistemas produtivos e pela própria tecnologia utilizada. A questão da eficiência não era central, a não ser do estrito ponto de vista micro, e, ainda assim, de forma limitada ao curto e, no máximo, médio prazo: sempre parecia possível compensar a perda de fertilidade com a incorporação de novas terras e de novas tecnologias e as externalidades negativas com as inovações em geral. Naturalmente que não se trata de criminalizar o passado, até porque o contexto era outro, mas de reconhecer a insustentabilidade daquele padrão e os desafios colocados pelo futuro, que exige mudanças de paradigma.

Marcado por fortes restrições ambientais e institucionais, a eficiência sistêmica adquire status central no enfrentamento do desafio alimentar. Do ponto de vista técnico, o aumento da eficiência significa utilizar melhor, de maneira mais produtiva e parcimoniosa, os recursos disponíveis, e reduzir os desperdícios. Na sociedade contemporânea, porém, não é mais possível considerar apenas os parâmetros técnicos para informar as decisões do que, quanto, como e para quem produzir. É preciso levar em conta que essas decisões passam hoje pelo crivo social, por intermédio de mecanismos mais amplos e complexos que os mercados, que, no passado, eram praticamente soberanos na aprovação e rejeição das decisões dos agentes econômicos.

Neste novo contexto não é suficiente que uma tecnologia ou uma planta produtiva, por exemplo, sejam eficientes do ponto de vista técnico e econômico. É necessário que elas sejam pré-aprovadas pela sociedade, que se manifesta de forma fragmentada, por intermédio de grupos de interesse, movimentos sociais, militantes de causas específicas, entidades de defesa dos consumidores, ONGs, entidades regulatórias públicas e privadas etc. Essa dinâmica muda completamente o sentido tradicional da eficiência, pois as decisões são pautadas por contextos que emergem do jogo de poder envolvendo os *stakeholders*, contextos que nem sempre passariam por testes de racionalidade, custo-benefício e viabilidade econômica. Não raramente são eivados de contradições e até mesmo de antagonismos, porém, ainda assim, são legitimados no contexto de sociedade democráticas. Isso significa que o desafio de aumentar a eficiência das cadeias produtivas do agronegócio não se resume ao aspecto técnico e deve, forçosamente, incorporar as dimensões social, ambiental e política, e, além disso, que essa operação implica e exige conciliar interesses não raramente contraditórios.

Apesar do progresso do agronegócio brasileiro, as oportunidades para ganhos de eficiência ainda são enormes e estão distribuídas em todos os componentes da cadeia. O ganho de eficiência na agricultura, dentro da porteira, passa por três eixos:

- (i) Investir no alargamento da fronteira inovativa, com foco no grupo de produtores mais dinâmicos e avançados do ponto de vista tecnológico; na redução dos desperdícios e das externalidades; na melhoria da conservação dos recursos naturais; em economias de escopo via aproveitamento e reaproveitamento de resíduos e valorização de subprodutos. Nesse campo, já há algumas tendências positivas e promissoras, como o da Agricultura 365 dias, que está permitindo a utilização praticamente contínua da terra durante todo o ano; o uso dos sistemas de integração lavoura-pecuária e silvicultura, parcial e integral, e agricultura de precisão. Naturalmente que nessa frente os investimentos em P&D são os mais importantes, ainda que não únicos, determinantes do ganho de eficiência potencial e real.
- (ii) Investir na elevação da eficiência média, explorando a fronteira interna, por meio dos ganhos de eficiência dos produtores retardatários. É provável que se trate de desafio mais complexo do que o primeiro. O atraso relativo não se deve, necessariamente, à falta de tecnologia adequada para as condições dos produtores/regiões que apresentam baixa eficiência, mas à falta de condições para inovar, o que envolve um conjunto amplo de variáveis e o próprio ambiente menos propício à inovação. O esforço aqui é focar nos fatores-chaves que se colocam como obstáculo à incorporação de inovações já difundidas no país, tais como financiamento, extensão rural e assistência técnica, capacitação e fortalecimento institucional, entre outros fatores.
- (iii) Incorporar recursos que estão fora, não são utilizados, mas têm potencial para sê-lo. Uma parte destes recursos, “abandonados” porque perderam viabilidade devido ao uso insustentável anterior, poderiam ser reincorporados de maneira eficiente, utilizando recursos disponibilizados pelo progresso técnico científico dos últimos 25 anos. Outra parte se refere a recursos que sempre estiveram fora, como terras ociosas nas periferias das cidades, em terrenos urbanos, em canteiros domésticos. Trata-se, portanto, de colocar em uso “recursos negligenciados”, redundantes no contexto anterior, de abundância de recursos, e cuja utilização se viabiliza no marco da nova institucionalidade e seus determinantes. Trata-se de uma nova agricultura, que já é realidade em várias cidades e vários países, e que tende a crescer à medida que aumentem as restrições para o desmatamento e a imposição do paradigma da sustentabilidade.

Outra fonte de aumento da eficiência reside na infraestrutura e logística das cadeias do agronegócio, cujo déficit é enorme, com reflexos diretos sobre a eficiência (OLIVEIRA, 2014). O processo deficitário se inicia por restrições de comercialização impostas pelo *déficit* de capacidade de armazenagem. Uma vez que a capacidade de armazenagem é limitada, os produtores perdem oportunidades proporcionadas pelo movimento do mercado tanto na compra de insumos

quanto na venda dos produtos, tanto em termos de preços quanto na tomada de decisão sobre a quantidade a ser produzida. No momento da venda, por exemplo, incorrem em perdas físicas de produtos ou perdem renda por ficarem à mercê das trades onde armazenam sua safra, no caso de grãos, ou vendem rapidamente a produção, no preço do momento do excesso de oferta. Assim também, a eletrificação efetiva do meio rural permitiria ganhos de eficiência significativos, especialmente nas atividades para as quais a refrigeração é relevante, como a produção láctea e de frutas e verduras (ABAG, 2015).

Do ponto de vista mais sistêmico, fora da porteira, o maior *déficit*, e, portanto, oportunidade de ganhos de eficiência, é o sistema de transportes. Nesse quesito, o Brasil é frequentemente citado, na mídia e nos relatórios de entidades, pelo fraco desempenho e comprometedor aporte de itens da infraestrutura econômica. As carências do sistema de transporte podem ser identificadas tanto na quantidade quanto na qualidade dos sistemas disponíveis. No sistema rodoviário, o de maior disponibilidade e também capilaridade, apenas cerca de 10% da malha é pavimentada, com o agravante da baixa qualidade da pavimentação e da concentração no centro-sul, distante dos pontos de maior produção agropecuária primária, bem como das áreas também potencialmente de expansão.

Os sistemas ferroviário e hidroviário, que poderiam proporcionar grandes contribuições à movimentação de mercadorias de baixo valor agregado e grandes distâncias, são tímidos diante da enorme demanda potencial e oferecem serviços restritos. O sistema portuário, embora com bom número de unidades e bem-dispostas geograficamente, opera com altos custos, em razão da defasagem tecnológica, e em locais com dificuldade de acesso. Para completar o cenário, o transporte intermodal, que é uma forma de baratear os serviços de transporte ao conjugar duas ou mais modalidades para viabilizarem que uma mercadoria vença as distâncias entre a sua origem e o seu destino, carece de estruturas de terminais adequadas e prestadores de serviços que consigam coordenar as operações. Resta então a elevada concentração das operações na modalidade rodoviária de transporte, não porque mais barata, mas porque a única disponível para a grande maioria das necessidades. Isso simplesmente por falta de inteligência, planejamento, eficiente governança e marcos regulatórios adequados para viabilizar os investimentos privados em infraestrutura de transporte e comunicação que no passado estiveram sob responsabilidade exclusiva do setor público.

Quanto mais a produção se distancia dos portos convencionais do centro-sul brasileiro – Santos, Paranaguá, São Francisco do Sul e Rio Grande –, mais expostas ficam as situações de carência de infraestrutura e desafio. O avanço da produção para as regiões de Cerrado do centro-oeste e norte do país pareciam indicar com certa obviedade o rápido desenvolvimento das alternativas de escoamento pela Região Norte, puxadas pelos Portos de São Luís (Itaqui), na capi-

tal do estado do Maranhão, Itacoatiara (AM), Santarém e Vila do Conde (PA). Recentemente, juntos, esses portos movimentaram 20 milhões de toneladas de soja e milho, cerca de 20% das exportações desses produtos no total dos portos brasileiros. Porém, a capacidade operacional instalada é pequena para a demanda de suas áreas de influência. Somente em fronteiras agrícolas há mais de 73 milhões de hectares nos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, a região chamada MATOPIBA, e o norte do Estado de Mato Grosso, uma área de 11,3 milhões de hectares.

O uso das modalidades de transporte fora de suas condições tradicionais de economicidade, relacionadas às distâncias pertinentes a cada uma delas, condena a economia brasileira a operar com altos custos de transporte, parametrizados pela modalidade rodoviária. As implicações vão bem além da elevação do custo de insumos e da redução do preço pago ao produtor, devido à aplicação de um deságio em relação ao preço de referência equivalente ao custo de transporte, alcançando toda a cadeia produtiva. Elas podem ser identificadas também nas perdas de produção ao longo dos corredores de transporte, perda de qualidade, perda de bem-estar animal e riscos mais elevados, inclusive o de contaminação, adulteração, roubo, acidente, que nem sempre podem ser compensados com seguros onerosos.

O *déficit* de infraestrutura de transportes restringe o uso eficiente dos recursos e, no limite, impede o próprio uso dos recursos ou sua alocação para atividades que não seriam as mais adequadas, caso os produtores contassem com vias de acesso. É uma das razões para a presença da pecuária extensiva em muitas áreas – no dizer de um produtor: “eu crio gado porque o boi anda”. Finalmente, o *déficit* interfere diretamente na escala e organização da produção. Pequenos produtores, que poderiam usar os recursos de forma intensiva, sustentável e eficiente, são excluídos por não conseguirem acessar os mercados. O problema, ao contrário do que se propaga, não é de escala, mas de logística de transporte, cujo custo elevado só viabiliza transações com produtores de maior escala. A disponibilidade de uma rede ampla de estradas, inclusive vicinais, reduziria a desvantagem de escala e viabilizaria a utilização intensiva dos recursos também pelos pequenos e médios agricultores (VIEIRA FILHO; GASQUES, 2016).

O desperdício é elevado na cadeia alimentar, em todos os níveis. Começa no produtor, que desperdiça parte da colheita/produção por problemas de manejo, falta de infraestrutura, informação, acessos; continua no transporte, da fazenda para os pontos de comercialização, com grãos que caem dos caminhões, cargas a frio comprometidas ao longo do caminho, roubos de cargas; segue na armazenagem, a chamada quebra técnica pode ser também mais elevada do que a que se justificaria em decorrência de má secagem, de instalações precárias, quedas de energia etc. No processamento o aproveitamento de muitos produtos ainda é

parcial, e pode melhorar muito, com consideráveis ganhos de eficiência associados a economias de escopo. Vejamos o caso do soro de queijo, visto como um resíduo da produção de queijo, porém sendo, na verdade, um produto de alto valor comercial, com inúmeras aplicações, englobando as indústrias de lácteos, carnes, misturas secas (para condimentar), panificação, chocolate, aperitivos, bebidas e a farmacêutica, entre outras. Por essa razão, o soro tem aproveitamento industrial nos Estados Unidos, Europa e Pacífico Sul. As limitações sistêmicas impõem um alto custo para esse desenvolvimento no Brasil. Com isso, há o descarte de grande parte do soro disponível nos laticínios de maneira inadequada.

Na distribuição o desperdício pode ser acintoso. Basta visitar instalações do Ceasa ao final da tarde, ou ver o lixo descartado por redes de supermercados. Essa perda não se limita aos hortifrúteis, como se poderia pensar, mas também a produtos vencidos e a problemas de armazenagem no próprio estabelecimento comercial. Finalmente, o consumidor, especialmente aqueles de renda mais elevada, criados na cultura da abundância, de inflação elevada, sem preocupação com o uso apropriado e comedido dos alimentos, contribui para elevar o desperdício. Não se deve minimizar também os mesmos fenômenos quando projetamos as cadeias produtivas abastecendo o varejo das cidades: a falta de infraestrutura de armazenagem e os congestionamentos urbanos continuam por penalizar as empresas do agronegócio, situando a logística como um grande desafio a vencer.

20.3 Considerações finais

As oportunidades para ganhos de eficiência nas cadeias produtivas do agronegócio estão presentes em todos os seus componentes e elos. Atualmente, elas nos oferecem enorme fronteira para a expansão da produção e precisam ser exploradas no enfrentamento do desafio ambiental. No que diz respeito especificamente à logística, pesquisas com embarcadores e operadores buscando identificar as necessidades e os estrangulamentos, tanto nas operações de grandes fluxos quanto naquelas de suprimentos do varejo, podem favorecer à redução de perdas e de custos, bem como ao desenvolvimento de novos modelos de interação empresas-cidades pela vertente acadêmica denominada *City logistics*, pelos estudos que inter-relacionem redes de suprimentos e imersão no local, com externalidades positivas para o desenvolvimento local e regional, assim como estudos de demanda para a projeção de cenários e investimentos nos sistemas de transporte que possam torná-lo um aliado das futuras operações.

20.4 Conclusões

Os cenários demográficos e econômicos indicam que as cadeias produtivas do agronegócio estarão sob forte pressão e enfrentarão desafios quantitativos e qualitativos, para aproveitar oportunidades e desafios para ganhos de eficiência em todos os componentes das cadeias produtivas, os quais podem ser transformados em ações de PD&I, indicadas a seguir:

- a) Descontaminação do meio ambiente para se livrar dos efeitos contaminantes do uso intensivo de agroquímicos, por efeito de resíduos tóxicos deixado no solo e no lençol freático, sem levar em conta as externalidades negativas e a sustentabilidade em sentido amplo, torna o solo infértil e o uso excessivo da mecanização compacta o solo, provocando erosão e perda de fertilidade.
- b) Investimento para o alargamento da fronteira inovativa, com foco no grupo de produtores mais dinâmicos e avançados do ponto de vista tecnológico, na redução dos desperdícios e das externalidades, na melhoria da conservação dos recursos naturais e em economias de escopo, via o aproveitamento e reaproveitamento de resíduos e valorização de subprodutos.
- c) Elevação da eficiência média, explorando a fronteira interna, com ganhos de eficiência dos produtores retardatários. É um desafio mais complexo do que o primeiro. O esforço, nesse campo, é focar nos fatores que dificultam a incorporação de inovações já difundidas, como financiamento, extensão rural e assistência técnica, capacitação, fortalecimento institucional etc.
- d) Incorporação de recursos “abandonados” porque perderam viabilidade devido ao uso insustentável. Portanto, poderiam ser reincorporados de maneira eficiente, utilizando recursos disponibilizados pelo progresso técnico. Outra parte se refere a recursos que sempre estiveram fora de uso, como terras ociosas nas periferias das cidades, em terrenos urbanos, em canteiros domésticos e em áreas degradadas de pastagem.
- e) Elevação da eficiência da infraestrutura e logística das cadeias do agronegócio, cujo déficit é enorme, com reflexos diretos sobre a eficiência. Inicia-se por restrições de comercialização dadas pelo déficit de capacidade de armazenagem, que levam os produtores a perderem oportunidades proporcionadas pelo mercado, tanto na compra de insumos quanto na venda dos produtos, tanto em termos de preços quanto na tomada de decisão sobre a quantidade a ser produzida. Assim também, a eletrificação efetiva do meio rural permitirá ganhos de eficiência significativos, especialmente nas atividades para as quais a refrigeração é relevante, como a produção láctea e de frutas e verduras.
- f) Investimento no sistema de transporte. Nesse quesito, o Brasil é frequentemente citado na mídia e nos relatórios de entidades pelo fraco desempenho

e comprometedor aporte de itens da infraestrutura econômica. As carências do sistema de transporte podem ser identificadas na quantidade e na qualidade dos sistemas disponíveis, tanto nos sistemas rodoviários como no ferroviário e fluvial.

- g) Redução do desperdício, com níveis muito elevados na cadeia alimentar. Começa no produtor, que desperdiça parte da colheita/produção por problemas de manejo, falta de infraestrutura, informação, acessos; continua no transporte da fazenda para os pontos de comercialização, com grãos que caem dos caminhões, cargas a frio comprometidas ao longo do caminho, roubos de cargas; na armazenagem a chamada quebra técnica pode ser também mais elevada do que a que se justificaria em decorrência de má secagem, de instalações precárias, quedas de energia etc.
- h) Pesquisas com embarcadores e operadores procurando identificar as necessidades e os estrangulamentos logísticos, tanto nas operações de grandes fluxos quanto naquelas de suprimentos do varejo, aspectos que podem favorecer à redução de perdas e de custos, bem como ao desenvolvimento de novos modelos de interação empresas-cidades pela vertente acadêmica denominada *City logistics*.

Referências bibliográficas

- ABAG. **Logística e competitividade do agronegócio brasileiro**. SP: ABAG, 2015. 260p.
- BUAINAIN, A.M. Alguns condicionantes do novo padrão de acumulação da agricultura brasileira. In BUAINAIN; ALVES, SILVEIRA; NAVARRO (Editores Técnicos). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 211-240p. 1182 p.
- EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, 2016. 138p.
- OLIVERIA, A. L.R. A logística do agronegócio: para além do “apagão logístico”. In BUAINAIN; ALVES, SILVEIRA; NAVARRO (Editores Técnicos). **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 337-370.
- VIEIRA FILHO, J.E. E GASQUES, J.G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, DF: IPEA, 2016. 391p.

21

INSTRUMENTAÇÃO, ROBÓTICA, SENSORES, TI E *BIG DATA*

João de Mendonça Naime¹
Silvio Crestana²

21.1 Instrumentação, conectividade e agricultura inteligente

Entre os vários desafios que a humanidade enfrenta, destaca-se o de produzir, de forma crescente e sustentável, alimentos seguros e mais saudáveis, fibras e energia, num contexto de disponibilidade decrescente de terras e dos demais insumos agropecuários. Estima-se que a produção de alimentos deverá crescer 60% até o ano 2050 para atender a população, que deverá ultrapassar 9 bilhões. Cabe ao Brasil a tarefa maior de suprir cerca de 40% desse aumento de demanda.

A única forma de vencer esse complexo desafio é o emprego das mais avançadas tecnologias, oriundas de diversas áreas do conhecimento, para serem aplicadas nas cadeias de produção agropecuárias como ferramentas para a gestão integrada dos processos envolvidos, de forma análoga àquelas aplicadas nas indústrias mais modernas. O modelo de produção industrial encontra-se em transição para a chamada versão 4.0. Tudo indica que a agropecuária brasileira vai, rapidamente, saltar as etapas intermediárias e equiparar-se à indústria em nível

¹ Pesquisador e Chefe-Geral da Embrapa Instrumentação.

² Pesquisador Embrapa Instrumentação e Ex-Presidente da Embrapa.

tecnológico, conseguindo assim cumprir as metas que a conjuntura presente e futura lhe impõe, respeitando, é claro, as peculiaridades atinentes ao manejo de seus ecossistemas tropicais.

A Internet das Coisas (IoT), presente no meio industrial e chegando à área urbana, viabilizará no campo agrícola a obtenção de dados detalhados, em tempo real ou quase real, das condições do solo (física, química e biológica), da cultura (estado nutricional, disponibilidade de água, doenças, invasoras), do animal (saúde, bem-estar, parasitas), das máquinas e implementos (desempenho, consumo, produtividade, eficiência) e do clima, por exemplo.

A Agricultura Inteligente (*Smart Agriculture*) preconiza a junção de instrumentação agropecuária, nanotecnologia, biotecnologia, TICs (Tecnologias da Informação e Comunicação) e ciências cognitivas para criar condições de utilização plena da inteligência oriunda da pesquisa científica e do conhecimento tácito dos produtores. A inteligência artificial, a robótica, a impressão 3-D, os veículos autônomos, a computação em nuvem ou a fenotipagem de plantas são novidades e oportunidades tecnológicas que já estão alcançando os laboratórios e campos agrícolas e se somando aos ingredientes da agricultura inteligente e da agricultura de precisão.

Outra vertente que ganha impulso e que se alinha a essa mesma temática é a automação, considerando-se que há cada vez menos gente no campo, tornando a mão de obra escassa e cara, além de uma legislação trabalhista anacrônica e inadequada às condições da agricultura. O Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária – SNPA – (Embrapa, universidades e organizações estaduais de pesquisa agropecuária) insere-se nesse contexto com contribuições de destaque mundial na geração de pré-tecnologias e de ativos de conhecimentos para a agricultura tropical, inclusive em biotecnologia, nanotecnologia, instrumentação e TICs. Considerando-se um modelo de gestão baseado em instrumentação, conectividade e agricultura inteligente, podem-se elaborar um diagrama de processo de gestão integrada como o da Figura 1.

Na etapa de sensoriamento e coleta de dados, podemos incluir uma série de resultados da Embrapa e parceiros como: imagens aéreas de alta resolução (Vants) no espectro visível e/ou hiperespectral; fluorescência induzida por laser (doenças de plantas); espectroscopia de plasma induzida por *laser* (NPK e C); condutividade elétrica do solo (zonas de manejo); medida de compactação do solo; medida de propriedades físicas; condições físicas do animal; umidade e íons presentes no solo; estresse das plantas e momento apropriado para irrigação.

Em resumo, uma série de metodologias não convencionais e instrumentos que permitem conhecer espacial e temporalmente as variáveis de estado do solo, da cultura, do animal e do clima. Por meio de técnicas de *Big Data* e aprendizado

Figura 1. Instrumentação e Conectividade na Agricultura Inteligente.



Fonte: Figura preparada pelos autores.

de máquina, o expressivo volume de conhecimentos desenvolvidos pelo SNPA tornar-se-á um supercérebro virtual embarcado, materializado na Figura1, como a fase de análise agrícola. Desse modo, um gigantesco e complexo conjunto de dados visivelmente desconexos, sob a ótica da estatística clássica, passa a fazer pleno sentido para que o gestor da produção possa tomar decisões racionais na trilha da competitividade e sustentabilidade.

Analisando todas as etapas do processo de gestão integrada da produção, conclui-se que nenhuma instituição de PD&I ou empresa tem, individualmente, pleno domínio de todas as ciências e modelos de negócios necessários, para isoladamente viabilizar tal sistema de gestão. Uma estratégia possível seria a de potencializar os investimentos em P&D do país, por meio do compartilhamento em rede de infraestruturas laboratoriais, de campos experimentais e de pessoal, para reduzir custos operacionais e prazos de alcance dos resultados, otimizando os recursos humanos, financeiros e materiais disponíveis.

Nesse contexto, em São Carlos, buscando formular e implementar novos modelos de gestão, inovação e negócios, a Embrapa Instrumentação e a Embrapa Pecuária Sudeste estão formalizando com a USP e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) a viabilização de uma Unidade Mista de Pesquisa (Umip) em automação para sustentabilidade e competitividade da agropecuária. A Umip estará dedicada ao desenvolvimento de tecnologias que viabilizem a automação de siste-

mas integrados de produção pecuária intensiva. Sistemas integrados de produção permitem uma série de combinações entre lavoura, pecuária, floresta e produção de energia. A base física desse arranjo multi-institucional é o Laboratório de Referência Nacional em Agricultura de Precisão (Lanapre), situado no campo experimental de 5 ha da Embrapa Instrumentação e da Embrapa Pecuária Sudeste.

É uma estrutura singular e exemplar de sinergia positiva entre os poderes Executivo e Legislativo do Brasil, construída com recursos de emendas parlamentares (R\$ 7,2 milhões), e reunindo laboratórios de desenvolvimento de eletrônica embarcada, de processamento de imagens aéreas e instrumentação de vants, de mecânica dedicada a máquinas e implementos. O campo de testes com infraestrutura de água, energia elétrica e de redes de comunicação é contíguo aos laboratórios. No Lanapre, desenvolve-se eletrônica embarcada segundo a norma ISO 11783 (ISOBus), uma força tarefa internacional composta por instituições de P&D e pelas maiores empresas mundiais de máquinas e implementos agrícolas. O padrão ISOBus visa a compatibilidade desde conectores e cabos, passando por protocolos de comunicação, sensores e atuadores, chegando até às interfaces com usuários e aos padrões de arquivos eletrônicos gerados (mapas e bancos de dados). Tal compatibilidade faz-se essencial para se tirar o máximo proveito, em tomada de decisão para a gestão agrícola, a partir do conceito e materialização do *Big Data*.

Há mais de 30 anos, a Embrapa, em especial a Embrapa Instrumentação, desenvolve, em parceria com a USP, UFSCar e/ou empresas, uma série de equipamentos, sensores e implementos. Por exemplo, o Agribot, veículo autônomo desenvolvido e construído em parceria com Jacto e USP, possibilita transportar uma grande quantidade de sensores para mapeamento georreferenciado da cultura e do solo.

Também em parceria com a Jacto, foi implementado o padrão ISOBus numa barra de pulverização a taxa variada. Com a Baldan, foi construído um distribuidor de calcário a taxa variada no padrão ISOBus. Vant de baixo custo e com capacidade de gerar diagnósticos úteis para o produtor, imediatamente depois da aterrissagem, está sendo desenvolvido no projeto Embrapa-Qualcomm, no qual os *softwares* de processamento de imagens aéreas desenvolvidos pela Embrapa estão sendo implementados nos processadores Qualcomm. Na parceria Embrapa, Citrosuco e MMOptics está sendo desenvolvida a versão de campo do Photon Citros, sistema que é capaz de detectar o HLB (*greening*) em citros, seis meses antes de aparecerem os primeiros sintomas. Na parceria Embrapa-USP está sendo desenvolvida a versão de campo de um sistema de detecção de NPK e carbono no solo, baseado em espectroscopia de plasma induzido por *laser*, embarcado num *rover* similar ao *Curiosity*, da Nasa. Dessa forma, a Umip se apoia em infraestrutura existente e na longa experiência de parce-

rias entre as instituições envolvidas, com ênfase na inovação com empresas.

O terceiro ponto que completa a base estrutural dessa iniciativa pioneira no Brasil é uma carteira de projetos estrategicamente distribuídos ao longo do tempo, para gerar os resultados que viabilizarão o sistema de gestão inteligente aqui discutido. Um painel de especialistas formado por associações de produtores ligadas à pecuária de corte e de leite, instituições que promovem sistemas integrados como ILP e ILPF, produtores de máquinas e implementos, pesquisadores e gestores de políticas e mercados contribuíram decisivamente para priorizar as demandas de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Destacam-se as seguintes demandas, mais importantes e urgentes:

Desenvolver tecnologias voltadas à aplicação racional e sistematizada de insumos com indicadores de aproveitamento (redução de desperdícios e melhoria no aproveitamento de insumos);

- a) Desenvolver ferramentas para melhoria constante dos processos de produção (adoção de boas práticas etc.) referenciada por indicadores de aumento de produtividade;
- b) Desenvolver soluções para armazenamento e análise de dados, visando recomendações úteis aos produtores e aos demais elos das cadeias produtivas.

Resta ainda destacar as enormes possibilidades de parcerias públicas e privadas em inovação tecnológica e institucional, assim como as oportunidades de se gerar *start-ups*, novos modelos de negócios e novos serviços, a partir da conectividade, da instrumentação e da agricultura inteligente. Soma-se a isso a oportunidade óbvia de integração campo-cidade, conectando as cidades inteligentes com a agricultura inteligente. Formar recursos humanos qualificados, de acordo com o novo perfil profissional de empreendedorismo exigido pelo mercado, assim como desenvolver ciência básica e aplicada aos ecossistemas tropicais, incluindo a cooperação internacional, torna-se mais imperativo do que já foi no passado. Oportunidades como essas não podem ser desperdiçadas, a menos que queiramos pagar o preço de arcar com as responsabilidades históricas de tornar o país tecnologicamente dependente, justamente na agropecuária e no agronegócio.

Esse é o maior negócio do país e o que lhe dará sustentação, tanto para garantir sua Segurança Alimentar, como para viabilizar o saldo positivo na balança comercial, com exportações dos excedentes de produção. Cabe à inteligência brasileira, unida através de instituições como a Academia Brasileira de Ciências, protagonizar a missão histórica de preparar o país para trilhar os caminhos da educação, da inovação e dos negócios, para impulsionar definitivamente o seu crescimento e desenvolvimento competitivo e sustentável. Indubitavelmente, o potencial de ganhos com a agricultura Inteligente constitui-se em oportunidade que tem que ser aproveitada.

21.2 Conclusões

Entre as várias oportunidades e desafios enfrentados, destaca-se o de produzir, de forma crescente e sustentável, alimentos seguros e mais saudáveis, fibras e energia, mas com disponibilidade decrescente de terras e dos demais insumos agropecuários. Nesse contexto, as prioridades para ações de PD&I, em termos de Instrumentação, robótica, sensores, TI e *Big Data* incluem:

- a) Promoção do emprego das mais avançadas tecnologias, oriundas de diversas áreas do conhecimento, para serem aplicadas nas cadeias de produção agropecuária como ferramentas para a gestão integrada dos processos envolvidos, de forma análoga àquelas aplicadas nas indústrias mais modernas. A Internet das Coisas (IoT), presente no meio industrial e na área urbana, viabilizará no campo agrícola a obtenção de dados detalhados, em tempo real ou quase real, das condições do solo (física, química e biológica), da cultura (estado nutricional, disponibilidade de água, doenças, invasoras), dos animais (saúde, bem-estar, parasitas), das máquinas e implementos (desempenho, consumo, produtividade, eficiência) e do clima.
- b) Desenvolvimento da automação, considerando-se que há cada vez menos gente no campo, tornando a mão de obra escassa e cara, além de uma legislação trabalhista anacrônica e inadequada às condições da agricultura.
- c) Viabilização de uma série de metodologias não convencionais e instrumentos que permitem conhecer espacial e temporalmente as variáveis de estado do solo, da cultura, do animal e do clima. Por meio de técnicas de *Big Data* e aprendizado de máquina, o expressivo volume de conhecimentos tornar-se-á um supercérebro virtual embarcado, materializado, como a fase de análise agrícola. Desse modo, um gigantesco e complexo conjunto de dados visivelmente desconexos, sob a ótica da estatística clássica, passará a fazer pleno sentido para que o gestor da produção possa tomar decisões racionais na trilha da competitividade e sustentabilidade.
- d) Potencialização de investimentos em PD&I, por meio do compartilhamento em rede de infraestruturas laboratoriais, de campos experimentais e de pessoal para reduzir custos operacionais e prazos de alcance dos resultados, otimizando os recursos humanos, financeiros e materiais disponíveis.
- e) Viabilização da Unidade Mista de Pesquisa (Umip) da UFSC, em automação para sustentabilidade e competitividade agropecuária. A Umip estará dedicada ao desenvolvimento de tecnologias que viabilizem a automação de sistemas integrados de produção pecuária intensiva, que permitem uma série de combinações entre lavoura, pecuária, floresta e produção de energia.
- f) Desenvolvimento no contexto do projeto Embrapa-Qualcomm, no qual os softwares de processamento de imagens aéreas desenvolvidos pela Embr-

pa estão sendo implementados nos processadores Qualcomm e na parceria Embrapa, Citrusuco e MMOptics para continuar o desenvolvimento da versão de campo do Photon Citros, sistema que será capaz de detectar o HLB (*greening*) em citros, seis meses antes de aparecerem os sintomas.

- g) Fortalecimento da carteira de projetos distribuídos ao longo do tempo, para gerar os resultados que viabilizarão o sistema de gestão inteligente. As demandas mais importantes e urgentes incluem: tecnologias voltadas à aplicação racional de insumos com indicadores de aproveitamento (redução de desperdícios e melhoria no aproveitamento de insumos); ferramentas para melhoria constante dos processos de produção (adoção de boas práticas etc.) referenciada por indicadores de aumento de produtividade; e soluções para armazenamento e análise de dados, visando recomendações úteis aos produtores e aos demais elos das cadeias produtivas.

Referências bibliográficas

- BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V.; INAMASU, R. Y.; BASSOI, L. H. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 596 p.
- NAIME, J. de M.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, W. T. L. da; CRUVINEL, P. E.; MARTIN-NETO, L.; CRESTANA, S. (Ed.). **Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura Brasília, DF: Embrapa, 2014. 412 p.**
- SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014, São Carlos, SP. Anais do SIAGRO: ciência, inovação e mercado 2014. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2014. 738 p. Editores: Carlos Manoel Pedro Vaz, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori, Silvio Crestana.

22

AGRICULTURA E CONECTIVIDADE COM O SETOR PRIVADO

Geraldo Berger¹

22.1 Situação geral

O Brasil passou de importador para um dos principais exportadores de alimentos no mundo nos últimos 40 anos, sendo hoje o maior exportador mundial de café, açúcar, suco de laranja, etanol de cana-de-açúcar, frango e soja, e o terceiro maior de carne bovina e algodão. Segundo a Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária, (EMBRAPA, 2016), no período de 1960 a 2012, as exportações do setor do agronegócio chegaram a 350 itens. Os maiores parceiros comerciais do Brasil são a União Europeia, a China, os Estados Unidos, o Japão, a Rússia e a Arábia Saudita (OCDE/FAO, 2015). A importância do setor se reflete em números e, se for considerado que o volume total exportado pelo Brasil em 2015 gerou US\$ 191,1 bilhões em divisas, verifica-se que 46% desse número foi relativo às exportações do agronegócio (CONAB, 2016). A produção de alimentos no país cresceu rapidamente, principalmente nas últimas duas décadas, em função de avanços tecnológicos, preço das *commodities* e aumento da demanda mundial.

Segundo o *Economic Research Service/USDA* (ERS/USDA, 2017), as mudanças nas práticas de manejo, a expansão da área colhida e o aumento da produtividade

¹ Senior Science Fellow, Monsanto.

permitem que o Brasil tenha uma situação que lhe permitirá liderar e ampliar as exportações de produtos alimentícios como soja, milho, açúcar, carne, café e etanol. A continuidade desse crescimento é esperada, sendo que o setor, apesar da crise econômica e política do país, passa por um momento de forte expansão, produzindo, por exemplo, mais uma safra recorde de grãos em 2016/2017. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB, em seu 4º Levantamento da Safra 2016/2017, realizado em Janeiro/2017, a estimativa da produção de grãos foi de aproximadamente 215 milhões de toneladas, o que representa um crescimento de 15,3% em relação à safra anterior, e uma estimativa de área plantada próxima a 59 milhões de hectares, representando também um crescimento de 1,3% em relação a 2015/2016 (CONAB, 2017).

22.2 Evolução da agropecuária

A evolução da agropecuária brasileira realizou-se via colaborações de diversas iniciativas público-privadas, seguindo-se investimentos em formação acadêmica e profissional a partir das instituições públicas brasileiras. Os investimentos em ciência e tecnologia e outras políticas públicas são reconhecidos internacionalmente como fatores que levaram o Brasil a explorar seu potencial agrícola e aumentar sua produtividade nas últimas décadas (RADA; VALDES, 2012). O destaque dessa evolução em agropecuária é a contribuição da Embrapa para as diversas culturas e regiões de produção agropecuária no Brasil (RADA; VALDES, 2012; ERS/USDA, 2017). A Embrapa é um exemplo singular de pesquisa, fomento e desenvolvimento de novas tecnologias, biotecnologias, sistemas de cultivo e cultivares adaptadas para as diferentes regiões do país, sendo uma referência em ciência agropecuária para o mundo.

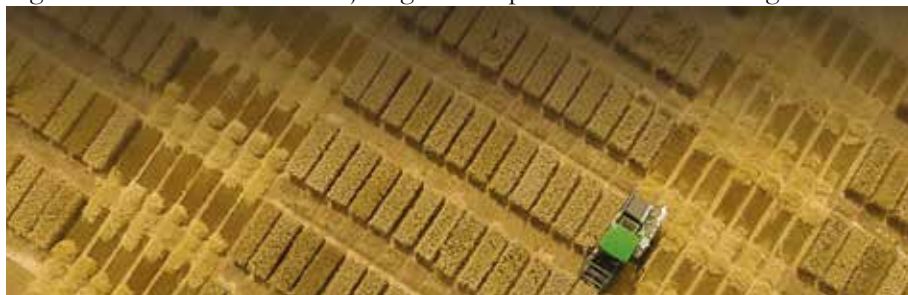
Um dos bons exemplos da evolução agropecuária e de inovação criativa e coletiva foi o desenvolvimento do plantio direto na palha no Brasil a partir da década de 1970 (Figuras 1 e 2). Este sistema de produção permite que os cultivos de espécies anuais possam ser conduzidos de maneira a reduzir drasticamente a erosão do solo e melhorar a sustentabilidade do sistema produtivo. Considerando o ambiente tropical do Brasil, o Sistema de Plantio Direto permite também que o agricultor possa realizar o plantio de duas culturas durante a mesma safra de verão, sem o revolvimento e preparo do solo (*no tillage*). Indo além, o Brasil possui regiões onde é possível ter até três safras dentro do mesmo ano (DA SILVA et al., 2015, LANGE, 2015; FARMING, 2016), fazendo com que o país tenha oportunidades únicas para o aumento da produção sustentável de alimentos no mundo, utilizando apenas 8% do território para a agricultura, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Figura 1. Foto. Soja em Sistema de Plantio Direto.



Fonte: Preparada pelo autor.

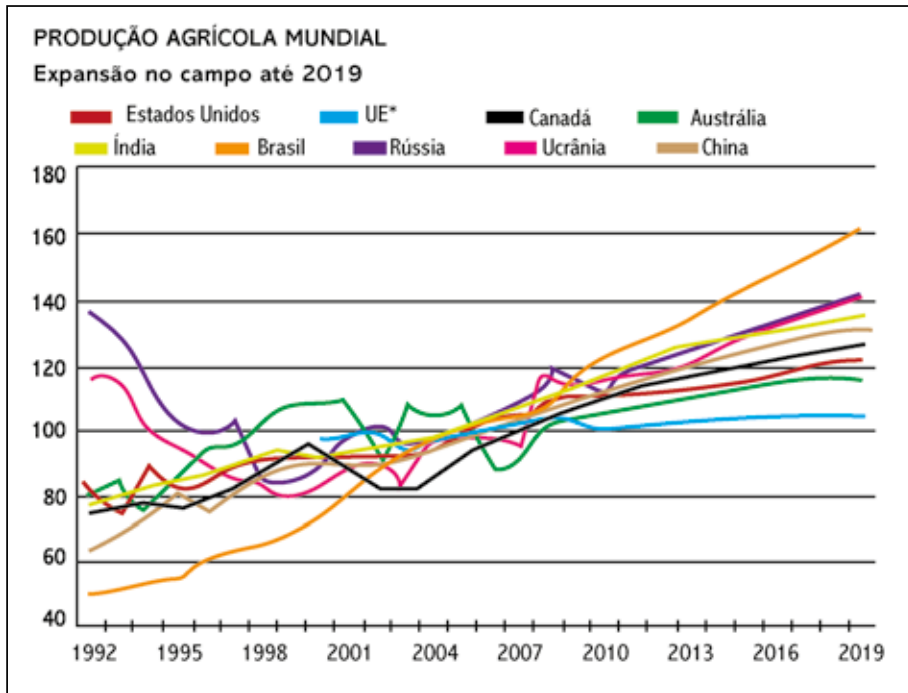
Figura 2. Foto. Colheita de soja seguida do plantio de milho de segunda safra.



Fonte: Preparada pelo autor.

Se considerarmos as principais culturas anuais no Brasil, observamos que a produtividade de grãos aumentou aproximadamente 2,5 vezes, enquanto a área de plantio foi ampliada em apenas 1,3 vezes nos últimos 40 anos. O Gráfico 1 mostra a estimativa da expansão da produção agrícola mundial até 2019, destacando-se o Brasil. Isso se deve à adoção de cultivares cada vez melhores, mais produtivas e adaptadas às condições tropicais, aos novos sistemas de cultivo, às práticas agrícolas mais eficientes e às novas tecnologias adotadas com rapidez no país. Outro aspecto extremamente relevante para conseguir esse avanço foi o estabelecimento de alguns marcos legais que criaram o incentivo ao investimento privado de longo prazo em agropecuária no Brasil. Nos últimos 15-20 anos, foram estabelecidas a Lei de Propriedade Industrial (Patentes), a Lei de Proteção de Cultivares, a Lei de Biossegurança e a Lei de Sementes. Esses marcos regulatórios formam hoje um arcabouço de legislação mínimo que permite que o investidor privado tenha maior segurança jurídica para aportar recursos e investimentos vultosos de capital físico e humano para o desenvolvimento de novas tecnologias na agropecuária brasileira. Esse tipo de investimento tem um período inicial de maturação em torno de 10 anos; portanto, a estabilidade dos marcos legais é fundamental para fomentar estes investimentos.

Gráfico 1. Produção agrícola mundial²



Fonte: FAO/OECD, 2015.

Em 1998, o primeiro produto da biotecnologia agrícola foi aprovado para utilização comercial no Brasil. Próximo de 20 anos depois dessa aprovação, dezenas de milhares de diferentes estudos e pesquisas em biotecnologia foram realizados no país, possibilitando que os agricultores brasileiros tenham à sua disposição 59 produtos derivados de biotecnologia para utilização em suas lavouras. Além dessas culturas vegetais, a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) já aprovou também várias vacinas recombinantes para uso humano e animal e mecanismos biológicos para produção de biocombustíveis de segunda geração (utilização de biomassa). No total, são 102 produtos geneticamente modificados (OGMs) aprovados no Brasil até o momento, sendo que todos passaram pela avaliação de biossegurança da CTNBio e foram considerados tão seguros quanto as suas contrapartes convencionais.

Em junho de 2016, mais de 100 cientistas laureados com o Prêmio Nobel assinaram uma carta que atesta a segurança e a importância dos OGMs, juntamente com a campanha *Support GMOs and Golden Rice* (<http://supportprecisio->

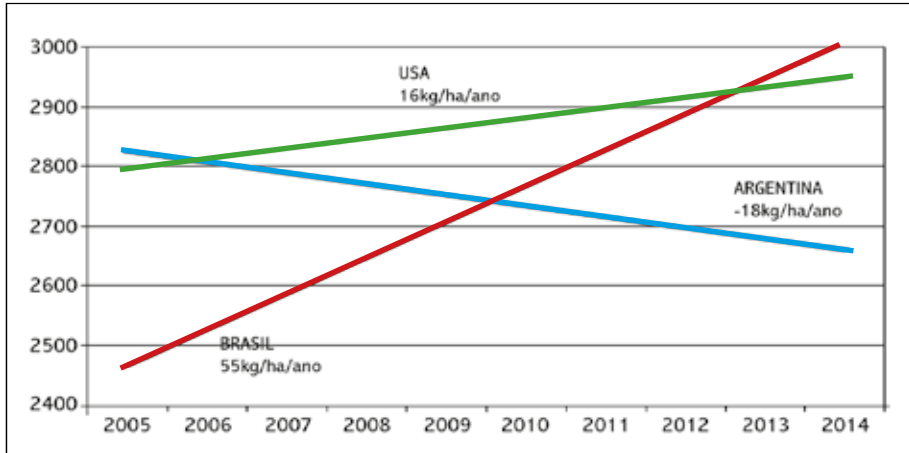
² Disponível em: <https://fernandonogueiracosta.wordpress.com/2010/06/23/brasil-celeiro-agricola-do-mundo/>. Acesso em 20 de jul. 2018.

nagriculture.org/), que conta com a assinatura de 123 Prêmios Nobel e milhares de cientistas e cidadãos. A carta enfatiza a necessidade de que a produção global de alimentos, fibras e ração cresça em mais de 70% para atender o Desafio 2050 da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), que tem como objetivo combater a fome e buscar maneiras mais eficazes de diminuir e eliminar o desperdício de alimentos no mundo. Em maio de 2016, um relatório da National Academies of Sciences, Engineering and Medicine dos Estados Unidos da América (The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2016), afirmou que não há evidência substancial de que culturas geneticamente modificadas (GM) tenham afetado a saúde da população ou causado algum efeito adverso no meio ambiente desde que são utilizadas.

Similar ao que acontece com a biotecnologia, significativos investimentos foram realizados em melhoramento genético em diversas culturas no Brasil, permitindo o desenvolvimento de milhares de novas cultivares adaptadas às diferentes regiões produtivas no país. Até 2016, no período que se seguiu à aprovação da Lei de Proteção de Cultivares, o Registro Nacional de Cultivares (RNC), do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), registrou 2.980 cultivares de milho, 1.631 de soja, 381 de feijão, 259 de trigo e 215 de algodão. Nota-se que as culturas que tiveram maior atenção do setor privado foram aquelas que têm um mecanismo de remuneração do investimento e oportunidade de negócios estabelecidos. A combinação de investimentos em fitotecnia, equipamentos, melhoramento genético e biotecnologia, criando um polo singular de inovação, possibilitou que o Brasil se tornasse a região mais eficiente em produção agropecuária em ambiente tropical do mundo. Utilizando a soja como um exemplo deste resultado de inovação cumulativa, observa-se um significativo ganho genético de produtividade nos últimos 10 anos, colocando o Brasil como o país com maior produtividade nesta cultura, com uma estimativa próxima de um saco de soja por hectare por ano (Gráfico 2: um saco = 60 Kg). Isso foi possível por meio da integração de esforços e investimentos do setor público e privado de forma consistente durante os últimos 20 anos. Este é um bom exemplo a ser considerado para o Desafio 2050 da FAO, que mostra que o mundo precisará aumentar a produção de alimentos em 70% para atender à crescente demanda global (FAO, 2009).

O avanço sem precedentes na produção agropecuária brasileira se deve aos efeitos colaborativos e criativos mencionados anteriormente, com forte base acadêmica combinada a investimentos privados mostrando-se um exemplo de sucesso para o mundo. Esse investimento crescente ainda evolui a cada dia, a tal ponto que o melhoramento genético e a biotecnologia se beneficiam do conceito previsto na Lei de Moore (THACKRAY; BROCKD; JONES, 2015), pela qual o custo de cada dado gerado é proporcionalmente menor a cada ano. Isso

Gráfico 2. Ganho genético de produtividade na soja a partir de 2005.



Fontes: ERS/USDA (2017); CONAB (2016).

possibilitou que, a partir de 2016, os programas de melhoramento genético pas-saram a utilizar tecnologias de marcadores e mapas moleculares para possuírem a informação do sequenciamento genético completo de cada indivíduo testado, possibilitando aos pesquisadores a seleção de indivíduos a partir do *Genome Wide Selection* (GWS) para as principais culturas. Essa evolução propiciará um ganho genético ainda mais relevante nos próximos anos.

22.3 Perspectivas tecnológicas

Existem diversas novas técnicas de melhoramento molecular e biotecnologia como a edição gênica, a biologia sintética, técnicas inovadoras de melhoramento de precisão (TIPMs), habilidade computacional e analítica de maneira não antes possível, para aplicação em diversas áreas da ciência. Há novas evoluções em agricultura de precisão, digitalização e automação que ampliarão a intensificação sustentável (LOPES, 2016) da agropecuária nos próximos anos. Porém, ainda temos uma lacuna entre os rendimentos obtidos em parcelas experimentais, campeões de produtividade e produtividade média do Brasil. As diferentes tecnologias: biotecnologia, melhoramento genético, *data science* e *analytics* serão os elementos básicos para aproximar a produtividade média do país à produtividade máxima obtida pelos campeões de produtividade.

A demanda por alimentos mais nutritivos e funcionais é um vetor fundamental para a nova sustentabilidade na agropecuária de hoje e, especialmente,

do amanhã. A medicina evoluindo cada vez mais para a prevenção de doenças e para a vida mais saudável demandará do setor agropecuário a habilidade de produzir alimentos praticamente customizados para uma dieta mais voltada ao indivíduo, visto que a saúde de cada um é diferente, individualizada e com informações genéticas e genômicas pessoais. Como exemplo, atualmente é possível obter o sequenciamento genético de uma pessoa em menos de 24 horas, a um custo razoavelmente baixo, se comparado aos primeiros sequenciamentos realizados. Portanto, cada indivíduo poderá saber seu “risco saúde” e estabelecer uma dieta que seja compatível com seu genoma, microbioma e histórico familiar.

Além disto, a população mundial está cada vez mais urbanizada. Portanto, os espaços urbanos devem integrar-se à produção agrícola sustentável, como, por exemplo, a utilização de espaços urbanos em *roof tops* e agricultura vertical, para aproveitar os espaços urbanos e aumentar ainda mais a sustentabilidade e disponibilidade da produção agropecuária para a população global. A automação e a digitalização da agricultura para o uso do agricultor estão presentes e são uma realidade crescente, possibilitando que o agropecuarista monitore, execute atividades e tome decisões com base em dados antes indisponíveis.

Há uma necessidade urgente de se criar um ambiente simples e desburocratizado que fomente o investimento privado, aumente o empreendedorismo em agricultura e amplie um ambiente de inovação contributiva entre entes do setor público e privado. Essa plataforma aberta e interativa criará, naturalmente, as interações necessárias para que o nosso país continue na liderança da produção sustentável da agropecuária, preservando o meio ambiente e fazendo a utilização sustentável e renovável dos recursos naturais. Para tanto, é fundamental que um sistema normativo consistente e baseado em ciência que fomente a inovação proteja a propriedade intelectual e permita uma estabilidade para os investimentos de longo prazo que são fundamentais para ampliar a produtividade de nossos sistemas produtivos nas diferentes culturas e regiões do Brasil.

22.4 Conclusões

As oportunidades e desafios para Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em ciências agrárias incluem:

- a) manter e ampliar os ganhos de produtividade, com preservação do meio ambiente, para ampliar a segurança alimentar no país e no mundo. Para isso, serão necessários investimentos adicionais em áreas de ponta como biotecnologia, nanotecnologia, engenharia e melhoramento genético, tecnologia

- da informação e realidade virtual, para aumentar a eficiência e reduzir custos de produção, comercialização e reconversão de áreas degradadas.
- b) ampliar as parcerias público-privadas na concepção, financiamento e implementação de ações de PD&I, com vista ao desenvolvimento de novas cultivares e sistemas de produção que poupem terra, trabalho e capital, com efeitos benéficos para o meio ambiente.
 - c) incrementar os programas de melhoramento genético, com tecnologias de marcadores e mapas moleculares para terem informação do sequenciamento genético completo de cada indivíduo testado, possibilitando aos pesquisadores a seleção de indivíduos a partir do *Genome Wide Selection* (GWS), para as principais culturas. Essa evolução propiciará um ganho genético ainda mais relevante nos próximos anos. Existem diversas novas técnicas de melhoramento molecular e biotecnologia, como Tecnologias Inovadoras de Melhoramento de Precisão também chamadas de novas tecnologias de melhoramento (PBIs ou *Plant Breeding Innovations*) edição gênica, biologia sintética, habilidade computacional e analítica de maneira não antes possível para aplicação em diversas áreas da ciência.
 - d) promover novas evoluções em agricultura de precisão, digitalização e automação que irão ampliar a intensificação sustentável da agropecuária nos próximos anos. Porém, ainda há uma lacuna entre os rendimentos obtidos em parcelas experimentais, campeões de produtividade e produtividade média do país. As diferentes tecnologias: biotecnologia, melhoramento genético, *data science* e *analytics* serão os elementos básicos para aproximar a produtividade média do país à produtividade máxima obtida pelos campeões de produtividade.
 - e) a demanda por alimentos mais nutritivos e funcionais é um vetor fundamental para a sustentabilidade agropecuária atual e futura. A medicina evoluindo para a prevenção de doenças e para a vida mais saudável demandará do setor agropecuário a habilidade de produzir alimentos praticamente customizados para uma dieta cada vez mais voltada ao indivíduo, visto que a saúde de cada um é diferente, individualizada e com informações genéticas e genômicas pessoais.
 - f) há necessidade urgente de criar um ambiente desburocratizado para fomentar investimento privado, motivar o empreendedorismo na agricultura, e ampliar o ambiente de inovação contributiva entre entes do setor público e privado. Essa plataforma aberta, interativa, baseada em ciência que proteja a propriedade intelectual criará, naturalmente, as interações necessárias para que o país continue na liderança da produção sustentável da agropecuária, preservando o meio ambiente e fazendo a utilização sustentável e renovável dos recursos naturais.

Referências bibliográficas

- CONAB (Brasil). **Perspectivas para a agropecuária**. Volume 4, Safra 2016/2017. Setembro/2016. 129p. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_13_09_06_46_perspectivas_da_agropecuaria_2016-17_digital.pdf. Acesso em: 6 fev. 2017.
- _____. 4º Levantamento – Janeiro/2017. Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos. Brasília, DF: 2017.
- DA SILVA, O.F.; LANNA, A.C.; FERREIRA, C.M.; WANDER, A.E.; OLIVEIRA, M.G.C.; SOARES, D.M.; NICOLI, C.M.L.; SANTIAGO, C.M.; BARRIGOSI, J.A.F.; MELO, L.C.; PELOSO, M.J.D. 2015. **Desempenhos socioeconômico e ambiental da cultivar de feijão comum BRS Pontal**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222100019>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Brasília, DF: Embrapa, Secretaria de Comunicação, 2016. 138p.
- ERS/USDA. 2017. **International Markets and Trades – Countries and Regions – Brazil**. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/topics/international-markets-trade/countries-regions/brazil/>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- FAO. **Global agriculture towards 2050**. High Level Expert Forum – How to Feed the World in 2050. Rome: October/2009. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf>. Acesso em: 7 fev. 2017.
- FARMING. Área da primeira safra de milho deve crescer 17% no Paraná. Disponível em: <http://sfagro.uol.com.br/safra-graos-parana/>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- LANGE, A. O milho safrinha em SPD no médio-norte do MT. **A Granja**, 797, 05/2015. Disponível em: <http://www.edcentaurus.com.br/materias/granja.php?id=6903>>. Acesso em: 6 fev. 2017.
- LOPES, M. Intensificação sustentável é realidade no agro brasileiro. Disponível em: www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18530376>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- OCDE/FAO. Agricultura Brasileira: Perspectivas e Desafios – OCDE/FAO 2015. Capítulo 2. Tradução livre. Disponível em: <http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Versão original do relatório disponível em: www.agri-outlook.org. Acesso em: 20 ago. 2018.
- RADA, N. e VALDES, C. 2012. Policy, Technology, and Efficiency of Economic Brazilian Agriculture. **Research Report**. N.137. July 2012, ERS/USDA. 37p.
- THACKRAY, A.; BROCK, D.; JONES, R. **Resumo de Lei de Moore**. A

vida de Gordon Moore, o revolucionário silencioso do Vale do Silício. Basic Books, 2015. Disponível em: <<https://www.getabstract.com/pt/resumo/industria/lei-de-moore/25844>> Acesso em: 7 fev. 2017.

THE NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE. 2016. Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects. The National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. The National Academies Press (www.nap.edu). 584p. Acessado em 07/02/2017: <http://www.nap.edu/catalog/23395/genetically-engineered-crops-experiences-and-prospects>. Acesso em: 20 ago. 2018.

THE WASHINGTON POST. 2016. 107 Nobel laureates sign letter blasting Greenpeace over GMOs, by Joel Achenbach. Acessado em 07/02/2017: https://www.washingtonpost.com/news/speaking-of-science/wp/2016/06/29/more-than-100-nobel-laureates-take-on-greenpeace-over-gmo-stance/?utm_term=.7a8500e83eaa. Acesso em: 20 ago. 2018.

VAN EENENNAAM, A.L. e YOUNG, A.E. 2014. Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. J ANIM SCI 92: 4255-4278.

23

REDE NACIONAL DE PESQUISA E INOVAÇÃO PARA A AGROPECUÁRIA-RNPA: Uma proposta¹

Evaldo Ferreira Vilela²
Geraldo M. Callegaro³

23.1 Introdução

Diante da absoluta necessidade de produzir alimentos para fazer frente à demanda de um Brasil que se industrializava e se desenvolvia nos anos de 1970 e, assim, conseqüentemente, conseguir a redução de uma crescente importação de produtos alimentícios, foi articulado um grande esforço nacional para que a Ciência aportasse soluções para o incremento da agricultura brasileira. Esse movimento gradativamente levou a uma das maiores invenções brasileiras, a Agricultura Tropical. As universidades vocacionadas para a agricultura foram fortalecidas e criou-se a Embrapa, dando início a um trabalho de compartilhamento de idéias e ações em pesquisa científica e tecnológica, com a cooperação entre pesquisadores e a interação com agricultores empreendedores, em um processo de geração e adaptação de tecnologias e inovações para a produção de alimentos no país.

Foi o início, nos primeiros anos da Embrapa, do Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária, SCPA, que, mais tarde, transformou-se no Sistema Na-

1 Contribuição à Plataforma Digital da Embrapa: Agricultura e Desenvolvimento Sustentável.

2 Professor Titular e ex-Reitor da UFV, Membro da Academia Brasileira de Ciências e atual Presidente da FAPEMIG.

3 Bolsista da FAPEMIG em Desenvolvimento Econômico e Reforma Institucional.

cional de Pesquisa Agropecuária – SNPA, constituído pela Embrapa⁴, Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária – OEPAS, universidades e institutos de pesquisa de âmbito federal e estadual, além de outras organizações públicas e privadas, direta ou indiretamente vinculadas à atividade agrícola. Possivelmente, o SNPA foi a primeira rede de pesquisa bem estabelecida no Brasil. O sistema perdura até hoje, porém, exauriu-se em sua funcionalidade, por razões apontadas em vários estudos (CGEE, 2016).

Chegamos ao século XXI e o SNPA necessita ser atualizado, revigorado, como parte de um ecossistema tecnológico de vanguarda dedicado à agricultura, perfeitamente adaptado aos tempos digitais e à bioeconomia. Um novo sistema em rede, capaz de promover ambientes não hierarquizados, fortemente sustentados por atividades em *coworking* e ágil no empoderamento de talentos e de conexões institucionais em nível global. A complexidade dos desafios do mundo atual trouxe para a investigação científica mudanças profundas, tanto no modo de fazer quanto no modo de disponibilizar seus resultados para a sociedade. Requer hoje intensa colaboração e foco na solução de problemas reais, sendo assim uma pesquisa que gera conhecimentos novos, tecnologias e suas aplicações, para o presente e o futuro da Agricultura Tropical, para que ela possa evoluir na produção de mais alimentos com muito mais sustentabilidade. Dependemos dos frutos dessa agricultura, e de seus negócios, para fazer frente às demandas sociais, à segurança alimentar e ao combate às desigualdades socioeconômicas do país.

A Embrapa, na implementação do seu Programa de Pesquisa, tem buscado a formação de redes que incluam clientes e instituições financiadoras, públicas e privadas, nacionais e internacionais. Observa-se, no entanto, que fossem as atuações individuais mais proativas, o resultado seria muito mais efetivo. Nas redes constituídas nos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia – INCT/MCTI –, como é o caso do INCT do Café, baseado na UFLA, e do INCT da Produção Animal, baseado na UFV, há intensa proatividade na gestão e diversidade de competências, o que contribui para a maior efetividade do trabalho. O uso da web tem sido um instrumento valioso para estimular a participação interativa da comunidade das redes, como acontece na Rede de Inovação Tecnológica para a Defesa Agropecuária – RITDA⁵, do Projeto Inova-Defesa, financiado pelo CNPq/CTA Agro/MCTI, e resumido no Apêndice 1.

4 Disponível em: <<https://www.embrapa.br/snpa>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

5 RITDA - Rede de Inovação Tecnológica para Defesa Agropecuária, resultante do Projeto 064/2008/CNPq, hoje com 7277 participantes do país e do exterior: Disponível em: <<http://inovadefesa.ning.com>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

23.2 Caracterização de redes, inovação e agronegócio

É estratégico para o país constituir um novo sistema de pesquisa agropecuária, que substitua o SNPA, observando-se, necessariamente, como funcionam as atuais redes de pesquisa globais, focadas nos desafios futuros de um mundo em profundas e rápidas transformações. São redes que articulam e potencializam as fortalezas de seus participantes, no âmbito da economia do conhecimento. Assim, um novo SNPA deve assemelhar-se às redes amplamente difundidas nos ambientes renomados de PD&I globais, que conseguem avanços importantes, nas mais diversas áreas do conhecimento, a um custo/benefício muito favorável diante das inovações alcançadas.

O enfrentamento dos desafios atuais e futuros (Apêndice 2) da Agricultura Tropical, como a sua expansão crescente e sustentável, tendo em conta a realidade dos nossos biomas, somente será conseguido com a geração de novos conhecimentos científicos e tecnológicos e sua aplicação em inovações capazes de favorecer os produtores rurais. Na base da formação dessas redes, além dos atributos já elencados, está a aplicação prática do modelo da Triple Helix (SAAD et al., 2011), constituído por universidades, governos e empresas. Há uma tendência de incorporar uma quarta e importante hélice: a comunidade interessada. Isto pressupõe compreender o ambiente onde se processam as relações e desenvolver estratégias de aprimoramento cognitivo. Em suma, aprimorar o diálogo entre Ciência e Sociedade.

O termo rede tem múltiplas aplicações, como em rede de ensino, rede elétrica, rede de televisão e muitas outras. No contexto da pesquisa científica e tecnológica, uma rede é hoje entendida como um ambiente aberto, que integra os “nós” que compartilham os mesmos objetivos, valores e códigos de comunicação. Uma rede de pesquisa é, necessariamente, formada por pesquisadores que compartilham um ambiente não hierárquico, altamente dinâmico, capaz de gerar novos conhecimentos, novas tecnologias e inovações, sem ameaças ao seu equilíbrio. A morfologia da rede deve ser uma fonte permanente de drástica reorganização de relações de poder, sendo fundamental que os integrantes compreendam o conceito e o significado das características essenciais de uma rede de interesse para PD&I, como, indicado na Tabela 1.

O termo inovação, por sua vez, se aplica a produtos, processos ou serviços percebidos como novos pelo mercado e que geram melhores resultados para quem os produz, seja ampliando vantagens competitivas, reduzindo custos, otimizando recursos ou aumentando a satisfação dos clientes. Produtos, processos ou serviços inovadores podem igualmente gerar benefícios sociais, sem ganho financeiro. Ideias novas ou recicladas, com potencial, devem ser desenvolvidas para criar valor. Ideia sem valor não ajuda a inovação. A gestão da inovação é fundamental para criar novos negócios.

Tabela 1. Características de uma rede de PD&I.

CARACTERÍSTICAS:	O QUE SIGNIFICA:
HORIZONTALIDADE	Premissa essencial para uma rede: todos têm o mesmo poder de decisão.
LIDERANÇAS MÚLTIPLAS	Não há chefes na rede, mas, sim, muitos líderes.
OBJETIVOS COMPARTILHADOS	Somente há rede se seus membros compartilham os mesmos objetivos e valores.
LIVRE INTERCOMUNICAÇÃO HORIZONTAL	O fluxo de informação é livre entre os membros da rede, salvo restrições impostas pela propriedade intelectual.
CORRESPONSABILIDADE	Todos os membros são corresponsáveis pelo funcionamento da rede, o que requer iniciativa individual e coworking.
DEMOCRACIA	A participação na rede se dá de forma democrática, pautada na transparência das relações.
SOLIDARIEDADE	As redes se contrapõem à cultura do “levar vantagem” do “guardar para si”.
AUTONOMIA E EMPODERAMENTO DOS SEUS MEMBROS	Organizar-se em rede pressupõe a busca continuada da emancipação de seus membros, sendo, portanto, uma operação de natureza dinâmica.
LIVRE ENTRADA E SAÍDA	A rede está sempre aberta à entrada e à saída de participantes.

Fonte: Preparada pelos autores com informação de SAAD et al., 2011.

Já o termo agronegócio⁶, que surgiu em 1957 e foi integrado à legislação brasileira, é definido como a cadeia de negócios que integra as atividades econômicas organizadas de fabricação e fornecimento de insumos, produção, processamento, beneficiamento e transformação, comercialização, armazenamento, logística e distribuição de bens agrícolas, pecuários, de reflorestamento e da pesca e seus subprodutos e resíduos de valor econômico. Como no Brasil, em geral, o termo agronegócio suscita reações contrárias, pode ser empregado com a devida contextualização do seu valor para a alimentação.

6 Projeto de Lei do Senado n. 487, Art. 681, de 2013, que destaca o agronegócio e as atividades empresariais no agronegócio e em seus conceitos fundamentais.

23.3 Proposta da Rede Nacional de Pesquisa e Inovação para a Agropecuária

A RNPA é proposta como uma rede que congregará instituições públicas e privadas de PD&I, universidades, associações de produtores, agências públicas e privadas de assistência técnica e extensão rural, empresas privadas do setor agrossilvipastoril e de agroindústrias. A gestão da rede deverá ser feita por um Grupo Gestor, com representação das instituições partícipes, incluindo lideranças, oriundos de PD&I, devendo merecer atenção os seis biomas terrestres e o bioma aquático existentes no Brasil. Ponto relevante é que as lideranças de PD&I nascerão espontaneamente dos participantes da rede.

Objetivos a serem seguidos pela nova rede de pesquisa agropecuária:

- Compatibilização de diretrizes e estratégias da pesquisa agropecuária de acordo com as políticas de desenvolvimento definidas para o país, como um todo, e para cada região, em particular.
- Organização e coordenação das matrizes de instituições que atuam no setor em torno de programação sistematizada, visando eliminar a dispersão de esforços, sobreposições e lacunas indesejáveis.
- Desenvolvimento de um sistema nacional de priorização de pesquisa e acompanhamento e avaliação dos resultados e entregas.
- Criação de bancos de dados com informações para a pesquisa agropecuária e seus usuários.
- Promoção da organização e racionalização de meios, métodos e sistemas, para uso de acordo com o interesse comum e a atuação em rede de PD&I.
- Favorecimento da capacitação formal e informal do pessoal atuante na rede.
- Disponibilização de apoio técnico, administrativo, material e financeiro entre instituições integrantes da rede.
- Mobilização de recursos para financiamento de ações de PD&I e outros objetivos de interesse da rede RNPA e suas redes derivadas dos programas e projetos de pesquisa⁷.

A RNPA se propõe a funcionar com eficiência técnica, econômica e social, para a solução de desafios e problemas da produção e processamento de produtos agrossilvipastoris. Tecnicamente eficiente, ao trabalhar em estreita colaboração com os interessados em novos conhecimentos e avanços tecnológicos,

⁷ A comunicação entre os membros das equipes de projetos seria em tempo real. Ademais, a tradução do conhecimento para os interessados deve ser muito rápida, eficiente e com capilaridade. Seria também necessário um grupo de inteligência para acompanhar os avanços e a sua difusão na RNPA.

poderá ajustar a experimentação e contribuir para o desenvolvimento de planos de negócio em moldes similares ou em parceria com os startups. Como rede de desenvolvimento científico e tecnológico, estará necessariamente conectada às necessidades de inovação dos usuários, por exemplo, para o aumento da produtividade, melhor uso dos recursos, maior eficiência socioeconômica etc. E será socialmente eficiente, na medida que se propõe a responder aos interesses por inovação do pequeno ao grande produtor, do processador ao comerciante de produtos agrossilvipastoris.

Além disso, com vista à otimização do uso de recursos humanos e de infra-estruturas físicas e de serviços, os projetos da RNPA estarão em sub-redes específicas, que poderão ser muitas, dependendo da necessidade, oportunidade e articulação, nos temas prioritários de PD&I. Redes de suporte à difusão e comunicação dos resultados, inclusive para a sociedade, serão formadas à semelhança das existentes nas instituições que irão compor a RNPA.

As lideranças dos projetos de pesquisa nascerão espontaneamente das equipes de pesquisadores e demais integrantes da RNPA e por sugestão de outros profissionais e produtores, tendo em conta as prioridades estabelecidas pelas instituições partícipes. Os projetos terão suas equipes, nos moldes correntes em nossa comunidade, focadas na geração de novos conhecimentos e aplicações tecnológicas, em ambientes, físicos ou virtuais, de compartilhamento de orçamentos, laboratórios, campos experimentais e outras infraestruturas de serviço e apoio. Créditos pelos resultados seguirão as regras estabelecidas, mediante contratos, inclusive de propriedade intelectual, agenciados pelas instituições partícipes. O membro participante de uma rede de pesquisa, além do ganho em prestígio, certamente terá mais acesso a recursos mais significativos e participará naturalmente de publicações de maior impacto, já que a colaboração possibilitará ir mais longe e mais profundo na investigação.

A RNPA terá um Grupo Gestor, representativo dos seus integrantes, nos moldes dos Grupos Gestores dos INCTs, com possíveis adaptações. O Grupo será responsável pela construção e vigilância permanente de um ambiente desburocratizado, próprios dos ambientes de C&T e PD&I globalizados, com a tarefa adicional de, periodicamente, identificar oportunidades e desafios para suas ações.

23.4 Considerações finais

Há que se considerar que o sucesso de uma rede de pesquisa e inovação, nos tempos atuais, depende de um ambiente robusto em: (i) diversidade de competências e pensamentos; (ii) acompanhamento dinâmico das interações colaborati-

vas e um pronto encaminhamento para a solução de problemas advindos da colaboração, como propriedade intelectual e geração de negócios cooperativos; (iii) redução de hierarquias burocráticas sobre o pesquisador; (iv) culto a valores como confiança, gentileza e mérito e (v) flexibilidade na gestão do processo de inovação.

Ressalte-se também a escolha por parcerias estratégicas e priorização de ações que viabilizam o cumprimento das expectativas de inovação na produção, com reflexos positivos sobre a captação de recursos para os avanços dos projetos. Contrapondo-se à escassez atual de recursos para a pesquisa, surge o crescente interesse e o investimento privado para a inovação no país, o que representa oportunidades para as redes de pesquisa proativas. Na medida que reunir e conectar pesquisadores, empreendedores e investidores para a geração de produtos e serviços inovadores, maior atenção será dada às redes, com vista a novos negócios. Veja o interesse crescente, por exemplo, do BNDES, com o Fundo de Investimento Criatec, dedicado às startups de base tecnológica.

O sucesso de uma rede de pesquisa e inovação depende de sua capacidade de representar um valor para a comunidade em que se insere. Para isso, terá a rede que manter-se com credibilidade e reputação positivas, para criar mecanismos efetivos de comunicação sobre o que faz. Transparência e decodificação de resultados facilita a compreensão pela sociedade e os órgãos de controle sobre o que faz a rede com os recursos públicos e privados que utiliza na condução das pesquisas.

Depende, ainda, do empenho de cada um dos membros da rede, os quais terão ganhos pessoais e profissionais destacados por atuarem em colaboração. O crescimento da importância das redes de pesquisa e inovação representa uma pressão natural por mais segurança jurídica e, ao mesmo tempo, redução da burocracia, tendo como referência os países centrais.

Referencia bibliográficas

- CGEE. **Arranjos para o futuro da inovação agropecuária no Brasil: Nova abordagem para o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária – SNPA.** Relatório Final. Brasília, DF Junho, 2016. 370 ps.
- SAAD, M. & ZAWDIE, G. Eds. **Theory and Practice of Triple Helix Model in Developing Countires: Issues and Challenges.** Routledge, N.Y. USA: 336 ps. 2011.

APÊNDICE 1

Rede de inovação tecnológica para a defesa agropecuária

O Projeto “Inovação Tecnológica para Defesa Agropecuária” foi coordenado pelo Prof. Evaldo Ferreira Vilela, da Universidade Federal de Viçosa, e financiado pelo Fundo Setorial para o Agronegócio – CTAgrro/MCTCI e CNPq. Durante 48 meses, levantou a realidade da Defesa Agropecuária no Brasil, com identificação de gargalos e desafios, visando à proposição de melhorias por meio de programas de capacitação de seus agentes, da indução de redes sociais e inovação tecnológica. Na primeira etapa, com base na análise documental, descreveu-se o sistema brasileiro de Defesa Agropecuária, com a identificação de macroproblemas categorizados em “Legislação”, “Aparato Institucional” e “Conhecimento/Inovação”. Entre os principais gargalos, destacou-se a ausência de cursos de capacitação nas diversas áreas da Defesa Agropecuária no país.

Na sequência, o Projeto levou à criação de cursos de Mestrado Profissional em Defesa Agropecuária. Oito propostas receberam o apoio do Projeto para serem submetidos ao Edital CNPq 064/2008. Quatro foram recomendadas e receberam recursos. Isso representou um grande avanço, com reflexos até os dias atuais. A segunda etapa, denominada “Diagnóstico”, teve duas vertentes: um levantamento das tecnologias e competências existentes nas universidades e instituições de pesquisa, aplicáveis à situação da Defesa Agropecuária. Foram entrevistados 150 pesquisadores de todas as regiões do país e catalogados, em um diretório próprio, mais de 200 tecnologias e competências, todas disponibilizadas on-line e continuamente atualizadas pelos próprios pesquisadores. Nessa etapa, também o setor empresarial foi envolvido pela rede.

Workshops foram realizados para aproximar os órgãos de defesa, institutos de pesquisa, universidades, setor privado e demais envolvidos. Foi, assim, possível definir uma visão de futuro para a Defesa Agropecuária e entregar à comunidade a “Rede de Inovação Tecnológica para Defesa Agropecuária – RITDA¹”, com recursos de web 2.0, inédita, à época, no país, que dinamizou a comunicação e interação entre pesquisadores, docentes, estudantes de pós-graduação, setor privado

1 Disponível em: <<http://inovadefesa.ning.com>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

e agentes da Defesa Agropecuária. A RITDA foi aberta ao público em 6/4/2009 e, desde então, vem tendo um número crescente de acessos e exibições de página dentro e fora do Brasil. Sua consolidação dependeu sempre da participação dos membros, que somam mais de sete mil, os quais acrescentam conteúdos técnicos e estimulam colegas profissionais da área a interagir.

APÊNDICE 2

Tendências globais¹, oportunidades e desafios de inovações

Ao considerar os desafios e as oportunidades locais, ou globais, a RNPA deverá ter em conta os 17 objetivos³ de desenvolvimento pactuados no contexto das Nações Unidas, para o período 2016-2030. Para isso, conta com a experiência acumulada, inclusive no atendimento das estritas leis ambientais.

As megatendências indicadas a seguir, adicionadas a outras possíveis, terão relevante impacto sobre os programas de PD&I para atender às novas demandas por alimentos, fibras e bioenergia. Elas incluem:

- Aumento na demanda de água, recurso escasso e ameaçado pelos efeitos das mudanças climáticas.
- Aumento na demanda por energia, com crescente utilização de fontes renováveis, como eólica e solar.
- Aumento das emissões de carbono de efeito estufa e novos mercados para mitigar seus efeitos.
- Crescimento da pressão resultante do aumento mundial da demanda de alimentos, fibras e energia renováveis.
- Instabilidade de preços dos alimentos, devido ao aumento da população, da renda e da variabilidade climática, entre outros.
- Aumento de conflitos sobre recursos naturais.
- Declínio da concentração de minerais nas reservas existentes e aumento na demanda por reciclagem.

1 HAJKOWICKZ, S.; COOK, H. LITTLEBOY, A. Our future world: global megatrends that will change the way we live. The 2012 Revision. Disponível em: <<https://publications.csiro.au/rpr/download?pid=csiro:EP126135&dsid=DS2>>. Acesso em: 20 ago.2018.

2 Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/conheca-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-da-onu/>>. Acesso em: 20 ago.2018.

- Declínio da biodiversidade, pelo desmatamento e degradação ambiental.
- Acelerado desenvolvimento tecnológico, com avanço da nova economia, que promoverá grande crescimento econômico na Ásia.
- Envelhecimento da população e conseqüente aumento da demanda de serviços para garantir uma velhice saudável.
- Mundo mais conectado, via realidade virtual, com acesso a serviços, informações, transações comerciais e financeiras, trabalho, interação social etc.
- Aumento na demanda por lazer, inclusive turismo rural e ambiental, por efeito do aumento da renda e de tempo livre da população.
- Demanda crescente por produtos de alimentação de alta qualidade, seguros para o consumo humano e animal e sustentáveis para a preservação ambiental.
- Tendências identificadas pela Embrapa, FAO, OCDE, USDA, BM, BID e outros devem também ser levadas em consideração.

24

DESAFIOS E OPORTUNIDADES INSTITUCIONAIS

Evaldo F. Vilela¹
Geraldo M. Callegaro²

24.1 Introdução

As Instituições de Ciência, Tecnologia & Inovação (ICTs) enfrentam uma série de desafios para avançar a pesquisa científica e tecnológica no Brasil, desafios esses que são revisitados a seguir em uma perspectiva de encontrar soluções capazes de viabilizar a geração de novos conhecimentos e tecnologias para o desenvolvimento sustentável, competitivo e inclusivo, particularmente no âmbito da economia agrária. Consideramos aqui alguns dos desafios mais destacados, assim como oportunidades institucionais possíveis, visando à atenção de tomadores de decisão.

24.2 Desafios e oportunidades institucionais

1. Identificação de oportunidades e desafios nos estudos dos biomas, com articulação e compatibilização entre eles, de modo a conferir mais foco e sinergia entre os projetos.

¹ Professor da UFV e Presidente da FAPEMIG.

² Bolsista da FAPEMIG em Desenvolvimento Econômico e Reforma Institucional.

2. Reedição do Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), que se enfraqueceu pela desatualização do seu modelo. Instituições e unidades de pesquisa em Ciências Agrárias, ativas e relevantes, poderiam fazer muito mais pela geração de conhecimentos e tecnologias necessárias ao país, a partir de um novo SNPA, no modelo de uma rede nacional com elos internacionais, com o benefício evidente de menor dispersão dos recursos financeiros, humanos e de infraestrutura (Figura 1). A solução é a implantação de uma rede de pesquisa, estratégica - a Rede Nacional de Pesquisa e Inovações Agropecuárias (RNPA), detalhada no Capítulo 23³. Como bem assinalado pela Embrapa (Apêndice 1): “Nenhuma instituição possui todas as soluções para responder de forma completa e adequada aos desafios e às oportunidades que estão adiante. As organizações de pesquisa e inovação, no Brasil, deverão fortalecer parcerias e alianças dentro e além das fronteiras do país. Aumentar a cooperação será essencial para um caminho sustentável das cadeias produtivas na agricultura”.

Figura 1. Parâmetros de uma nova organização em rede com atuação em estreita colaboração, evitando duplicação de funções e otimizando alocação de recursos.



Fonte: Preparada pelos autores.

3. Criação da RNPA para assegurar um futuro promissor para o setor agropecuário brasileiro, especialmente coordenando a utilização de tecnologias amigáveis para a crescente sustentabilidade dos biomas, com a

3 Ver Apêndice 1.

4 Universidades brasileiras disponível em: <http://www.altillo.com/pt/universidades/universidades_brasil.asp>. Acesso em: 20 ago. 2018.

formulação de políticas públicas capazes de garantir a evolução positiva da agricultura brasileira, em um horizonte de décadas. No contexto da RNPA, articula-se o empenho em PD&I de universidades federais, estaduais e privadas, de pesquisa, da Embrapa e empresas estaduais de pesquisa agropecuária (OEPAS), aliadas a institutos com interesse na área da agricultura sustentável⁴. Na Embrapa, ressalta-se o esforço na definição dos desafios e da agenda de PD&I até 2034, consolidados no documento *O Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira*, preparado pelo seu braço, o AgroPensa, cujos desdobramentos tecnológicos, em termos de oportunidades e desafios de PD&I, estão incluídos no Capítulo 23, com quatro eixos de PD&I de elevado impacto. Algumas das oportunidades e dos desafios relatados no (Apêndice 1) se sobrepõem aos reportados neste livro, o que decorre do empenho da Embrapa em prospectar o futuro da agricultura brasileira. Há anos a Embrapa realiza estudos semelhantes ao referido, exercitando o seu papel de orientar suas pesquisas e de parceiros.

4. Maior aporte à ciência, tecnologia e inovação pelas ICTs e instituições de ensino superior do país. Depois de um crescimento extraordinário destas instituições nas últimas décadas, recomenda-se hoje a implementação de um efetivo plano de fortalecimento da prática científica e tecnológica em seus ambientes, visando a consolidação destas instituições como estratégicas para o desenvolvimento do país. Um Plano com priorização de linhas de pesquisa, fomentadas não apenas por recursos públicos, mas sustentadas também pelo interesse e financiamento do setor industrial brasileiro.
5. Fortalecimento das Fundações⁵ Estaduais de Amparo à Pesquisa – FAPs, com a garantia de repasse de recursos pelos governos estaduais, assegurados como percentuais da arrecadação tributária. Não fortalecer as FAPs, drenando seus recursos, é condenar o futuro da região, com perda de talentos universitários e enfraquecimento da capacitação dos profissionais necessários para o desenvolvimento social e econômico local. A cooperação entre universidades e setores empresariais produtivos depende substancialmente de políticas públicas respaldadas em recursos disponibilizados pelos Estados para as FAPs promoverem a ciência, a tecnologia e as inovações que impulsionarão a economia local e regional.

⁵ São 22 as FAPs (Fundações de Amparo à Pesquisa), sendo que estão presentes em 21 das 27 unidades federativas brasileiras (26 estados e o Distrito Federal). Maiores detalhes no site disponível em: <<http://noticias.universia.com.br/mobilidade-academica/noticia/2003/12/18/526081/entenda-como-funcionam-as-fundaes-amparo--pesquisa.html>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

6. Avançar com a internacionalização das instituições de pesquisa e de ensino, auxiliando-as a se atualizar com os novos modelos de atuação próprios da nova era digital. Na perspectiva de se tornarem mais relevantes globalmente, devem as ICTS e instituições brasileiras de ensino superior, corrigir a fragilização decorrente da tônica, ocorrida nos últimos anos, de capacitar doutores quase que exclusivamente no país. Essa política tem acarretado sérios prejuízos para o desenvolvimento científico e tecnológico nacional, afetando a colaboração internacional necessária em um mundo com profundas transformações, que requer convergência de competências em nível mundial. Especialmente nas Ciências Agrárias, é urgente ampliar as parcerias internacionais, essenciais para manter o país alinhado com avanços científicos e tecnológicos cruciais para o aumento da competitividade e sustentabilidade no contexto global. Pelo menos um terço dos nossos pesquisadores deveria ter formação formal, em nível de doutorado, em centros acadêmicos internacionais de excelência.
7. Ampliar a adoção de tecnologias inovadoras, com o fim das políticas tributárias altamente regressivas sobre o avanço tecnológico. Enquanto países avançados facilitam a adoção de tecnologias inovadoras próprias, nossa economia fica para trás em função da redução substancial dos investimentos em pesquisa, em propriedade intelectual e na transferência de tecnologias, inclusive do setor agrário. Enquanto, os governos de países avançados subsidiam a adoção de tecnologia, como no caso do aperfeiçoamento dos veículos elétricos e autônomos, no Brasil taxa-se fortemente tais veículos, com reflexos negativos não apenas para a inovação no país, mas também para as atividades de pesquisa no setor agrário.
8. Valorizar a meritocracia como um valor maior na concessão dos recursos públicos para CT&I, evitando a dispersão de recursos escassos. As instituições com pouca experiência em pesquisa devem ser estimuladas a constituir parcerias com instituições e grupos de pesquisa mais avançados, em nível nacional e internacional, na busca de eficiência no uso dos recursos disponíveis para pesquisa.
9. Agregar valor à produção agrícola, que cresce espetacularmente no Brasil, porém, está limitada à exportação de produtos *in natura*. É preciso coordenar os setores produtivos, o setor industrial e os setores que produzem conhecimento e tecnologias para viabilizar a transformação da produção agrícola brasileira em produtos mais sofisticados, de maior valor. Não é uma tarefa fácil, considerando os interesses envolvidos, mas é possível e necessária para aperfeiçoar as cadeias produtivas locais e, ao mesmo tempo, valorizar a pesquisa e a criatividade dos nossos talentos,

expressos hoje em dia no movimento bem-sucedido dos startups que, todavia, ainda não encontram espaço na economia nacional.

10. Divulgar melhor nossos bons resultados, como os do agronegócio nacional. Neste sentido vale fazer referência ao recente livro sobre Seguridade Alimentar nas Américas⁶, lançado pela a Associação Interamericana de Academias de Ciências (IANAS), com ênfase no capítulo sobre o Brasil. Registra-se no livro os alcances obtidos com os investimentos em CT&I que tornaram o Brasil um dos principais produtores e exportadores de produtos agropecuários do mundo; um exemplo para os países em desenvolvimento. Em várias secções do dito capítulo são indicadas as principais oportunidades e desafios do desenvolvimento agrícola brasileiro.
11. Retomar definitivamente os investimentos em CT&I em nosso país, fortemente reduzidos nos últimos anos (em torno de 70%). Não há futuro para um país que não investe hoje prioritariamente em CT&I; corre o risco de penalizar para sempre sua gente, em termos de renda e emprego. Ao mesmo tempo que economias avançadas têm mantido, e até mesmo elevado, os investimentos em pesquisa, inclusive em momentos de crise financeira; o poder público no Brasil precisa valorizar o papel estratégico que desempenha no desenvolvimento de tecnologias inovadoras capazes de impulsionar a nova economia, que gera emprego e renda.
12. Vale a pena também citar algumas referências, com análises e identificações recentes de oportunidades e desafios sobre os biomas e a agricultura do país, com ênfase nas potencialidades para produção sustentável agropecuária e florestal. Neste contexto, os referidos estudos incluem:
 - a) No caso do bioma Cerrado, FERNANDES et al. (2016), no livro Cerrado: em busca de soluções sustentáveis é uma excelente análise da sua biodiversidade indicando que, desde o descobrimento do Brasil, o Cerrado é o bioma brasileiro que mais perdeu cobertura vegetal nativa, em comparação com a Amazônia e a Mata Atlântica. Analisa também a herança natural do Cerrado, sua transformação, conexões e posição estratégica, lugares e ecossistemas especiais, concluindo com a apresentação de soluções para os atuais dilemas do Cerrado. Inclui ainda sugestões de leitura e um glossário.
 - b) Em se tratando de segurança energética e alimentar, RECH e LOPES (2012) estudaram aspectos relativos à estrutura produtiva de diferentes segmentos da agropecuária brasileira, incluindo suas correlações com a

⁶ Versão em Espanhol: Disponível em: <http://www.ianas.org/docs/books/fnb06.pdf>. Acessado em: 20/8/2018.

urgente necessidade e oportunidade para estabelecer uma nova configuração e métricas para a intensificação sustentável da produção de alimentos, considerando até a intensificação do uso dos cultivos geneticamente modificados, como uma opção viável e um importante componente para o desenvolvimento sustentável. Como o Brasil é um país com uma megabiodiversidade, é oportuno considerar que a conservação e manipulação sustentável da biodiversidade constitui uma base física para a agricultura sustentada na disponibilidade de água, recursos genéticos, conservação de solos, estabilidade climática e reciclagem de nutrientes, entre outros fatores físicos e químicos. Nesse contexto, o documento da referência serve como uma boa análise.

c) A Embrapa em associação com o CGEE desenvolveu um importante estudo: “Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil” (CGEE; EMBRAPA. 2014), em dois volumes, incluindo no volume 1: “O papel do país no cenário global” e, no volume 2: “O desafio da rentabilidade na produção”. Esses dois volumes incluem uma riqueza de detalhes em análises sobre os temas, com a identificação bem fundamentada de oportunidades e desafios para PD&I, incluindo um forte componente de aspectos institucionais. Neste sentido, nas Conclusões e Recomendações, do Capítulo 3, do Volume 1, apresenta um resumo dos desafios e recomendações para o setor agroalimentar, baseado em seis pilares, com uma agenda para sustentar a produção alimentar no país nos próximos anos, cobrindo aspectos sobre PD&I, políticas públicas, necessidade de reformas institucionais e outros temas relevantes para o aumento sustentável da produção agrossilvipastoril.

d) Numa iniciativa conjunta do setor produtivo – Associação Mato-Grossense de Algodão (AMPA), Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso (APROSOJA-MT), do Instituto Brasileiro do Algodão (IBA) e a Embrapa (AMPA et al. 2016) – foi realizado um importante estudo consolidado no livro: Desafios do Cerrado: como sustentar a expansão da produção com produtividade e competitividade. No prefácio dessa publicação afirma-se que:

“Todos os agricultores sabem que o sucesso do passado não garante o presente e muito menos o futuro. É da natureza da agricultura colocar desafios ligados a produção e às tecnologias, ao sistema agrícola, aos grandes problemas de natureza biótica e abiótica que só podem ser enfrentados de modo adequado e com efetividade quando há o envolvimento solidário dos diversos atores da pesquisa agrícola e responsabilidades compartilhada.”

e) Vale a pena também fazer referência ao recente e importante estudo analítico realizado pela área de pensamento estratégico da Embrapa, o Agro-Pensa (EMBRAPA, 2018), com ênfase em desenvolvimento econômico, agrícola, agroindustrial, políticas públicas, cadeias produtivas, agricultura sustentável e oportunidades e desafios de PD&I.

O livro constitui-se de oito capítulos cobrindo diferentes cultivos do cerrado e preparados por vários autores de renome nacional e internacional. O último capítulo apresenta os elementos para construir uma agenda de pesquisa que assegure sustentabilidade à expansão agrícola do Cerrado brasileiro. Inclui também um anexo com a lista de inúmeras instituições públicas e privadas que participaram desta iniciativa.

Referências bibliográficas

- AMPA; APROSOJA; EMBRAPA; IBA. **Desafios do Cerrado: como sustentar a expansão da produção com produtividade e competitividade.** Editora Casa da Árvore, Cuiabá, 2016. 283 págs.
- CGEE; EMBRAPA. **Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil.** Vol. 1 (148 págs.) e Vol. 2 (227 págs.). Brasília, D.F.: Gráfica e Editora Positiva Ltda., 2014.
- EMBRAPA-AGROPENSA. **Visão 2030: O Futuro da Agricultura Brasileira.** Brasília, DF. Embrapa, 2018. 212 p.
- FERNANDES, G. W.; PEDRONI, F.; SANCHEZ, M.; SCARIOT, A.; AGUIRA, L. M. S.; FERREIRA, G.; MACHADO, R.; FERREIRA, M. E.; DINIZ, S.; PINHEIRO, R.; COSTA, J. A. S.; DIRZO, R.; E MUNIZ, F. **Cerrado: em busca de soluções sustentáveis.** Rio de Janeiro: Vertente, 2016. 212 págs.
- RECH, E. L.; LOPES, M. R. Insights into Brazilian agricultural structure and sustainable intensification of food production. **Food and Energy Security**, 1(2): p. 77-80, 2012.

APÊNDICE 1

Futuro da Agricultura Brasileira: Desdobramentos Tecnológicos¹

Os últimos 40 anos foram marcados por transformações estruturais e funcionais na agricultura brasileira. Essa passou a depender mais do conhecimento gerado em outras áreas e assumiu um caráter mais multifuncional. Uma agricultura concentrada na produção de alimentos e fibras emergiu nas últimas décadas como importante produtora de energia renovável e promete, em futuro próximo, fazer interface com a indústria da química verde, da nutrição e saúde e do meio ambiente, como provedora de serviços ambientais e ecossistêmicos.

Um dos grandes desafios para o sistema de inovação agropecuária será lançar um olhar especial para a inserção desse conjunto de novas tecnologias antecipadas, pelo documento visão 2014-2034, no conjunto da agricultura brasileira. Se o sistema de inovação brasileiro for hábil em fazê-lo, o mundo conhecerá, a partir da agricultura brasileira, inovações que aumentarão nossa capacidade para compreender e para responder aos riscos presentes e futuros e aos desafios em diversas áreas do conhecimento em ambientes tropicais e subtropicais.

Avançar na fronteira do conhecimento científico e tecnológico surge do imperativo de ampliar a competitividade e o dinamismo do setor agropecuário brasileiro no mercado doméstico e internacional em prazos mais longos – pós-2030, quando a demanda por produtos de baixo grau de processamento (e baixa elasticidade-renda) diminui de modo mais expressivo. Se a questão fundamental é desenvolver novos produtos e processos, a pesquisa no país precisa ser tratada com elevada prioridade. Seus esforços correntes, em muitos casos, se cristalizam em apenas 15 ou 20 anos.

No momento, a questão relevante que se apresenta às organizações de pesquisa e inovação é a definição de quais serão os grandes eixos de impactos que nortearão as ações de pesquisa, desenvolvimento e inovação agropecuária para as próximas duas décadas. Nos debates e análises que acompanharam a construção deste documento, houve convergência para quatro grandes eixos de elevado impacto:

¹ Compilado de Agropensa – Embrapa, 2014. **Visão: 2014-2034 - o Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira – Síntese.** Brasília, DF, pgs. 35-54.

Eixo I: Avançar na busca pela sustentabilidade, em todas as suas dimensões (técnico-econômica, social, ambiental).

Eixo II: Promover a pesquisa e a inovação para a inserção estratégica e competitiva do Brasil na nascente bioeconomia.

Eixo III: Contribuir com o arcabouço de políticas públicas nacionais e internacionais de impacto para o “Rural Brasileiro”.

Eixo IV: Fomentar ações integradas para a inclusão produtiva e a redução da pobreza rural, com forte apoio ao desenvolvimento tecnológico, que apoie a agricultura familiar, a agricultura orgânica e a agroecologia.

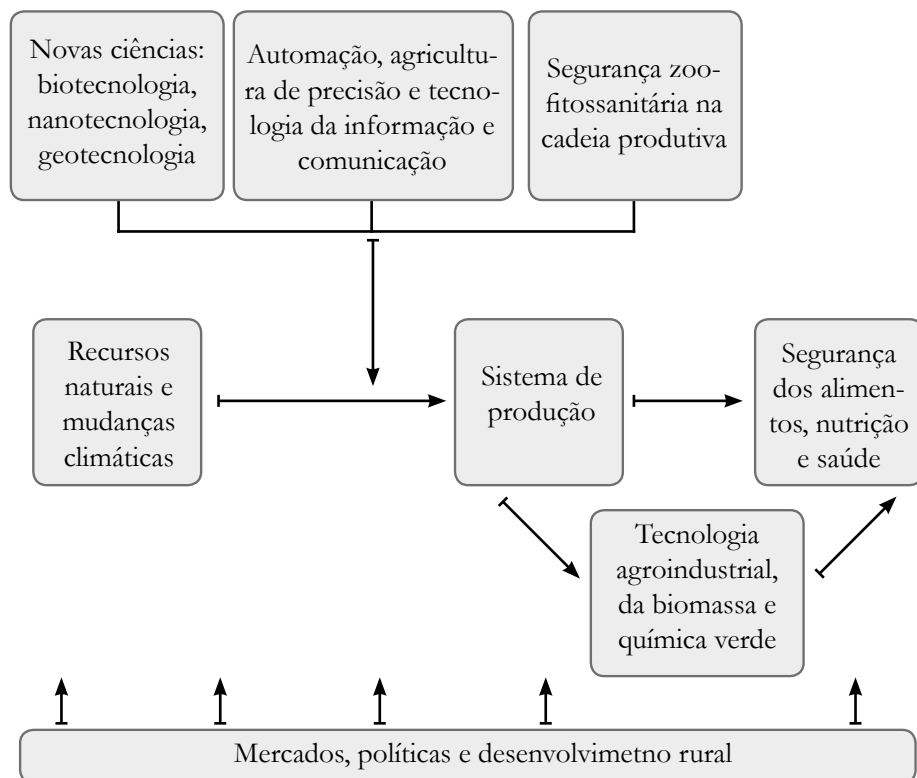
Tornar tais perspectivas uma realidade implica em expandir os investimentos na capacitação de recursos humanos. A qualificação e capacitação serão elementos centrais nessa transformação. Ademais, buscar inovações na gestão da informação deve ser visto como um fator capaz de reduzir incertezas; antecipar oportunidades e desafios, avaliar desempenho e permitir a tomada de decisão mais eficaz e eficiente no contexto dinâmico da sociedade da informação.

Nenhuma instituição possui todas as soluções para responder de forma completa e adequada aos desafios e às oportunidades que estão adiante. As organizações de pesquisa e inovação, no Brasil, deverão fortalecer parcerias e alianças dentro e além das fronteiras do país. Aumentar a cooperação será essencial para um caminho sustentável das cadeias produtivas na agricultura. Assim no âmbito internacional, as organizações de pesquisa e inovação deverão ampliar as formas de cooperação, na dimensão científica, na transferência de tecnologia e na capacitação. A cooperação internacional, além de trazer benefícios ao Brasil, ao internalizar mais rapidamente conhecimento e tecnologias de vanguarda, assegura o protagonismo e a liderança do país na agricultura praticada no cinturão tropical.

Portanto, haverá enormes desafios a serem enfrentados conforme a agricultura se concentrar, simultaneamente, em duas frentes: a competitividade e a sustentabilidade. Para lidar com tal complexidade, o Sistema de Inteligência Estratégica da Embrapa (Agropensa) organizou os estudos e as análises dos grandes desdobramentos tecnológicos esperados para os próximos 20 anos em macrotemas, orientados por uma perspectiva de cadeia produtiva (Figura 1). A lógica dos macrotemas fornece base comum para analisar os grandes desafios tecnológicos nas diferentes cadeias produtivas agropecuárias e os macrotemas funcionam como eficientes filtros para captação de novos sinais, dando foco à permanente coleta, organização e análise de informação, além de conferirem maior agilidade na qualificação e posterior difusão de conhecimentos relevantes para a estratégia de pesquisa e inovação da Embrapa e instituições parceiras.

A seguir, são sintetizados os potenciais desdobramentos tecnológicos para a agropecuária brasileira nas próximas duas décadas, alinhados à lógica dos macrotemas:

Figura 1. Macrotemas-chave para pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), segundo a lógica de cadeia produtiva agropecuária.



Fonte: AGROPENSA – EMBRAPA, 2014.

Macrotema 1: recursos naturais e mudanças climáticas

- Coleta, caracterização e conservação e uso de recursos naturais.
- Organização e disponibilização de bases de dados de recursos naturais.
- Conhecimentos e tecnologias para uso sustentável dos recursos naturais (para a intensificação da produção, a recuperação de passivos ambientais e a diversificação dos sistemas de produção nos biomas).
- Agregação de valor aos produtos da biodiversidade.
- Indicadores de impactos nos estoques e nos fluxos de bens e serviços dos recursos naturais.
- Integração de tecnologias e conhecimentos sobre recursos naturais (uso,

conservação etc.) para apoiar as estratégias e a formulação de políticas e a tomada de decisão para os setores produtivos.

- Uso de inteligência analítica e modelagem para o estabelecimento de sistemas de produção mais eficientes.
- Acesso, organização, análise e promoção do uso de dados climáticos e identificação de padrões e tendências espaço-temporais das variações de clima e seus impactos na agropecuária.
- Avaliação da resiliência, da plasticidade e da adaptação dos ecossistemas nativos e dos sistemas de produção agropecuários anuais, face às incertezas climáticas presentes e futuras e seus impactos.
- Avaliação de custos e benefícios privados e sociais das inovações, processos e ações propostos para mitigação, mediação e adaptação aos processos de mudança de clima com monitoração dos seus efeitos.
- Desenvolvimento e validação de métricas para caracterização e qualificação de impactos das ações de mitigação e adaptação da agricultura às mudanças de clima.

Macrotema 2: novas ciências: biotecnologia, nanotecnologia e geotecnologia

- Aplicação de novas ciências, métodos e processos na prospecção de funções e novos usos de recursos biológicos com ênfase na geração de novos ativos de inovação.
- Análise integrativa da crescente base de dados da biologia avançada em especial no campo da interação entre genes, proteína e metabolismo fortalecendo a biologia de sistemas com foco na promoção da produtividade e da sustentabilidade nos setores agroalimentar e agroindustrial.
- Viabilização de plantas, animais e microrganismos como biofábricas de moléculas de interesse agropecuário, farmacêutico e industrial.
- Identificação, caracterização estrutural e funcional de novas moléculas para ampliação da capacidade de produção de produtos de base biológica de baixo impacto ambiental.
- Prospecção, identificação, desenvolvimento e aplicações de genes e funções biológicas que promovam tolerância a estresses abióticos e bióticos e eliminação de contaminantes em alimentos.

- Acesso, adaptação e desenvolvimento de aplicações computacionais em apoio à biologia sintética, biossimulação, bioprospecção e fabricação avançada baseada em conhecimentos de base biológica.
- Domínio de processos de engenharia da função gênica e de seu uso em modificação e modulação de sistemas biológicos.
- Prospecção de nanomateriais, a partir de produtos agropecuários e florestais e de resíduos da agroindústria, e domínio de sua aplicação em benefício dos setores agroalimentar e agroindustrial.
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de aplicações nanotecnológicas para liberação controlada de insumos e medicamentos.
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações nanotecnológicas para o desenvolvimento de novos insumos, sensores, dispositivos e sistemas, incluindo a melhoria de processos de produção agropecuária, florestal, de energia e ambiental.
- Desenvolvimento e aplicação do sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelos de gestão e inteligência territorial para caracterização integrada dos quadros natural agrário, agropecuário, florestal, socioeconômico e de infraestrutura nos diversos biomas e territórios rurais.
- Estruturação em bases geográficas e territoriais, dos bancos de dados sobre os recursos naturais, agrícolas e socioeconômicos, ampliando as escalas e a diversidade das informações geocodificadas, para apoiar as estratégias e a formulação de políticas de fortalecimento da produtividade e da sustentabilidade da agricultura.

Macrotema 3: automação, agricultura de precisão e tecnologias da informação e comunicação

- Ampliação de alternativas tecnológicas para fortalecimento de cultivos protegidos e automatizados, com foco em regularidade de fornecimento de alimentos e ampliação de alternativas para a agricultura periurbana e urbana.
- Fortalecimento do fluxo de inovações para automação e controle de processos agroindustriais para diferentes escalas e graus de sofisticação da indústria de transformação e agregação de valor.
- Desenvolvimento de máquinas, equipamentos e processos de automação para empreendimentos de pequena escala, com especial ênfase em aumento de eficiência no uso de mão de obra, energia, água e insumos.

- Definição e validação de protocolos para adoção e uso da agricultura de precisão: identificação da variabilidade, análise e interpretação, tomada de decisão e aplicação prática em cadeias de valor econômico e social (agrícola, pecuária e florestal).
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações que ampliem a oferta de máquinas, equipamentos, controladores, atuadores e sensores em sistemas agrícolas, florestais e pecuários.
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações que ampliem a oferta de métodos e sistemas para auxílio aos processos de aplicação de insumos em taxa variada e em tempo real.
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações que viabilizem a aplicação dos conceitos e soluções da agricultura de precisão para intensificação da produção sustentável, priorizando sistemas integrados (agricultura, pecuária e florestas).
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações baseadas na tecnologia da informação (TI) para desenvolvimento de sistemas mais amigáveis de automação, mecanização e agricultura de precisão.
- Desenvolvimento de sistemas de informação e de apoio à tomada de decisão, para planejamento, monitoramento e previsão de riscos na produção agrícola, pecuária e florestal.
- Desenvolvimento de sistemas de rastreabilidade e de certificação de produtos.
- Modelagem, simulação e otimização de sistemas complexos, em especial no âmbito da intensificação sustentável.
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações para gestão da informação e do conhecimento (redes colaborativas, ontologias, web social, web semântica, linguagem natural, transmídias e segurança da informação).
- Acesso, adaptação e desenvolvimento de inovações para gestão de grandes volumes de dados, processamento, armazenamento de alto desempenho e segurança da informação (dados experimentais, dados de fenotipagem, recursos naturais, georreferenciados, multimídia, econômicos e sociais; *Big Data Analytics*, computação em nuvem etc.).
- Adaptação, desenvolvimento e validação de plataformas integradas para suporte à decisão, com ênfase em sistemas baseados em conhecimento, lógica nebulosa, redes neurais, algoritmos genéticos, mineração de dados e textos, reconhecimento de padrões, reconhecimento e síntese de voz, convergência com a ciência cognitiva, realidade aumentada, entre outros.
- Utilização de técnicas de processamento de imagens e visão computacional (como detecção de doenças por análise foliar, automação de plataformas de

fenotipagem, análise em tempo real de imagens adquiridas por veículos autônomos etc.).

- Adaptação, desenvolvimento e validação de inovações que dinamizem a organização de bases de dados complexas e a qualificação de informações que alimentem os processos de PD&I e transferência de tecnologias.
- Adaptação, desenvolvimento e utilização de dispositivos móveis, aplicativos e serviços para informação e apoio ao diagnóstico e à tomada de decisão de diferentes públicos.

Macrotema 4: segurança zoofitossanitária das cadeias produtivas

- Fortalecimento de plataformas integradas (em sintonia com a Secretaria de Defesa Agropecuária / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SDA/MAPA) para monitoração do *status* de pragas e doenças de importância econômica para o Brasil, no país e no exterior.
- Avaliação sistemática do impacto das mudanças climáticas e de alterações nos sistemas de produção, sobre a biologia, ecologia, hábitos, frequência, abundância e os hospedeiros de pragas e doenças.
- Desenvolvimento, aprimoramento e promoção do acesso a sistemas de manejo integrado de pragas.
- Ampliação de programas de melhoramento genético preventivo: antecipando busca de variabilidade genética para controle de pragas quarentenárias que possam adentrar o território nacional no futuro.
- Desenvolvimento de métodos, técnicas e equipamentos de aplicação de defensivos com alta eficiência e baixo impacto adverso.
- Desenvolvimento de métodos alternativos de controle de pragas.
- Desenvolvimento e aprimoramento de sistemas de inteligência quarentenária para o fortalecimento do aparato de defesa zoofitossanitária do país.
- Ampliação dos estudos epidemiológicos e implementação de sistemas de monitoramento e alerta de pragas e doenças.
- Desenvolvimento de tecnologias disruptivas de controle biológico e processos de criação massal e disseminação de agentes de controle biológico.
- Desenvolvimento de métodos de avaliação de impacto ambiental na liberação de agentes de controle biológico.

- Adaptação, desenvolvimento e validação de inovações da biologia avançada (genômica, proteômica, metagenômica e metabolômica), da nanotecnologia e das TIC para diagnóstico, prevenção e controle de riscos zootossanitários.
- Desenvolvimento de tecnologias para a redução e eliminação de riscos sanitários na produção e no processamento dos produtos oriundos da agricultura familiar, comunidades tradicionais e indígenas.
- Fortalecimento das ações de transferência de tecnologia, comunicação e capacitação para garantir a saúde animal e a segurança do consumidor.
- Adaptação, desenvolvimento e validação de inovações tecnológicas aplicadas à biossegurança das cadeias produtivas animais e vegetais.
- Adaptação, desenvolvimento e validação de inovações tecnológicas aplicadas à detecção, ao controle e/ou à prevenção de doenças emergentes, reemergentes, zoonoses e patógenos transmissíveis por alimentos.
- Intensificação de programas de cooperação internacional voltados para o fortalecimento de serviços de defesa sanitária animal fronteiriços e de sistemas para monitoramento de riscos em âmbito nacional e internacional.
- Adaptação, desenvolvimento e validação de inovações tecnológicas aplicadas à análise, detecção e eliminação de resíduos contaminantes de alimentos.
- Intensificação do desenvolvimento de insumos biológicos (DNA, imunógenos, genes, entre outros) aplicados e alternativos ao diagnóstico, prevenção e controle massivo de patógenos.
- Intensificação do desenvolvimento de ações e inovações para ampliação do bem-estar na produção animal.

Macrotema 5: sistemas de produção

- Ampliação da compreensão das interações bióticas e abióticas nos sistemas de produção para subsídio a estratégias mais eficientes de manejo, uso seguro e eficiente de insumos e programas de melhoramento genético.
- Desenvolvimento, validação e promoção do acesso a tecnologias inovadoras de manejo de sistemas de produção e aumento da produtividade, com maior eficiência no uso de insumos e dos fatores de produção, para diferentes regiões e grupos sociais.
- Geração de indicadores de desempenho econômico, social e ambiental e desenvolvimento de ferramentas em diferentes áreas do conhecimento para

apoio a políticas e tomada de decisão dos setores produtivos em diferentes contextos regionais.

- Desenvolvimento e promoção do acesso a boas práticas de produção para os diferentes grupos sociais, visando ao aumento da produção e da produtividade agropecuária e florestal por meio da conservação dos estoques de recursos naturais nos biomas brasileiros.
- Desenvolvimento, ampliação da eficiência e promoção do acesso aos processos biológicos na agricultura (fixação biológica de nitrogênio, promoção de crescimento, fungos micorrízicos arbusculares), incluindo ações de prospecção de microrganismos, veículos, formulação, formas de aplicação e compatibilização com outros insumos.
- Desenvolvimento de métodos e protocolos para avaliação e melhoria da eficiência da simbiose, objetivando a obtenção de material genético vegetal altamente responsivo à interação simbiótica.
- Desenvolvimento, validação e promoção do acesso às tecnologias convencionais e não convencionais de uso de fertilizantes e novas formulações e fontes, resíduos, dejetos e corretivos para assegurar a sustentabilidade dos sistemas de produção.
- Desenvolvimento, validação e promoção do acesso às tecnologias de irrigação a processos automatizados, para assegurar a sustentabilidade nos sistemas de produção.
- Desenvolvimento de sistemas e processos automatizados de produção e de industrialização de produtos, coprodutos e resíduos do pescado que ampliem a agregação de valor a competitividade do setor aquícola.
- Compreensão das exigências nutricionais e das interações nos sistemas de produção aquícolas, nos diferentes biomas, e desenvolvimento de estratégias mais eficientes de manejo, uso de insumos e programas de melhoramento, em especial para espécies nativas.
- Desenvolvimento de máquinas e equipamentos para maior eficiência nos diferentes elos da cadeia produtiva aquícola.

Macrotema 6: tecnologia agroindustrial, da biomassa e química verde

- Desenvolvimento de material genético de alto potencial produtivo de biomassa.

- Desenvolvimento de tecnologias para eliminação de fatores restritivos à expressão do potencial produtivo da biomassa para fins energéticos e industriais.
- Desenvolver Desenvolvimento ou adaptação dos sistemas de produção de biomassa e processos agroindustriais sustentáveis para a obtenção de energia e bioprodutos.
- Desenvolver Desenvolvimento de alternativas de aproveitamento integral da biomassa, incluindo resíduos e coprodutos, para geração de energia ou produção de bioprodutos de alto valor agregado no conceito de biorrefinaria.
- Prospecção da biodiversidade para aprimorar o aproveitamento da biomassa para fins energéticos e obtenção de bioprodutos.

Macrotema 7: segurança dos alimentos, nutrição e saúde

- Caracterização, seleção e melhoramento de matérias primas alimentares com características e propriedades de interesse nutricional e funcional para consumo *in natura* e industrialização.
- Desenvolvimento de processos agroindustriais para obtenção de produtos que contemplem aspectos nutricionais, funcionais e sensoriais, de interesse ou preferência do consumidor.
- Prover as bases tecnológicas para garantia de segurança rastreabilidade e certificação, na oferta e no consumo de alimentos.
- Desenvolvimento de tecnologias e ingredientes que preservem ou alterem o teor de compostos com efeitos benéficos para a saúde e o bem-estar, a partir de alimentos processados.
- Desenvolvimento de componentes e embalagens inovadoras que preservem qualidade, inocuidade e ampliem a vida útil de alimentos.
- Aproveitamento de coprodutos e resíduos da agroindústria de alimentos; ricos em nutrientes e compostos bioativos para a produção de ingredientes funcionais.
- Compreensão de mecanismos de ação de compostos e microrganismos bioativos e sua interação com o organismo humano.
- Ampliação da identificação e avaliação de compostos bioativos com potencial para nutrição e saúde, sua incorporação em alimentos e sua biodisponibilidade.
- Desenvolvimento de metodologias e instrumentos para prospecção e avaliação *in vitro* e *in vivo* da segurança e de propriedades benéficas dos alimentos e seus componentes à saúde humana.

- Desenvolvimento de métodos, processos e práticas de controle e monitoramento de propriedades de alimentos e seus componentes para aumento da saudabilidade.
- Desenvolvimento de tecnologias e estratégias para a agregação de valor aos produtos da agricultura familiar orgânica e agroecológica pela agroindústria.

Macrotema 8: mercados, políticas e desenvolvimento rural

- Desenvolvimento de estratégias para a diversificação da renda no campo, fortalecendo as bases para a oferta de outros serviços (ecoturismo, turismo gastronômico, entre outros) no meio rural.
- Ampliação do uso de inteligência territorial antecipatórias para apoiar a tomada de decisão com relação aos impactos socioeconômicos de tecnologias e políticas.
- Desenvolvimento de estratégias para ampliar a sinergia entre as ciências cognitivas, sociais e econômicas para tratar questões da dimensão humana e das relações da sociedade com o mundo rural.
- Ampliação do uso de ciência, validada à luz dos diferentes contextos das cadeias produtivas agropecuárias, com foco na inovação e em amplos encadeamentos produtivos para apoiar a formulação de políticas públicas mais bem informadas e aderidas às necessidades do presente e do futuro.

Tema transversal 1: agricultura familiar, produção orgânica agroecológica

Os agricultores familiares são um grupo heterogêneo, com diferenças, tanto do lado das oportunidades como dos desafios, que se ampliam à medida que os contrastes regionais, nas suas mais distintas formas, se manifestam. Ampliar a inclusão produtiva desse segmento passa, portanto, por diferentes vertentes, parte delas de natureza não tecnológica.

Note-se que o sucesso do empreendimento, independentemente de sua escala, depende da organização do entorno, o qual representa os negócios que existem antes e depois da produção para viabilizar o trânsito dos conhecimentos, o acesso do produtor a insumos, máquinas, equipamentos e serviços, e para absorver a produção ampliada, remunerando o esforço de inovação dos produtores. Se o entorno não está organizado para ajudar a inovação, ele facilita o florescimento das “im-

perfeições de mercado”, isto é, o mercado pratica preços diferentes para o grande e para o pequeno produtor. É uma realidade normalmente associada à escala de produção e ao tamanho dos riscos envolvidos. Nesse contexto, o associativismo e as estratégias similares são importantes para a ampliação da inclusão produtiva.

Na dimensão tecnológica, é preciso fortalecer o manejo sustentável dos recursos da agrobiodiversidade, visando ao desenvolvimento e à validação de sistemas de produção, bem como desenvolver e promover o acesso a máquinas e equipamentos adequados para a agropecuária praticada em pequena escala e em diferentes tipos de relevo. O desenvolvimento de métodos para potencializar o uso de recursos genéticos próprios, especialmente as sementes (convencionais e crioulas), pode ser estratégico à segurança alimentar em diferentes contextos. Ademais, é preciso ampliar a oferta de métodos adequados para a prospecção, avaliação e validação de tecnologias para a agricultura familiar, incluindo a produção orgânica e agroecológica. É estratégico avançar no desenvolvimento e validação de tecnologias sociais para e com a agricultura familiar, agroecológica e orgânica. Deve-se, ainda, priorizar modelos de soluções viáveis para as cadeias agroindustriais familiares, ampliando os encadeamentos na geração de renda e emprego nas diferentes cadeias produtivas agropecuárias.

Tema transversal 2: inovações gerenciais nas cadeias produtivas agropecuárias

Inovações gerenciais serão necessárias para manejar com eficiência e eficácia os processos cada vez mais complexos que acompanharão a agropecuária que se descortina para o futuro. A imigração de sistemas de produção com poucas atividades para aqueles mais complexos, como a integração lavoura-pecuária ou a integração lavoura-pecuária-floresta, demandará aprimoramentos, particularmente na gestão. Da mesma forma, o avanço dos sistemas de precisão ou de manejo sítio-específico demandará inovações gerenciais sofisticadas, muito intensivas em tecnologias da informação e comunicação (ITICs).

A sofisticação de redes de comunicação e de transmissão de dados abre imensas perspectivas para novas formas de integração de atores e de cadeias produtivas e, em última análise, para a implementação de inovações gerenciais. A maior capacidade de coleta, processamento e análise passa a ser decisiva para a incorporação de modelos inovadores de gestão ao longo de toda a cadeia produtiva agropecuária e causa impactos sensíveis sobre os processos de comercialização e de relacionamento com os consumidores finais de seus produtos. Grande parte da agregação de valor aos produtos no futuro virá de inovações derivadas dessas possibilidades.

Tema transversal 3: comunicação e a busca de um novo olhar sobre a agricultura

As cadeias produtivas agropecuárias oferecem uma histórica – e ainda pouco percebida – janela de oportunidades para o Brasil e para os brasileiros, estejam eles no campo ou na cidade. A plataforma científica que emerge neste início de século permite que a agropecuária exprima o conjunto de valores contemporâneos exigidos pela sociedade, que apontam para a sustentabilidade em seu sentido mais amplo, articulando aspectos ambientais, econômicos e de inclusão social e assumindo compromissos como a produção de alimentos mais nutritivos e saudáveis em maior quantidade e com maior eficiência de uso dos recursos naturais.

É, necessário, portanto, construir um canal de comunicação entre o campo e a cidade para que a cadeia produtiva agropecuária seja percebida por seu destacado significado para o presente e para o futuro dos brasileiros. É preciso aferir e comunicar amplamente o real peso social e econômico do setor. A comunicação para a busca de um novo olhar sobre a agropecuária dependerá de elementos mensuráveis e esclarecedores, capazes de orientar a sociedade na eleição de suas prioridades.

Referências bibliográficas

- Agropensa–Embrapa, 2014. **Visão: 2014-2034 – o Futuro do Desenvolvimento Tecnológico da Agricultura Brasileira – Síntese**. Brasília, DF. p. 35-54.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Roma: FAO, 2012.
- ALSTON, J. M. **The Benefits from agricultural research and development, innovation, and productivity growth**. Paris: OECD, 2010.
- CONFORTI, P. **Looking ahead in world food and agriculture: perspectives to 2050**. Roma: FAO, 2011.
- DIAZ BONILLA, E. I; SAINI, E.; CREAMER, B.; HENRY, G. **Better to be foresighted than myopic: a foresight framework for agriculture, food security and R&D in Latin America and the Caribbean**. Panama City: CIAT, 2013.
- FIESP/ÍCONE. **Outlook Brasil 2022: projeções para o agronegócio**. São Paulo: 2012.
- FORESIGHT, Exchange Workshop How to integrate agriculture and environmental stakes in foresights? Beijing: GFAR/Agropolis International/Agreenium, 2011.

- FREIBAUER, A.; MATHIJS, E.; BRUNORI, G.; DAMIANOVA, Z.; FAROULT, E.; GOMAS, J. G.; O'BRIEN, L.; TREYE, S. **Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world**. Brussels: SCAR, 2010.
- GLOBAL Trends 2030: **Alternative Worlds**. Washington D.C.: NIC, 2012.
- GOVERNMENT OFFICE FOR SCIENCE (Reino Unido). **The future of food and farming: challenges and choices for global sustainability**. London: The Government Office for Science, 2011.
- NELSON, G. C.; ROSEGRANT, M. W.; PALAZZO, A.; GRAY, I. INGERSOLL, C.; ROBERTSON, R. TOKGOZ, S.; ZHU, T.; SULSER, T.B.; RINGLER, C.; MSANGI, S. YOU, L. **Food security, farming, and climate change to 2050: scenarios, results, policy options**. Washington D.C.: IFPRI, 2010.
- OECD. **Fostering productivity and competitiveness in agriculture**. Paris: OECD, 2011
- OECD; FAO. **Agriculturas Outlook 2012-2021**. Paris, 2012.
- PAILLARD, S.; TREYER, S.; DORIN, B. (Coord.). **Agrimonde: scenarios and challenges for feeding the world in 2050**. Paris: Quae, 2010.
- USDA. **Agricultural projections to 2022**. Washington D.C., 2013.



9

788563

100153