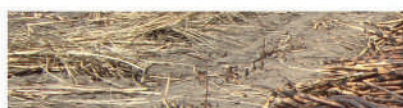
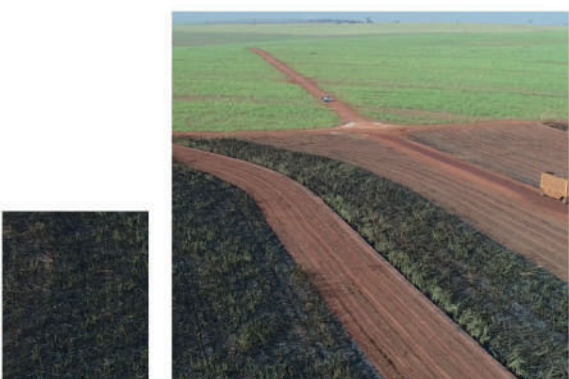


Dinâmica do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil – 1990 a 2018



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 124

Dinâmica do cultivo de cana-de-açúcar no Brasil – 1990 a 2018

*Danilo Francisco Trovo Garofalo
Ana Paula Contador Packer
Nilza Patrícia Ramos
Vitor Yukio Kondo
Marilia Ieda da Silveira Folegatti
Oswaldo Machado Rodrigues Cabral*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2700
Fax: +55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
*Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria
Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques
Simão, Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera Lucia
Ferracini, Marco Antonio Gomes*

Revisão de texto
Eliana de Souza Lima

Normalização bibliográfica
Victor Paulo Marques Simão, CRB-8/5139

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Fotos da Capa
*Fotos 1, 2 e 3 - Nilza Patrícia Ramos
Foto 4 - Thomaz Adolpho Rein
Foto 5 - Guilherme Souza Berton
Foto 6 - Antônio Dias Santiago*

1ª edição
2020

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Dinâmica na cultura da cana-de-açúcar no Brasil: 1990 a 2018 / Danilo Francisco
Trovo Garofalo ... [et al.]. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020.
PDF (41p.) : il. color. - (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691;
124).

1. Cana de açúcar. 2. Produção agrícola. 3. História I. Garofalo, Danilo
Francisco Trovo. II. Série.

CDD 658.4013

Victor Paulo Marques Simão (CRB-8/5139)

© Embrapa, 2020

Autores

Danilo Francisco Trovo Garofalo

Geógrafo, doutor em Geografia, bolsista Faped - Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento, Campinas, SP.

Ana Paula Contador Packer

Engenheira-agrônoma, doutora em Química Analítica, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Nilza Patrícia Ramos

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Vitor Yukio Kondo

Engenheiro de computação, consultor, Artur Nogueira, SP.

Marília Ieda da Silveira Folegatti

Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Osvaldo Machado Rodrigues Cabral

Meteorologista, doutor em Meteorologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Apresentação

A publicação apresenta uma análise sucinta de dados referentes ao histórico e à dinâmica de produção da cana-de-açúcar brasileira entre 1990 e 2018. São abordadas informações em escala nacional e por macrorregiões do País sobre a ocupação de áreas e a produtividade, retratando ciclos de retração e expansão que caracterizam a dinâmica da cana-de-açúcar neste período.

A discussão relaciona esses ciclos às mudanças de tecnologia (eliminação da queima para colheita, ampliação da mecanização, entre outras) aos fatores climáticos e também aos desdobramentos de políticas de governo, que afetaram o setor sucroenergético neste período.

O documento ainda aponta a importância do setor sucroenergético para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da ONU. Mais especificamente aos ODS 7 – assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos; ODS 12 – assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis e; ODS 13 – tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

A série de políticas públicas iniciadas com o lançamento do Protocolo Agroambiental do estado de São Paulo até a atual Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), permitiu a implementação de práticas de manejo conservacionista que propiciaram a queda das emissões de gases do efeito estufa (GEE) provenientes da queima de resíduos agrícolas. Estas práticas têm impulsionado a produção de biocombustíveis, baseada na previsibilidade e na sustentabilidade ambiental, econômica e social.

Marcelo Boechat Morandi
Chefe-geral da Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Introdução.....	7
Metodologia.....	7
Breve histórico da cana-de-açúcar no Brasil.....	8
Análises da dinâmica da produção da cana-de-açúcar nas escalas nacional e regional	11
Considerações finais	38
Agradecimentos.....	39
Referências	39

Introdução

A cana-de-açúcar é o sexto produto que mais contribuiu com o valor bruto da produção (VBP) do agronegócio brasileiro; respondendo por 7,4% dos R\$ 614 bilhões gerados em 2018 (Confederação Nacional da Agricultura, 2019). Para isto, teve uma área colhida de 10,04 milhões de hectares em 2018, atrás apenas da soja e do milho, com 34,8 e 16,1 milhões de hectares colhidos, respectivamente (IBGE, 2019).

A diversificação de produtos gerados a partir da cana-de-açúcar, associada ao intenso esforço do setor produtivo em expandir áreas e incrementar a produtividade são os principais fatores responsáveis por esta posição de destaque. Entretanto, a caminhada até a atual situação foi longa e árdua desde a sua entrada no Brasil, em 1532. Nestes quase 500 anos, ocorreram períodos de grande expansão e de retrações, influenciados por crises econômicas, programas de governo, condições climáticas, entre outros.

O acompanhamento destas oscilações nas áreas de cultivo e na produção, ao longo do tempo, contribui para o entendimento a respeito da sua dinâmica de produção. O conhecimento dessa dinâmica pode auxiliar instituições governamentais, de pesquisa e privadas a se planejarem quanto às necessidades de formulações de políticas públicas, de novas tecnologias e mesmo de investimentos.

Levantamentos oficiais internacionais e nacionais com séries históricas, dados estatísticos de associações de produtores e publicações técnicas são extremamente valiosos por servirem de base para o entendimento da dinâmica de produção. No caso específico da cana-de-açúcar, informações internacionais relevantes são disponibilizadas pela FAO e no Brasil consultas podem ser realizadas em fontes, como IBGE, Conab, Unica, Sindaçúcar, Sindálcool, entre outras instituições do setor.

Cabe destacar que estas informações também podem ser utilizadas para estimar consumos de insumos por cadeias produtivas, ocupação de pessoas e, mais atualmente, as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Emissões antrópicas de gases de efeito estufa ocorrem em diversos setores de atividade, e são dentre outros fins, mensuradas para compor os Inventários Nacionais de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Todos os Gases de Efeito Estufa (GEE) não Controlados pelo Protocolo de Montreal, os quais são entregues para análise pela Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas. No setor da Agropecuária o cultivo de cana-de-açúcar contribui diretamente nas áreas de Queima de Resíduos Agrícolas e das Emissões de N₂O Provenientes de Solos Agrícolas (Brasil, 2016).

Neste sentido, o presente documento foi desenvolvido com o objetivo de compilar e analisar dados referentes ao histórico geral e à dinâmica de produção da cana-de-açúcar brasileira entre 1990 e 2018.

Metodologia

O histórico resumido da entrada e disseminação da cana-de-açúcar no Brasil foi baseado em revisão bibliográfica. Já a análise da dinâmica do setor sucroenergético brasileiro foi pautada em informações provenientes de bases e repositórios de instituições governamentais oficiais (IBGE

e Conab). Informações complementares de revisão bibliográfica e documentos públicos de representantes do setor sucroenergético brasileiro também compõem a pesquisa.

Para a compreensão dessa dinâmica foram utilizados os dados referentes à produção da cana-de-açúcar, sendo: *a*) área colhida (ha), *b*) produção de colmos (t), *c*) produtividade ($t\ ha^{-1}$), *d*) estágio médio de cortes da cana, *e*) taxa de colheita mecanizada (%), *f*) número e tipo de unidades agroindustriais, além de *g*) precipitação acumulada (mm).

Os dados de área, produção de colmos e produtividade foram analisados em níveis nacional, regional, estadual e municipal obtidos a partir da pesquisa *Produção Agrícola Municipal* (PAM) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). As informações da PAM são levantadas em questionários municipais, aplicados junto aos técnicos, produtores e representantes do setor sucroenergético, que posteriormente são agregados em seis níveis de Unidade Territorial (Nacional, Grande Região, Unidade da Federação, Mesorregião Geográfica, Microrregião Geográfica e Município); sendo disponibilizados com periodicidade anual, entre 1989 e 2018 (IBGE, 2019).

As informações referentes ao estágio médio de cortes (calculado pela média ponderada entre os estágios de corte e a área de cada estágio) e a taxa de colheita mecanizada foram obtidas para os períodos 2008-2014 e 2010-2015, respectivamente, a partir dos *Boletins da Safra de Cana-de-Açúcar* (trimestral a partir do ano 2013) e do *Perfil do Setor Sucroalcooleiro* (anual, correspondendo às safras de 2007-2008 até 2015-2016), disponibilizados pela Conab (Conab, 2017). Esses resultados são apresentados em três níveis territoriais: Nacional, Grande Região e Unidade da Federação, e são obtidos a partir de visitas técnicas às unidades de produção (Conab, 2019).

Foram utilizados os dados espaciais de precipitação disponibilizados por Xavier et al. (2016) por meio de uma base de livre acesso de dados meteorológicos do Brasil. Os dados de precipitação regional estão disponíveis para o período de 01/01/1980 a 31/12/2015, e são fornecidos no formato NetCDF, com uma resolução espacial de 0,1 grau por 0,1 grau. Para os anos de 2017 e 2018 foram utilizados mapas de precipitação total anual do INMET (2020). A análise de correlação foi empregada para verificar o comportamento entre os dados de precipitação anual acumulada e produtividade regional.

Breve histórico da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar possui alta relevância na economia nacional, sendo o açúcar um dos principais produtos comercializados desde o período colonial. Sua entrada no Brasil ocorreu por volta de 1532, na Capitania de São Vicente, seguida da Capitania de Pernambuco em 1535 e da Bahia em 1538; e já em 1580 levou o Brasil a se destacar no mercado mundial de açúcar (Figueiredo, 2008), posição que mantém até os dias atuais.

Entre 1580 e 1950 os estados nordestinos foram os maiores produtores de cana-de-açúcar do Brasil, sendo substituídos por São Paulo, desde então (Figueiredo, 2008). A expansão paulista é atribuída, em grande parte, à aplicação extensa dos resultados de pesquisa, além do elevado estímulo promovido pela inclusão do álcool, como mais um produto da cadeia canavieira, que encontrou no estado um amplo mercado consumidor.

O desenvolvimento do álcool combustível resultou da crise petrolífera, já na década de 1970, quando vários países dependentes da importação de combustíveis derivados do petróleo se viram forçados a buscarem fontes energéticas alternativas (Carvalho et al., 2013). Com isto, o governo brasileiro,

em parceria com o setor empresarial, propôs em 1975 a criação do Programa Nacional do Álcool, o Proálcool, com o objetivo de incentivar a produção de álcool combustível (Nocelli et al., 2017), que por consequência promoveu a expansão do cultivo da cana-de-açúcar.

Da década de 1970 até os dias atuais, a demanda global pela produção de biocombustíveis tem aumentado a cada ano, alavancada principalmente pela necessidade de segurança do suprimento de energia, da mitigação de gases de efeito estufa (GEE) e da adaptação do setor frente ao cenário de mudanças climáticas (OCDE-FAO, 2019). Desde então, os biocombustíveis têm sido cada vez mais vistos e comercializados como uma alternativa “verde” aos combustíveis fósseis, aumentando assim a demanda global pela sua produção (França et al., 2012).

Contextualizada dentro deste período, três grandes crises do setor sucroenergético foram observadas. A primeira crise iniciou-se com a quebra da safra de 1986/87 no Centro-Sul, decorrente da falta de chuvas, ocasionando prejuízo na produção de álcool, concomitante à retirada dos estímulos do Proálcool (Ohashi, 2008). O programa foi abandonado após o ano de 1986, tendo como fator preponderante a queda do preço do petróleo em 1987, com recuperação somente em 1990 (Kuperman et al., 1992). As crises subsequentes entre 2004 e 2008, e entre 2015 a 2017, apresentaram declínios na produção, ligadas a elementos potencializadores em particular, do etanol, tais como: i) dependência da ação estatal quanto à política de preço da gasolina C; ii) baixa competitividade do preço do etanol em relação à gasolina; iii) imprevisibilidade do clima e intempéries; e iv) sazonalidade da produção (Santos et al., 2015).

Mesmo após estas três grandes crises do setor, o Brasil continua como maior produtor global de cana-de-açúcar, representando 40% do volume mundial de colmos colhidos em 2018 (FAO, 2019). Esses valores impactam expressivamente a economia nacional pois contribuem com cerca de 2% do PIB. Alterações mais expressivas no desempenho dessa cadeia produtiva podem afetar, sensivelmente, o desenvolvimento de algumas regiões do país, em especial às inseridas no Centro-Sul.

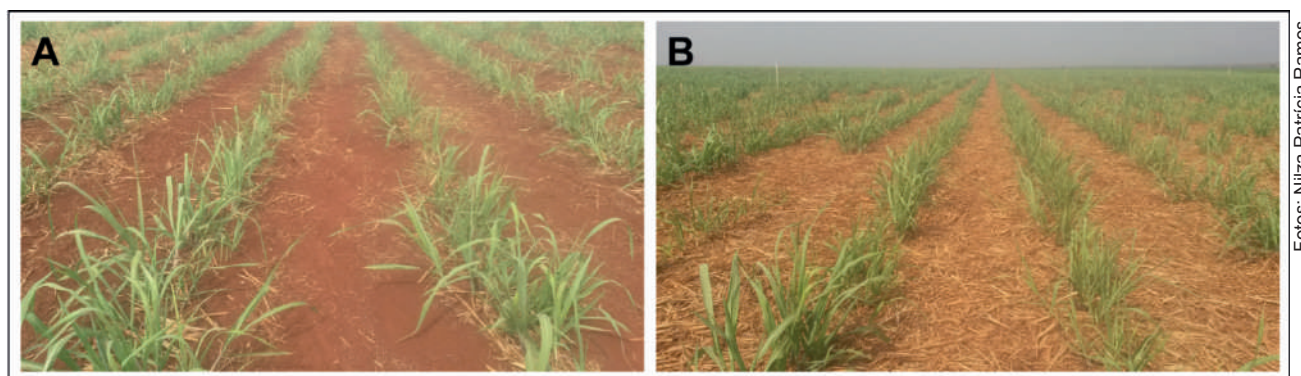
Este protagonismo se deve, em grande parte, à diversificação substancial de produtos gerados pela cadeia produtiva nos últimos anos; não se restringindo apenas ao açúcar, cachaça e etanol, mas também à produção de energia elétrica, de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos, de bioplástico, de leveduras e outros produtos da química verde (Alves et al, 2015). Isto sem mencionar o aproveitamento da vinhaça, torta de filtro, cinzas e água residuária para fertilização de campo, que permitem o retorno de nutrientes ao ambiente agrícola e reduzem o consumo de fertilizantes (Rossetto et al., 2013). Com esta evolução produtiva, a agroindústria da cana deixou de ser uma destilaria ou uma usina e passou a ser considerada uma biorrefinaria, uma vez que processam uma biomassa renovável para a produção de uma gama elevada de produtos (Cherubini, 2010).

Além da diversificação de produtos gerados a partir da cana-de-açúcar as alterações no manejo também impactaram a dinâmica de produção. As tecnologias que merecem maior destaque envolvem a disponibilidade de variedades mais produtivas, com maiores teores de açúcar e tolerantes às mais diversas doenças (Figueiredo, 2008) e a mecanização da colheita, que permitiu reduzir drasticamente a queima de áreas (Capaz et al., 2013); alterando inclusive a dinâmica de uso de mão de obra.

Cabe destacar que a intensificação da colheita mecanizada trouxe desafios relacionados à manutenção de quantidades elevadas de palha na superfície do solo (10-20 t ha⁻¹, na base seca) (Figura 1), como a necessidade de mudança no plantel de variedades e alterações de manejo em campo (Leal et al., 2013). Por outro lado, a permanência da palha permitiu a redução na erosão e

melhoria na manutenção da umidade do solo (Graham et al, 2002; Tominaga et al., 2002), além dos aumentos nos estoques de carbono, que estão relacionados à matéria orgânica e qualidade dos solos (Cerri et al., 2011).

O uso da cana-crua foi fortemente impulsionado pela assinatura do Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético no estado de São Paulo em 2007; ação que se estendeu para outros estados da federação nos anos seguintes. Com isto, se observou também a queda constante das emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da queima de resíduos agrícolas, que passou de 5.200 t CO₂eq no ano de 1990 para 1.403 t CO₂eq no ano de 2017, uma redução de 73% (em fase de elaboração)¹.



Fotos: Nilza Patrícia Ramos

Figura 1. Exemplos de cultivos de cana-de-açúcar sem manutenção de palha (A) e com manutenção de palha (B).

Frente à necessidade estratégica de um ordenamento territorial, com indicação, avaliação e espacialização do potencial das terras para a expansão e a produção sustentável de cana-de-açúcar para fins industriais no território brasileiro, foi criado em 2009 o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar (ZAE Cana), o qual fornece subsídios técnicos para formulação de políticas públicas para tal necessidade (Manzatto et al., 2009). Todavia, em novembro de 2019 foi publicado um decreto assinado pelo atual presidente, Jair Bolsonaro, que revoga o Decreto nº 6.961/2009, que estabelecia o ZAE Cana.

Outra ação governamental mais recente (14 de março de 2018), que pode alterar a dinâmica da produção de cana-de-açúcar, é a política federal denominada RenovaBio (Lei 13.576), que pretende expandir a produção de biocombustíveis no Brasil, com base na previsibilidade, na sustentabilidade ambiental, econômica e social, sendo compatível com o crescimento do mercado. Com isto, pode estimular diretamente o aumento da eficiência produtiva da cana-de-açúcar por área, que nada mais é que a produtividade, e também ampliar a expansão para novas áreas.

Em síntese, desde a introdução até o momento atual a cana-de-açúcar teve períodos áureos e de declínio e para entender melhor a situação entre 1990 e 2018 são apresentadas informações referentes à dinâmica de produção da cana-de-açúcar em nível nacional e, posteriormente, em nível regional.

¹BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**: volume III. Brasília, DF, 2020. Em fase de elaboração.

Análises da dinâmica da produção da cana-de-açúcar nas escalas nacional e regional

Nos últimos 29 anos, a ocupação de áreas com cana-de-açúcar no Brasil passou de 4,27 milhões de hectares em 1990 para 10,04 milhões de hectares colhidos em 2018 (Figura 2), representando um aumento de 6,15 milhões de hectares, ou 135%, em termos de área colhida. Já a produção foi ampliada em cerca de 184%, indo de 262,7 milhões de toneladas em 1990 para 746,8 milhões em 2018.

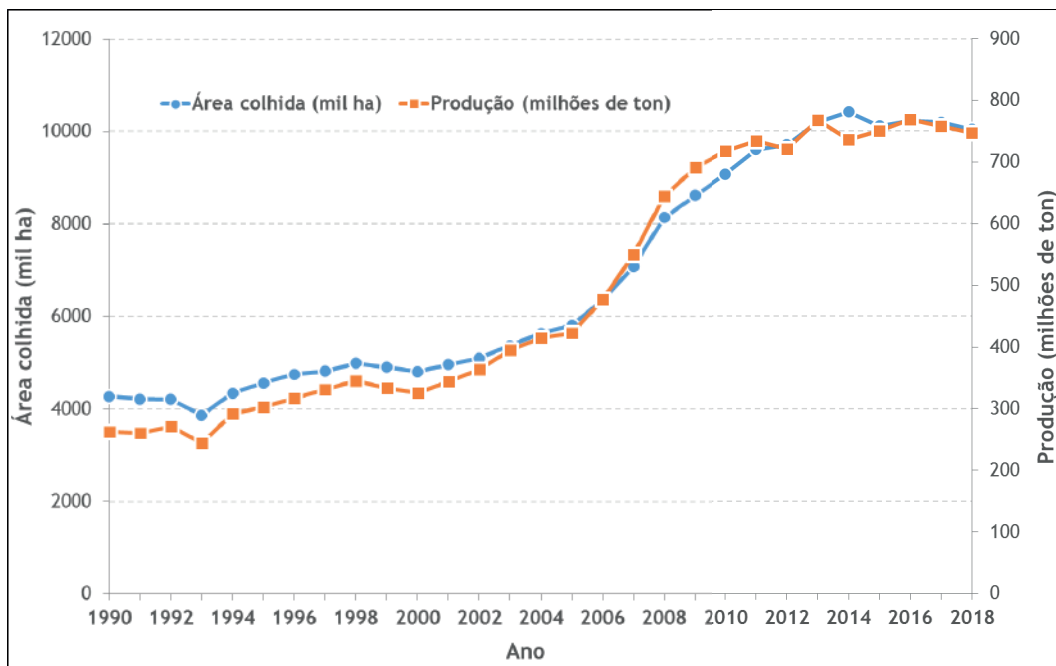


Figura 2. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: IBGE (2019).

O maior incremento ocorreu após 2006, cerca de 60%; em função de novos plantios em regiões de expansão como noroeste paulista, triângulo mineiro e porção sudeste da região Centro-Oeste (Figura 3), atingindo o ápice de extensão de plantio com 10,42 milhões de hectares em 2014. Nos anos subsequentes a expansão desacelerou e observou-se uma estabilização no total de área colhida, com queda de 3,6 %. Como apresentado, a produção nacional seguiu a mesma tendência com a estabilização da produção a partir da safra 2013-2014 (Figura 2).

No geral, a expansão da cana-de-açúcar para novas áreas não foi acompanhada por incrementos de produtividade, muito em função da transferência de práticas agrícolas e variedades de regiões tradicionais para as novas áreas de cultivo sem os devidos estudos de adaptação. O potencial produtivo da cana varia de região para região, em função das condições edafoclimáticas, o que exige práticas diferenciadas de manejo (Casagrande; Vasconcelos, 2010).

Neste sentido, Dias e Sentelhas (2018) verificaram por meio de simulações que a diferença entre a produtividade atual e a potencial de colmos em várias regiões produtoras de cana no Brasil se dá essencialmente pelo déficit hídrico (73% de impacto), seguido pelo manejo produtivo subótimo (27%); sendo que na região Nordeste o déficit hídrico é o principal fator de redução e no Centro-Sul o

manejo inadequado. Entende-se assim que práticas mais eficientes de manejo poderiam incrementar a produtividade atual da cana no Centro-Sul em no mínimo 20%, reduzindo a necessidade de expansão de áreas. Esses mesmos autores sugerem o uso da irrigação, a adoção de cultivares com tolerância à seca e a rotação de culturas como práticas que podem reduzir essa diferença entre a produtividade atual e potencial. Cabe, entretanto destacar, que a questão do uso da água pode ser limitante, no curto prazo, indicando que outras práticas também devem ser pesquisadas.

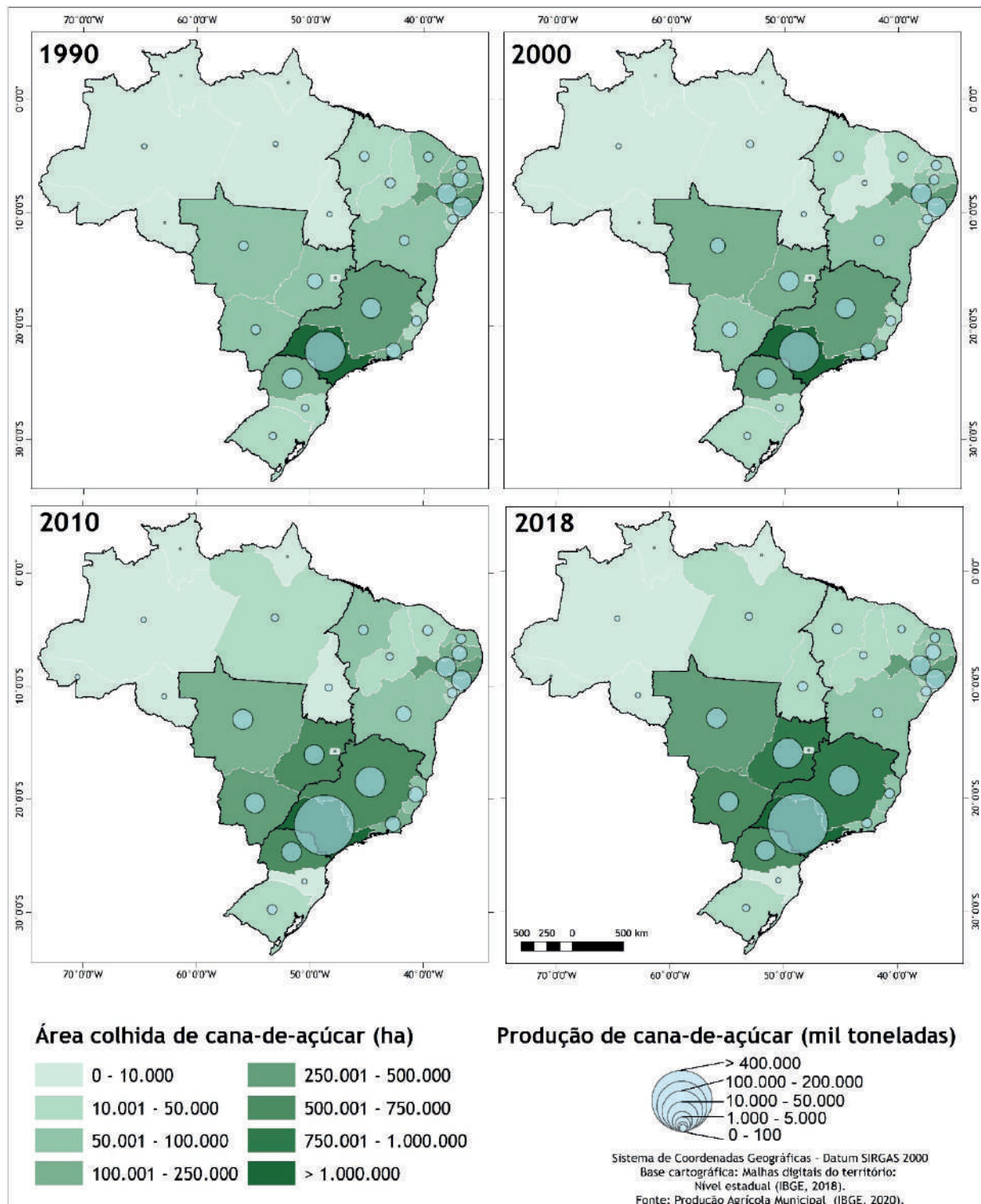


Figura 3. Evolução da área colhida e produção de cana-de-açúcar nos estados do Brasil.

Com relação à produtividade média nacional, verificou-se incremento significativo, porém menos expressivo que o observado para a área e para a produção. Os valores saltaram de 61,5 t ha⁻¹ em 1990 para 74,4 t ha⁻¹ em 2018, representando um aumento de cerca de 21 % ou 13 t ha⁻¹ de colmos. O pico do rendimento foi no ano de 2009, quando a produtividade atingiu 80,2 t ha⁻¹, mas após este bom desempenho observou-se uma ligeira queda. Manejo adequado da cultura, variedades mais produtivas, mecanização da colheita, dentre outras tecnologias melhoraram a produtividade das regiões Sudeste e Centro-Oeste, como apresentado pela contribuição relativa na produtividade nacional (Figura 4).

Além da diversificação de produtos gerados a partir da cana-de-açúcar, as alterações no manejo também impactaram a dinâmica de produção. As tecnologias que merecem maior destaque envolvem a disponibilidade de variedades mais produtivas, com maiores teores de açúcar e tolerantes às mais diversas doenças (Figueiredo, 2008) e a mecanização da colheita, que permitiu reduzir drasticamente a queima de áreas (Capaz et al., 2013); alterando inclusive a dinâmica de uso de mão de obra.

Segundo a Conab (2019), a redução da produtividade nas últimas safras, conforme apresentada na Figura 4, pode estar relacionada com a falta de investimentos em algumas regiões produtoras, com o envelhecimento das lavouras devido à baixa taxa de renovação dos canaviais, com a redução da utilização do pacote tecnológico disponível, com a introdução da colheita mecanizada sem a adoção de práticas agrícolas corretas para este tipo de colheita, causando compactação do solo e aumento de falhas por pisoteio e arranquio, além das oscilações climáticas que se tornaram mais frequentes.

Outro indicador é o rendimento em ATR (açúcar total recuperável), o qual também apresentou quedas, principalmente a partir de 2009 (Figura 5). Segundo Santos (2016), tais estão relacionadas à perda de quantidade e qualidade da cana colhida, devido a pragas, variações climáticas acentuadas e adaptação de tecnologias. Apesar do crescimento na produtividade agrícola acumulada, principalmente a partir de 2006, a retração na qualidade da matéria-prima impacta bastante a quantidade total de ATR disponível para conversão em açúcar e etanol.

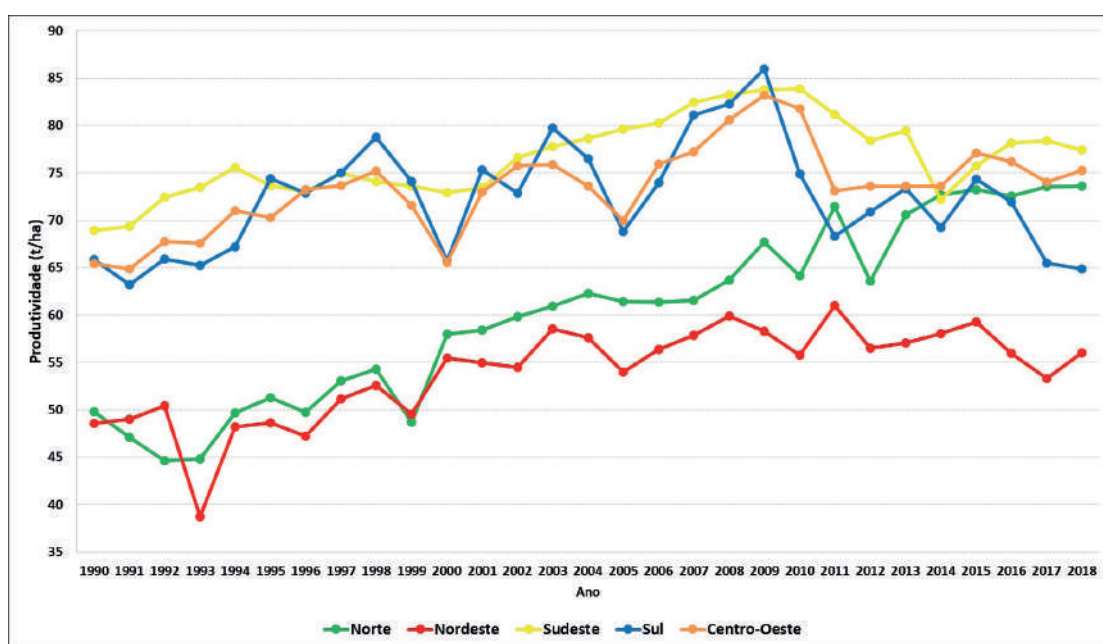


Figura 4. Produtividade do cultivo de cana-de-açúcar nas regiões brasileiras.

Fonte: Modificado de IBGE (2019).

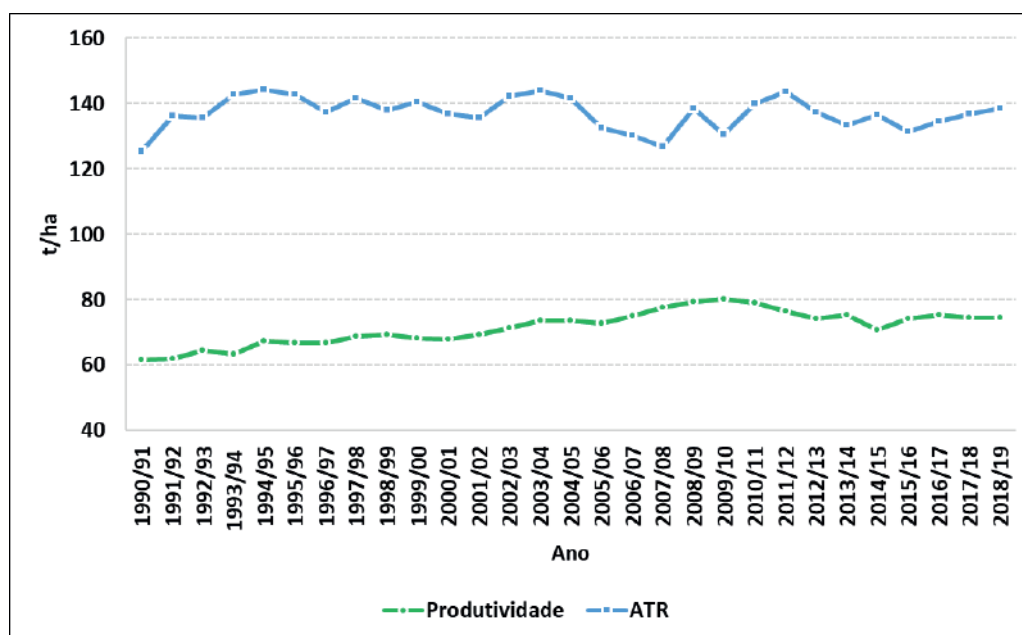


Figura 5. Série histórica da Quantidade de Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) e a produtividade (t/ha).

Com relação à falta de investimentos deve ser destacado que a crise financeira de 2008-2009 fragilizou muitos grupos do setor sucroenergético, devido ao aumento do endividamento e redução na disponibilidade de crédito concedido pelas instituições financeiras (Nyko et al., 2013). Este cenário resultou no encerramento das atividades em muitas unidades agroindustriais, além da queda em investimentos tecnológicos e em infraestrutura nas unidades que se mantiveram no mercado.

Na Tabela 1 é possível observar a redução no número de unidades sucroalcooleiras em atividade entre 2010-2015 e um acréscimo de 2015-2019. Nota-se um número expressivo de unidades que encerraram a atividade nesse período de nove anos, principalmente, de destilarias, tanto na região Centro Sul como no Nordeste, devido principalmente ao preço instável do etanol no mercado. No entanto, o maior impacto foi no Nordeste com 24,1 % das unidades inoperantes, principalmente unidades mistas (16). Em termos nacionais o número total de unidades que encerraram operação neste período foi de 54, um decréscimo de 13%. Cabe destacar que o não funcionamento pode significar fechamento, falta de operação temporária ou mesmo fusão entre empresas.

Tabela 1. Unidades de moagem de acordo com o perfil de produção.

Região	Tipo da Unidade	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2018/19*
Centro-Sul	Mista	213	207	200	213	213	185
	Álcool	107	103	90	73	71	101
	Açúcar	8	8	12	2	4	9
	Total	328	318	302	288	288	295
Norte/Nordeste	Mista	45	50	47	43	40	29
	Álcool	32	24	22	18	18	27
	Açúcar	10	10	9	7	6	10
	Total	87	84	78	68	64	66
Brasil	Mista	258	257	247	256	253	214
	Álcool	139	127	112	91	89	128
	Açúcar	18	18	21	9	10	19
	Total	415	402	380	356	352	361

Fonte: Conab e Mapa, 2019 (*Relatório de instituições cadastradas SAPCANA)

O não funcionamento das unidades sucroalcooleiras não significou redução de área agrícola (Figura 2), em função do deslocamento do fornecimento da cana-de-açúcar para outras unidades produtivas. Entretanto, o corte financeiro repercutiu no investimento em renovação de canaviais, no consumo de fertilizantes e corretivos e na atualização do parque de máquinas e implementos (Santos et al., 2015).

Na Figura 6 é apresentada a idade média dos canaviais (calculada pela média ponderada entre os estágios de corte e a área de cada estágio) desde 1986, que permite determinar a redução na renovação de canaviais. No Brasil, os valores para esse parâmetro foram de 3 em 2008 para 3,8 em 2012, sendo que quanto menor o índice, melhores as condições dos canaviais.

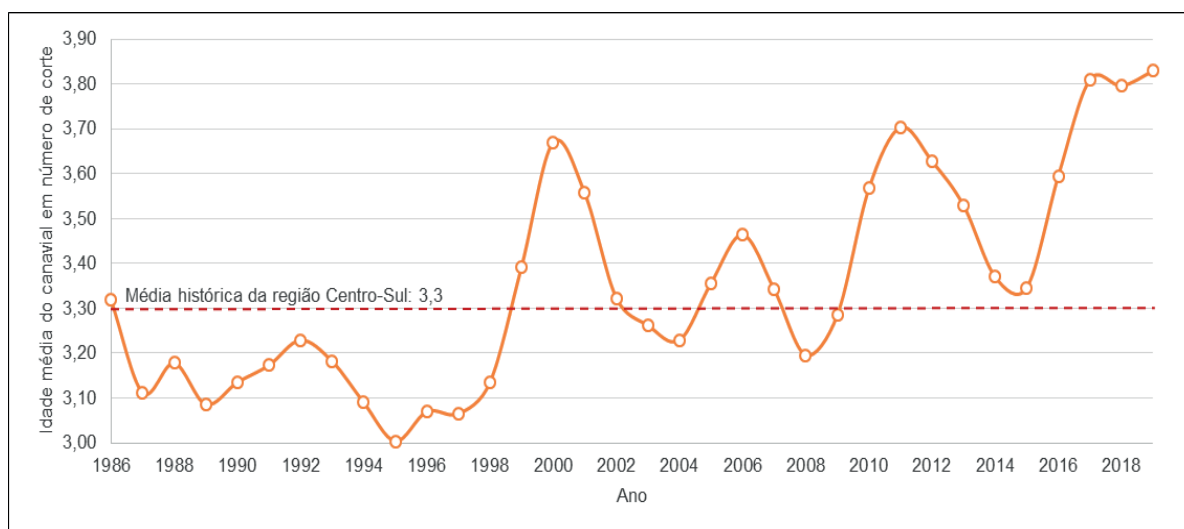


Figura 6. Idade Média do canavial em número de cortes para a região Centro-Sul do Brasil.

Fonte: Modificado de novaCana (2019) apud Braga et al. (2017).

No geral, o aumento do intervalo para a renovação dos canaviais pode levar à queda de produtividade (Nyko et al., 2013), devido ao incremento de falhas ocasionadas por arranquio e pelo abalo de soqueira ao longo dos cortes; com consequente redução no número de plantas, no volume de solo explorado e menor quantidade de água extraída (Argenton, 2006). Entretanto, intervalos muito curtos também podem significar problemas de baixa produtividade já nos primeiros ciclos de cultivo, em função de falhas de plantio ou problemas fitossanitários (alta incidência de *Sphenophorus levis*). Assim, esta variável deve ser analisada com cuidado pois, atualmente, existem muitos produtores com médias de rendimento de colmos satisfatórias mesmo em canaviais velhos, com número elevado de cortes.

Macedo (2005) cita outros fatores para o aumento na idade média dos canaviais, como o excesso de oferta de matéria prima ocorrido entre 1998-1999 que promoveu a queda na renovação dos canaviais em 1999-2000, com consequente diminuição nas aplicações de fertilizantes (10% a menos), que resultou em queda de produtividade em 2000-2001. O retorno na aplicação de doses adequadas de fertilizantes em 2000-2001 promoveu o incremento no rendimento da cana na safra seguinte. Desse modo, segundo o autor, o fator preponderante para a queda na produtividade foi a redução na fertilização e não o aumento na longevidade.

A intensificação da colheita mecanizada iniciada em 2007 (Figura 7), foi outro fator que impactou significativamente a produtividade e permitiu a manutenção da palha remanescente sobre o solo. Esta ação resultou, em grande parte, da implementação no Estado de São Paulo (o maior produtor) de um acordo voluntário, o “*Protocolo Agroambiental do Setor Sucreenergético do Estado de São Paulo*”, firmado neste mesmo ano, pelo governo e integrantes da indústria sucroalcooleira para a antecipação dos prazos de 2021 para 2014, com o intuito de eliminação da queima para a colheita em áreas mecanizáveis, e de 2031 para 2017 nas áreas não mecanizáveis.

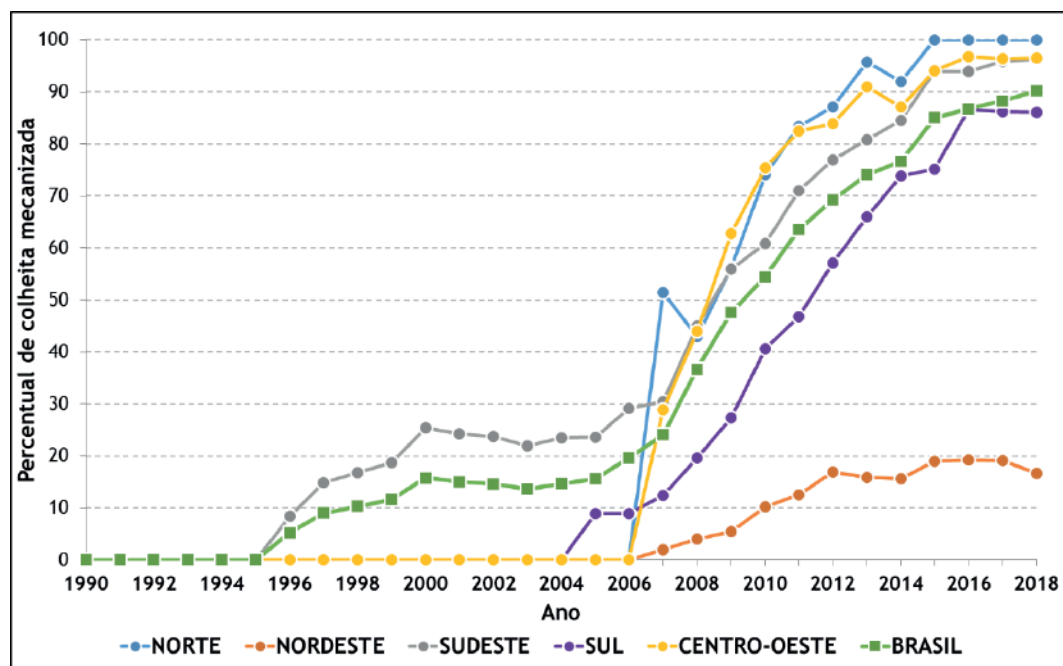


Figura 7. Percentual de colheita mecanizada no Brasil.

Fonte: Conab (2019).

De acordo com Nyko et al. (2013), a mecanização tanto no plantio como na colheita revelou não estar madura o suficiente como tecnologia ou não ser a mais adequada para as variedades utilizadas na época da transição (selecionadas sob condição de colheita com queima). Ademais, com a colheita crua mecanizada verificou-se uma menor brotação pela presença de grande massa de palha sobre o solo, o aumento expressivo na compactação do solo pelo tráfego pesado, o pisoteio de plantas decorrente da falta de sistematização das áreas e do controle deste tráfego e o arranquio de plantas em função da arquitetura não adequada para o corte mecânico (Santoro et al., 2017; Esteban et al., 2019).

Cabe destacar que a pesquisa já avançou significativamente nesta questão da mecanização, sendo que nos dias atuais várias unidades produtivas usam máquinas com pneu de alta flutuação, já sistematizam seus talhões de forma a facilitar o trânsito das colhedoras e transbordos e com o uso da agricultura de precisão para tráfego controlado (Figura 8). Porém, esta não é a realidade de todas as propriedades produtoras de cana-de-açúcar.

Ao mesmo tempo em que a mecanização intensiva contribuiu em parte para a queda da produtividade, não pode ser ignorado o fato de que ela foi a tecnologia chave para a redução da queima dos canaviais. Sem a mecanização não seriam possíveis as reduções drásticas das áreas de queima que tanto contribuem para as quedas nas emissões de GEE, inclusive dentro do inventário nacional (Brasil, 2016, 2017, 2020²).



Fotos: Nilza Patrícia Ramos

Figura 8. Exemplo de maquinário com pneus de alta flutuação e tráfego sistematizado.

Outro fator que contribui para quedas de produtividade na região Centro-Sul a partir de 2009 (Figura 4) foi a baixa atualização do plantel de variedades, tanto pelo uso de variedades não adaptadas à colheita mecanizada como de variedades mais antigas e menos responsivas à fertilização. Dessa forma, mesmo com o lançamento de um conjunto significativo de novas variedades, muitos

² BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**: volume III. Brasília, DF, 2020. Em fase de elaboração.

produtores conservadores ainda preferem o uso de materiais antigos, por não estarem familiarizados com as atualizações, além de não estarem dispostos a pagar o preço de royalties, comuns para outros setores como soja e milho, onde se paga por sementes de qualidade.

Na Figura 9 observa-se a série histórica do Índice de Atualização Varietal (IAV) que avalia o ritmo que as novas variedades geradas pelos programas de melhoramento estão sendo introduzidas nos canaviais do país (Braga Junior et al., 2017). Menor valor do índice significa maior atualização (maior uso de variedades novas), e valor acima de 5 é considerado crítico. Verificou-se o incremento na adoção de novas variedades entre 1987 e 2002, com posterior piora até os dias atuais, onde o índice passa de 9 (valor bastante crítico e não recomendado).

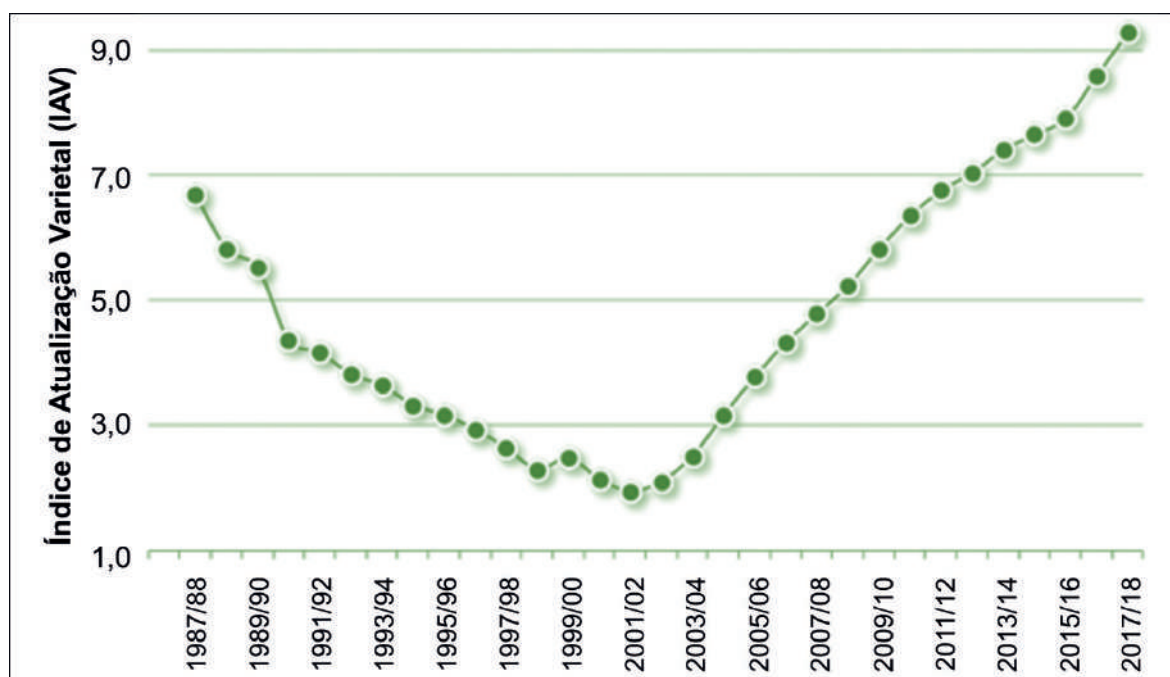


Figura 9. Evolução histórica do Índice de Atualização Varietal (IAV) na região Centro-Sul do Brasil.

Fonte: Modificado de novaCana (2019) apud Braga et al. (2017).

Como já comentado anteriormente, o uso de variedades antigas pode se distanciar das recomendações de novas tecnologias de plantio e colheita e mesmo da tolerância a novas doenças e pragas; como por exemplo a introdução da mecanização e o aparecimento da ferrugem alaranjada. Um exemplo de resistência em adotar novas variedades é o domínio da RB 867515 em cerca de 23% da área plantada na região Centro-Sul, cujo lançamento ocorreu há 21 anos (Braga Junior et al., 2017). Cabe destacar que os programas de melhoramento não recomendam que se plante mais de 15% da área com uma única variedade, para se garantir a segurança em caso de crise fitossanitária.

Por último e não menos relevante com relação à dinâmica da produtividade encontram-se os efeitos das oscilações de precipitação. Isto porque nos últimos anos foram observadas precipitações abaixo da média histórica ou ocorreram variações significativas na distribuição (Xavier et al., 2016) que podem ter contribuído para o decréscimo da produtividade. Segundo Waldheim et al. (2006), o cultivo da cana-de-açúcar exige precipitação média anual ≥ 1200 mm; uma vez que a produtividade, função da produção de biomassa, varia de forma diretamente proporcional

aos índices de precipitação pluviométrica (Santos, 1981; Cecílio et al., 2003; Evangelista, 2011). Como os resultados de precipitação são regionais, as discussões envolvendo a interferência deste fator sobre a produtividade de colmos será apresentada nas próximas seções que tratam da dinâmica da produção por região produtora no Brasil. Embora tenhamos utilizado a média anual da precipitação acumulada, reconhecemos que para a produtividade da cana-de-açúcar a distribuição da precipitação pluviométrica no decorrer do ano é mais importante que o total anual, já que nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, por exemplo, em geral há déficit no período de abril a outubro e superávit no período de novembro a março (Dias; Sentelhas, 2018). Todavia, há uma dificuldade em se obter dados de série histórica da distribuição da chuva ao longo do ano quando a análise é em nível estadual e em grandes regiões.

Região Sudeste

A região Sudeste é a maior produtora de cana-de-açúcar brasileira, respondendo por 68 % de toda a área canavieira na safra 2018 (IBGE, 2019). Ela também apresenta o maior número de unidades agroindustriais, 198 das 361 operando em 2019 (Brasil, 2019), indicando a importância econômica desta cultura para a região em termos de empregos, impostos gerados e ocupação de área.

Na Figura 10 é possível observar a evolução da área colhida e a produção de cana-de-açúcar na região Sudeste entre os anos de 1990 a 2018. Nota-se o aumento expressivo da área cultivada, passando de 2,36 milhões de hectares em 1990 para 6,57 milhões de hectares em 2018; o que representou um incremento de 179% em 28 anos, valor superior aos 135 % verificados em nível nacional (Figura 2), o que comprova o protagonismo da região na produção de cana-de-açúcar. A expansão mais expressiva ocorreu entre 2006 e 2008, impulsionada pelas políticas de incentivos aos biocombustíveis (Távora, 2011); enquanto nos últimos anos verificou-se a estabilização da área produtiva.

Já em termos de produção os dados apontam para um aumento de 346,4 milhões de toneladas; sendo valores de 162 milhões de toneladas produzidas em 1990 e 508,9 milhões de toneladas produzidas em 2018, correspondendo a um incremento de 213% (29% superior ao incremento nacional para o mesmo período).

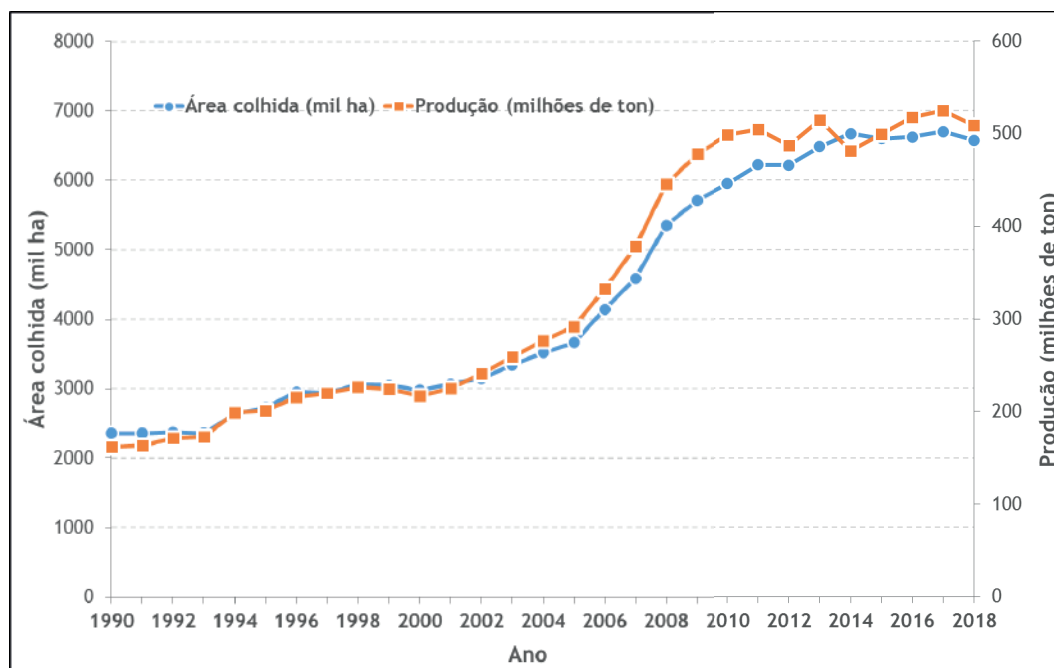


Figura 10. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana na região Sudeste.

Fonte: IBGE (2019).

O estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil e do mundo, apresentou uma produção de 433,1 milhões de toneladas no ano de 2018, correspondente a 58% da produção nacional (IBGE, 2019), em uma área cultivada de 5,7 milhões de hectares, que correspondem a aproximadamente 22,4 % da área do estado. Este elevado volume de colmos é processado em cerca de 156 unidades agroindustriais em operação, de um total de 162 cadastradas junto ao Mapa (Brasil, 2019), demonstrando a relevância da cultura para a economia paulista.

A respeito da evolução das áreas, em 1990, os canaviais paulistas concentravam-se nas mesorregiões de Ribeirão Preto, Piracicaba, Araraquara e Campinas, denominadas regiões tradicionais de cultivo. Após a década de 2000 houve expansão para as mesorregiões de Araçatuba, Assis e Presidente Prudente (Figura 11), que atualmente contribuem com 23% da produção de colmos do Estado. A entrada em novas áreas trouxe desafios de ordem técnica, envolvendo desde a adaptação de práticas de manejo para condições diferentes de solo e clima e até mesmo em relação à qualificação de mão de obra atuando no campo e na indústria.

Neste mesmo período, a difusão da cana-de-açúcar também ocorreu em direção às mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Nordeste e Sul de Minas (Figura 11), tornando o estado de Minas Gerais um dos principais produtores de cana-de-açúcar no país. Em 2018 Minas Gerais ocupava a terceira posição entre os estados produtores, com volume de 70,8 milhões de toneladas de colmos colhidos, em uma área de 1.005 mil hectares (IBGE, 2019).

Por outro lado, houve retrações nos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro (Figura 11). Um exemplo emblemático é o do município de Campos dos Goytacazes, RJ. Em 1990 tinha área colhida de 116 mil hectares (a maior da região Sudeste), mas em função da baixa produtividade (25 t ha^{-1}) viu seus cultivos serem abandonados, de modo que no ano de 2018 a área cultivada no município foi de 30 mil hectares, um decréscimo de 74%.

No mesmo período, a produtividade na região Sudeste passou de $68,9 \text{ t ha}^{-1}$ em 1990 para $77,4 \text{ t ha}^{-1}$ em 2018 (IBGE, 2019), com a produtividade máxima de $83,9 \text{ t ha}^{-1}$ em 2010, representando

um aumento de 15,0 t/ha, ou 21,7 % em termos percentuais. As médias da região Sudeste (Figura 11) foram sistematicamente superiores às médias nacionais (Figura 4), mesmo que o incremento percentual entre 1990 e 2018 não tenha sido da mesma grandeza. Com a implementação de manejos adequados e a utilização de material genético mais resistente à mecanização, é factível a obtenção de aumentos na produtividade da cultura da cana-de-açúcar.

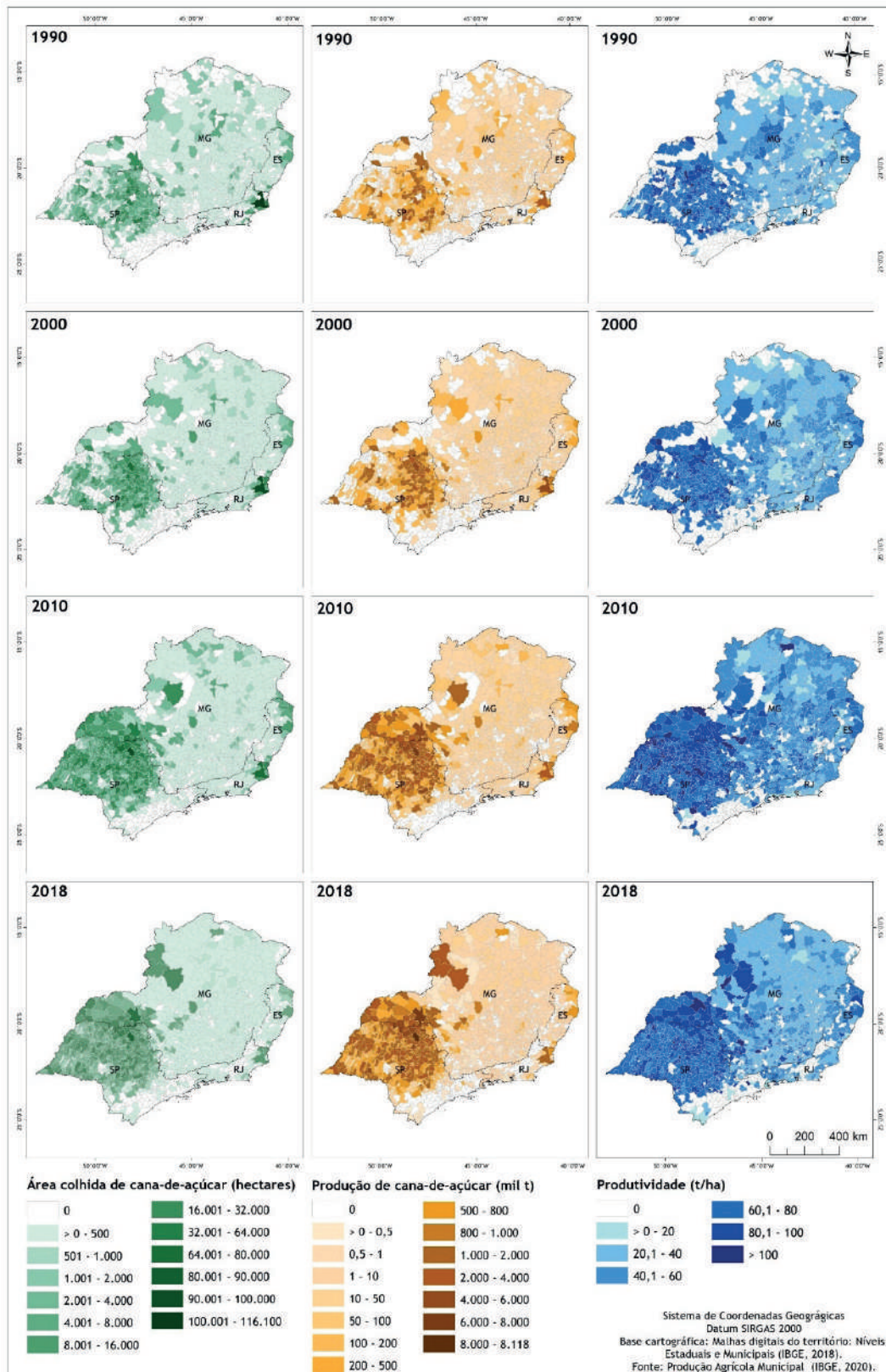


Figura 11. Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Sudeste.

Ainda na Figura 12 observa-se a precipitação média acumulada anual, a qual não apresentou correlação com a produtividade ($r^2 = 0,09$). Todavia, a análise separada do período de 2010 a 2017, evidenciou correlação positiva ($r^2 = 0,61$). Este período foi selecionado porque coincidiu justamente com a inflexão negativa da produtividade, ou seja, o pico em 2010 seguido de quedas. A precipitação média acumulada na região em 2010 foi de 1.565 mm, maior valor de precipitação desde o ano de 1992, após este pico houve anos com médias abaixo de 1.200 mm (valor mínimo aceitável para bom desempenho da cana-de-açúcar, segundo Waldheim et al., 2006), como por exemplo 2014, onde foram registrados 1.000 mm acumulados, que resultou em produtividade média na região Sudeste de 72,2 t/ha, menor valor deste 1991.

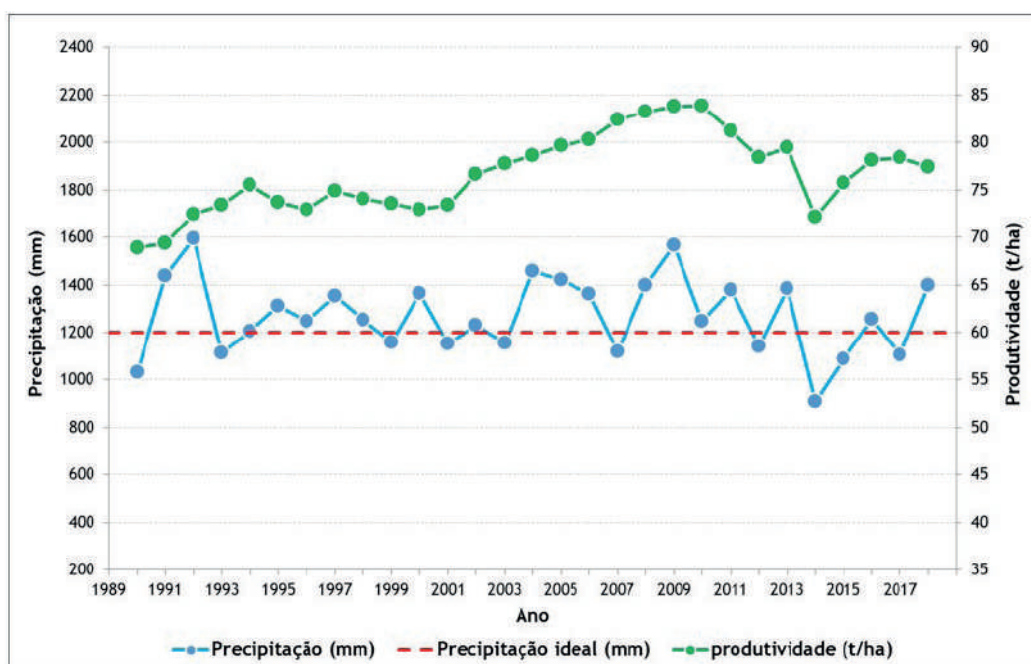


Figura 12. Série histórica de produtividade do cultivo de cana-de-açúcar e da precipitação pluvial na região Sudeste.

Fonte: Xavier et al. (2016); IBGE (2019).

A produtividade paulista é a maior do país com valores médios de $79,4 \text{ t ha}^{-1}$, entre 1990 e 2018 (IBGE, 2019). Houve avanço nos rendimentos neste período (3%), porém nos últimos anos. Da mesma forma que ocorreu com a média nacional (Figura 5), o rendimento de colmos no estado de São Paulo também enfrentou retração, com quedas de cerca de 9,7% entre 2010 e 2018 (IBGE, 2019). No ano de 2010 o estado alcançou o ápice da produtividade – $85,5 \text{ t ha}^{-1}$. Os mesmos fatores já discutidos para o nível nacional foram os responsáveis por este cenário de queda. Um fator de alto impacto foi justamente a expansão da cultura para áreas com condições climáticas menos favoráveis que as tradicionais, conforme Zoneamento Agroambiental para o setor Sucroalcooleiro do estado de São Paulo (Figura 13). Assim, a migração para áreas com condições climáticas mais frágeis (Figura 11) associada aos anos com precipitações abaixo de 1.200 mm (Figura 12) foram decisivas para a queda de rendimento de colmos paulista.

O estado de Minas Gerais apresentou produtividade média de 77 t ha^{-1} no ano de 2018, 3% acima da média nacional, enquanto no Rio de Janeiro a média foi de $44,6 \text{ t ha}^{-1}$. A baixa eficiência do Rio de Janeiro foi decisiva para o encerramento das atividades em alguns locais do estado.

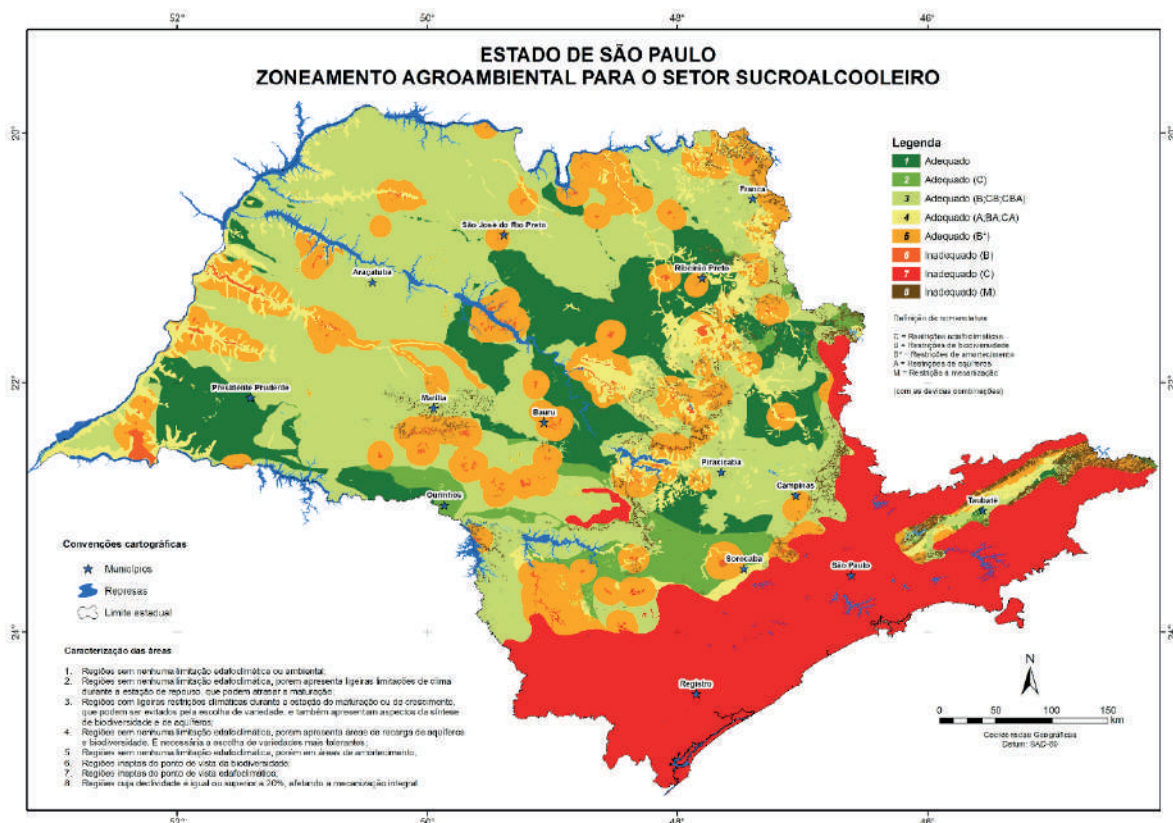


Figura 13. Zoneamento agroambiental do setor sucroalcooleiro do estado de São Paulo (http://www.ciagro.sp.gov.br/Zoneamento_Agroambiental/)

A respeito do uso de tecnologias, a região Sudeste também se destaca em relação ao restante do Brasil, com o aumento no uso de novas variedades, maior aplicação do conceito de ambientes de produção e principalmente pela colheita de cana crua mecanizada em larga escala.

A pesquisa de novas variedades é intensa na região, estando presentes os principais órgãos que lideram ações de melhoramento na área canavieira, como a Ridesa (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucreenergético), o IAC (Instituto Agrônomo) e o CTC (Centro de Tecnologia Canavieira). No entanto, o índice de adoção de novas variedades ainda é insatisfatório, por parte dos produtores, o que contribui para a estagnação ou mesmo queda de produtividade, conforme já demonstrado nas Figuras 8 e 12.

A baixa taxa de renovação dos canaviais também é uma realidade enfrentada pelo Sudeste nos últimos 10 anos, o qual tem apresentado idade média dos canaviais em número de cortes acima da média histórica da região Centro-Sul (Figura 14).

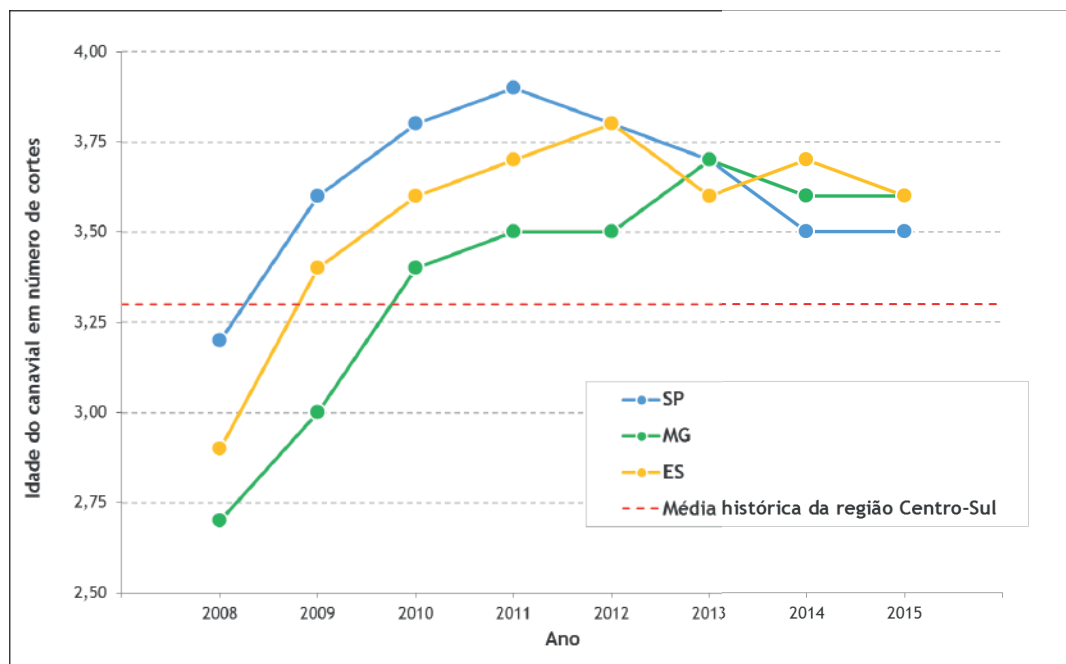


Figura 14. Idade média dos canaviais em número de cortes na região Sudeste, relacionada à média histórica da região Centro-Sul (novaCana, 2019).

Fonte: Conab (2019).

Já a respeito de outras tecnologias, há intenso uso do conceito de Ambientes de Produção em áreas canavieiras do Sudeste. Segundo Prado e Vitti (2008), o ambiente de produção envolve a interação entre as condições físico-hídricas e químicas do solo com o clima para estimar o potencial de retorno produtivo da cana-de-açúcar, permitindo com isto melhor alocação de variedades, épocas de corte e outras práticas de manejo a serem utilizadas.

A mecanização da cana-de-açúcar no Sudeste do Brasil é mais antiga que em outras áreas do país conforme mostra a Figura 7, onde se verifica o início da colheita mecanizada já em 1995; atingindo 30% da área em 2000 e quase 100% em 2018. Essa tecnologia além de ser fator preponderante para o encerramento da queima em áreas de cana-de-açúcar, também exigiu o desenvolvimento de outras áreas ligadas à produção agrícola como a sistematização dos talhões (Ripoli; Ripoli, 2009), do transporte de colmos com uso do controle de tráfego e de pneus de alta flutuação dentro das áreas de produção (Trein et al., 2005), e também do controle mais rigoroso de caminhões para o transporte da produção até a usina.

Região Centro-Oeste

A região Centro-Oeste é a segunda maior produtora de cana-de-açúcar, respondendo por 19,3 % da produção nacional em 2018, ou seja, cerca de 144 milhões de toneladas de colmos (IBGE, 2019), com a maior contribuição (51,2%) feita pelo estado de Goiás (73,8 milhões de toneladas de colmos), seguida pelo Mato Grosso do Sul (49,8 milhões de toneladas). Entretanto, cabe destacar que esta posição de destaque foi alcançada recentemente (após 2006), pois em 1990 a produção era bem pouco expressiva (14,1 milhões de toneladas produzidas em 216 mil hectares).

A expansão percentual no período foi a maior entre todas as regiões brasileiras, com incremento de 786% na área colhida e 919% na produção de colmos. Na Figura 15 é possível verificar a evolução da área e produção ano a ano. Destaca-se a inflexão positiva no ano de 2005, que é atribuída, segundo Wissmann et al. (2014), à busca de novas áreas de cultivo fora do circuito tradicional canavieiro das regiões Sudeste e Nordeste.

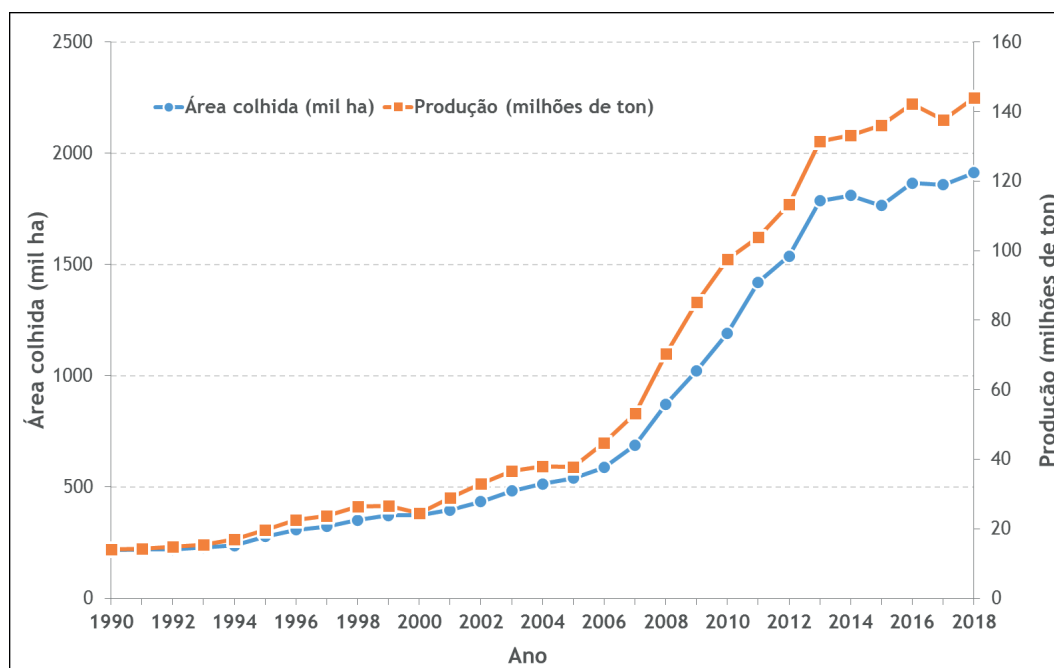


Figura 15. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste.

Fonte: IBGE (2019).

Na Figura 16 é possível observar a evolução do cultivo da cana-de-açúcar nos diferentes estados da região Centro-Oeste. Nota-se que no estado de Goiás, os canaviais se difundiram de Serranópolis sentido Goianésia e Itumbiara, de modo que no ano de 2018 os principais municípios produtores de cana estão localizados nas mesorregiões Sul Goiano e Centro Goiano. Já no Mato Grosso do Sul os cultivos de cana-de-açúcar se concentraram principalmente nos municípios localizados na porção sudeste da mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul e nos municípios localizados na porção nordeste da mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul. No Estado do Mato Grosso a cana ocupou basicamente os municípios localizados na porção sudoeste da mesorregião Norte Mato-grossense.

Os municípios sul-mato-grossenses Rio Brillhante e Nova Alvorada do Sul apresentaram os maiores valores de área colhida no ano de 2018, cerca de 98 e 91 mil hectares respectivamente, seguidos do município goiano Quirinópolis, com área colhida de 72 mil hectares, (IBGE, 2019). Em termos de produção no ano de 2018, destacaram-se os municípios Rio Brillhante (MS) e Nova Alvorada do Sul (MS), com produções de 7,8 e 5,9 milhões de toneladas, respectivamente. Todavia, neste mesmo ano, as maiores produtividades foram observadas nos municípios goianos Jataí e Campo Alegre de Goiás, as quais foram de 120 e 107 t ha⁻¹, respectivamente.

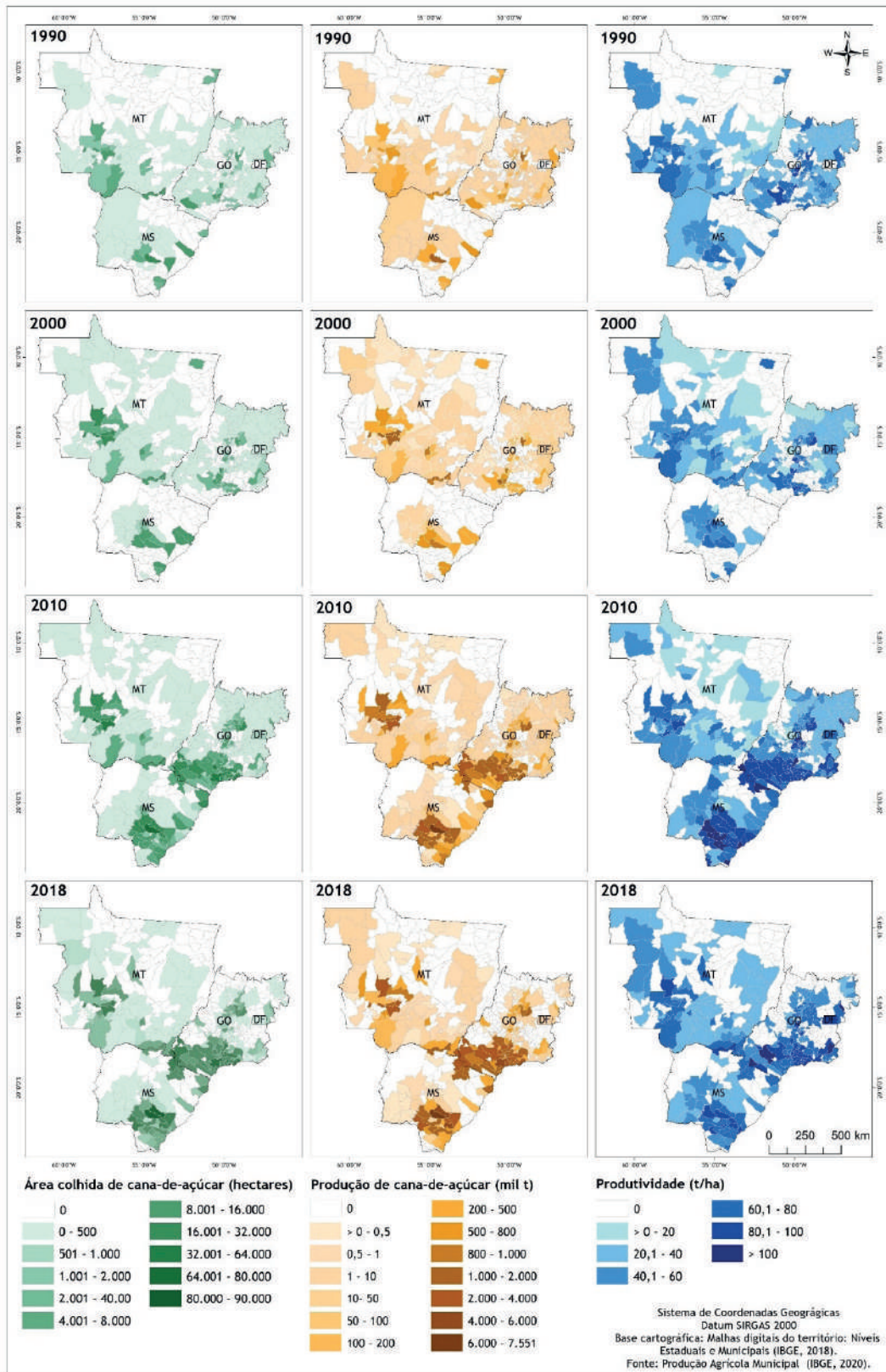


Figura 16. Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Centro-Oeste.

Com relação à evolução da produtividade entre 1990 e 2018 na região Centro-Oeste (Figura 16), verificou-se um aumento de 27,2%, passando de 65,4 t ha⁻¹ em 1990 para 83,2 t ha⁻¹ em 2009, ano recorde de produtividade para a região. Os valores acompanharam a média nacional (Figura 5), com ligeira oscilação entre anos, sendo observados alguns picos de alta produtividade, como nos anos de 1998 (75,2 t ha⁻¹), 2002 (75 t ha⁻¹) e 2009 (83,2 t ha⁻¹), seguido de um período de estabilização entre 2012 e 2017, com média do período de 73,4 t ha⁻¹.

Como observado para a região Sudeste, não foi verificada correlação significativa entre a produtividade e a precipitação média acumulada anual ($r^2 = 0,04$) na região Centro-Oeste. Entretanto, deve ser destacado que o valor de precipitação média histórica desta região foi de 1.580 mm (Figura 17), cerca de 32% acima dos 1.200 mm, que é o valor de referência mínimo aceitável para um bom desempenho da cana-de-açúcar (Waldheim et al., 2006). Isto pode indicar que a precipitação só interfere na produtividade quando esta passa a ser um fator limitante, ou seja, abaixo do aceitável, que foi o que ocorreu entre 2010 e 2016 na região Sudeste (Figura 12).

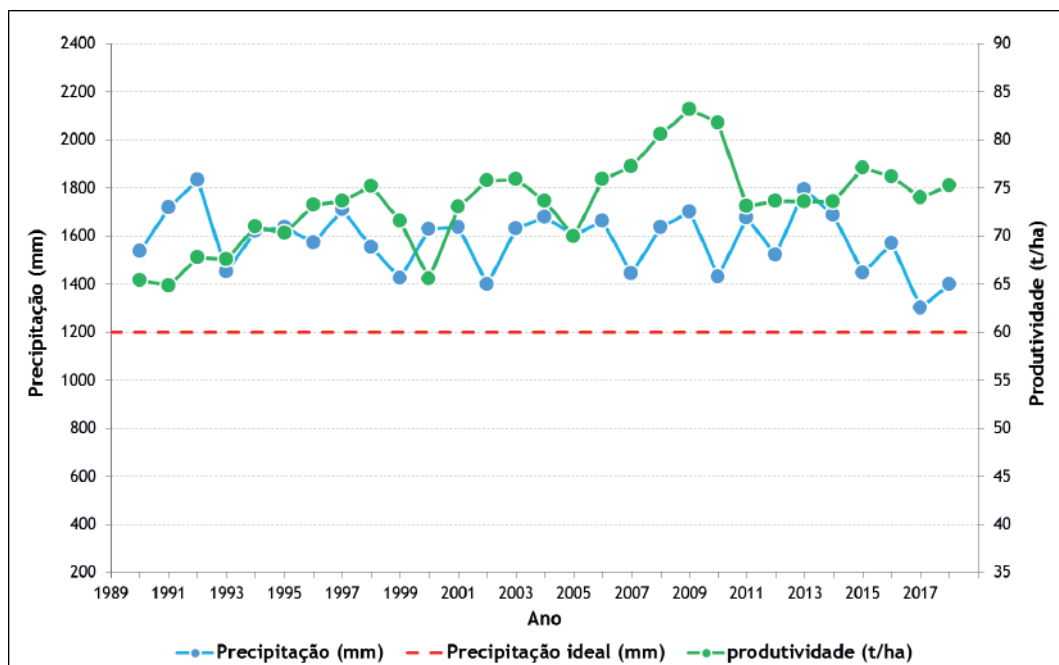


Figura 17. Precipitação pluvial e produtividade da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste.

Fonte: Xavier et al. (2016); IBGE (2019).

A adoção da mecanização, tanto para colheita como plantio da cana-de-açúcar, foi rápida no Centro-Oeste (Figura 7). Tal fato pode ser explicado pela expansão do cultivo ser recente, pela facilidade de uso de máquinas nas extensas áreas planas de cultivo e pela tradição no uso de maquinários por parte dos produtores já instalados na região. Assim, a evolução da colheita mecanizada na região mostra que as taxas de mecanização já eram elevadas desde 2010, chegando a 96,5% em 2018. O que permite inferir que a região não contribui expressivamente para as emissões de GEE decorrentes da queima da cana-de-açúcar, o que é bastante positivo para o ambiente e a sociedade.

Região Sul

A região Sul é pouco expressiva no cenário nacional da produção canaveira, contribuindo em 2018 com 5,5% do total de colmos produzidos. O principal estado produtor foi o Paraná, com 97,9 % da produção da região, enquanto Santa Catarina e Rio Grande do Sul contribuíram com 2,1% restantes.

Em termos de evolução da área e da produção (Figura 18) verificou-se um aumento de 205,7 % da área colhida, passando de 207 mil hectares em 1990 para 632,8 mil hectares em 2018. Também o incremento da produção foi percentualmente semelhante (201,1 %), evoluindo de 13,6 milhões de toneladas de colmos em 1990 para 41,0 milhões de toneladas em 2018. Apesar da representatividade baixa, o pico de produção na região foi em 2009, com 55,8 milhões de toneladas colhidas.

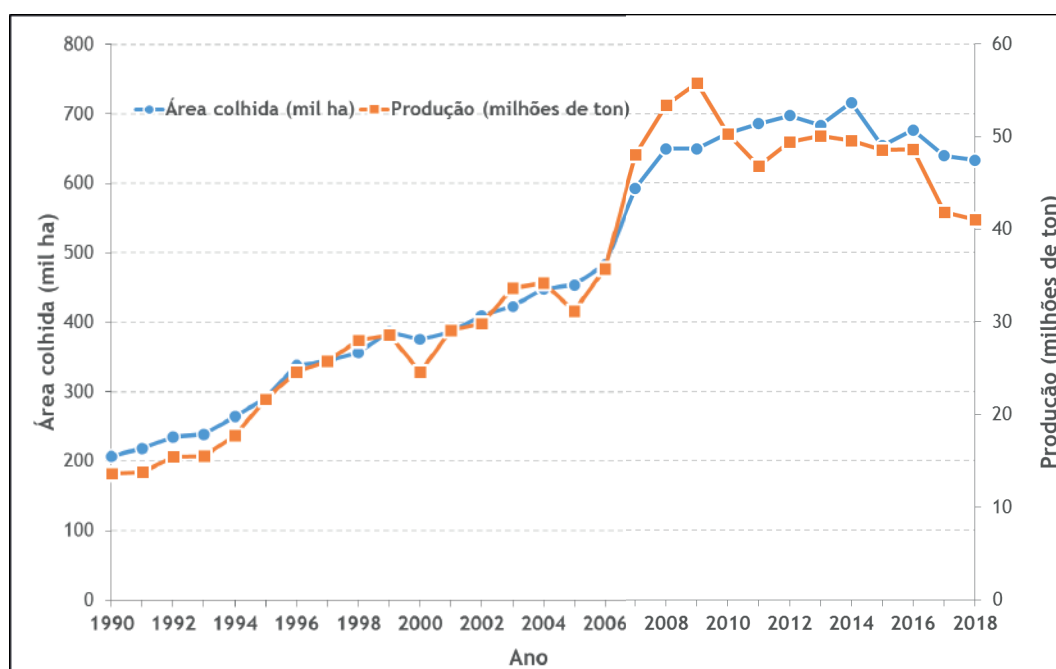


Figura 18. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Sul.

Fonte: IBGE (2019).

No Paraná, os canaviais estão concentrados na porção noroeste do estado (Figura 19), localizados nas mesorregiões Noroeste Paranaense, Norte Central Paranaense e Norte Pioneiro Paranaense, responsáveis juntas por 95,6 % da produção de cana-de-açúcar do estado em 2018, o que equivale a 38,4 milhões de toneladas. Dentre os municípios paranaenses, destacam-se Cianorte, Tapejara, Paranacity, Rondon, Cambará e Jacarezinho, os quais apresentaram no ano de 2018 produção por município, variando entre 1,0 a 2,0 milhões de toneladas.

Os municípios de maior produtividade no ano de 2018 foram aqueles localizados na porção nordeste do estado, na mesorregião Norte Pioneiro Paranaense, apresentando produtividade aproximada de 90 t ha⁻¹. Os municípios Barra do Jacaré, Cambará e Ribeirão Claro, com produtividade média de 95 t ha⁻¹ha, são exemplos da alta produtividade verificada nesta região

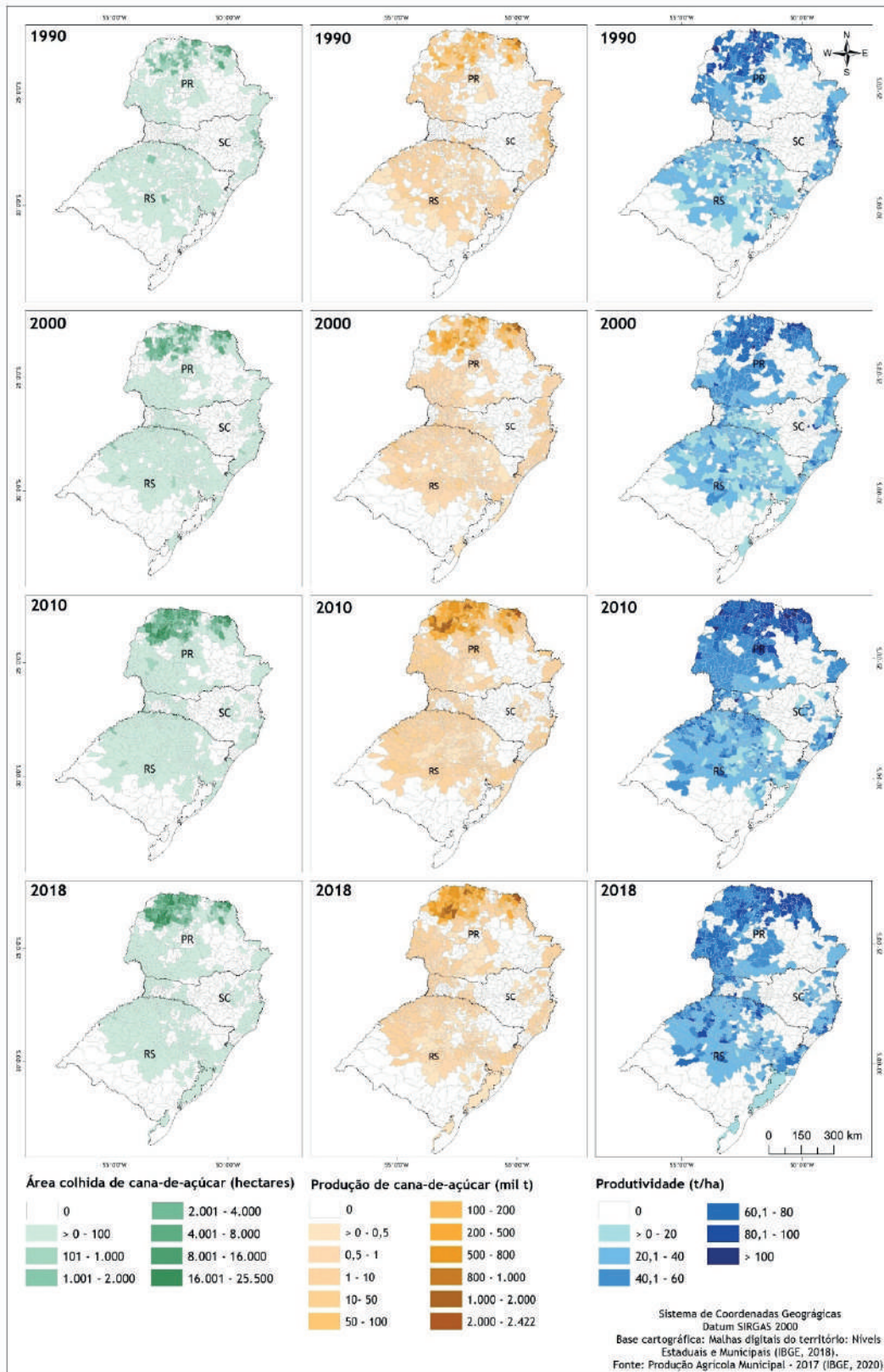


Figura 19. Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Sul.

O rendimento médio da cana-de-açúcar oscilou no período, mas sob o ponto de vista histórico, pode-se dizer que se manteve estável, passando de 65,8 t ha⁻¹ em 1990 para 64,9 t ha⁻¹ em 2018, sendo este último valor inferior aos 74,4 t ha⁻¹ referente à média nacional. Assim como nas outras regiões, o pico mais positivo ocorreu em 2009, com rendimento de 85,9 t ha⁻¹ (Figura 20). Subsequentemente

houve queda na produtividade, explicada pela retração econômica com redução de investimentos nas lavouras e encerramento de atividades em algumas unidades agroindustriais, e por condições climáticas de baixas temperaturas, que causaram geadas intensas em 2015.

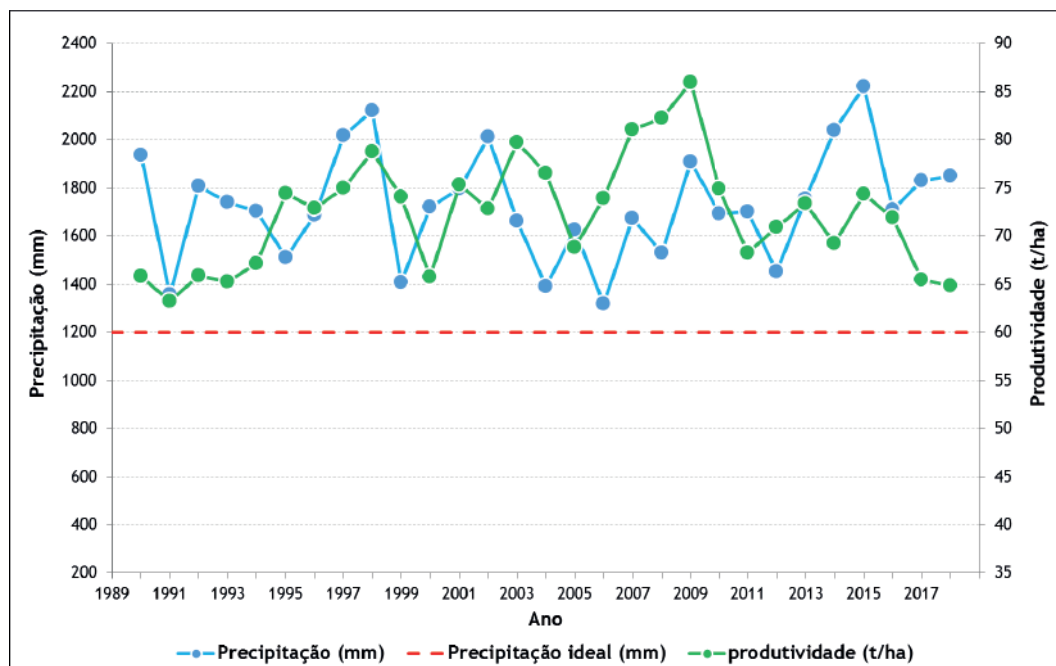


Figura 20. Precipitação pluvial e evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Sul.

Fonte: Xavier et al. (2016); IBGE (2019).

A curva da evolução temporal da produtividade na região sul apresenta comportamento semelhante à curva da região Centro-Oeste, com períodos cíclicos de aumento e queda de produtividade (Figura 20). No intervalo total de tempo também não foi observada uma correlação direta com a precipitação, assim como para as demais regiões já discutidas. Tal fato pode ter ocorrido pela média de precipitação, que sistematicamente, ficou acima dos 1.200 mm médios exigidos para o bom desenvolvimento da cultura.

A colheita sem queima mecanizada é uma realidade generalizada no estado do Paraná, com taxas de 86% em 2018, comprovando o compromisso da região com a redução nas emissões de GEE e a adesão às novas tecnologias de manejo.

Região Nordeste

A região Nordeste ocupou a segunda posição na produção nacional de cana-de-açúcar até a safra 2007-2008, a partir da qual foi ultrapassada pela região Centro-Oeste (IBGE, 2019). Em 2018, a área colhida foi de 866,2 mil hectares, distribuída entre Alagoas (32,3%), Pernambuco (28,2%) e Paraíba (11,8%), seguido dos demais estados (25,9%), sendo que os dois primeiros estados são referência histórica na produção canavieira nordestina, voltados para a produção de açúcar.

A expansão intensa ocorrida no Centro-Oeste (Figura 16) aliada à dificuldade financeira das unidades agroindustriais nordestinas explicam em parte as perdas de área e de produção enfrentadas nos últimos anos naquela região (Conab, 2019). Conforme dados da PAM (Produção Agrícola Municipal - IBGE), em 2010 a área colhida na região foi de 1.233,6 milhão ha, passando para 866,2 mil ha no ano de 2018, um decréscimo de 29,8% (Figura 21). Tal variação ocorreu também para a quantidade de colmos produzida, a qual foi de 68,8 milhões de toneladas no ano de 2010 e de 48,5 milhões de toneladas no ano de 2018, com decréscimo de 29,4%.

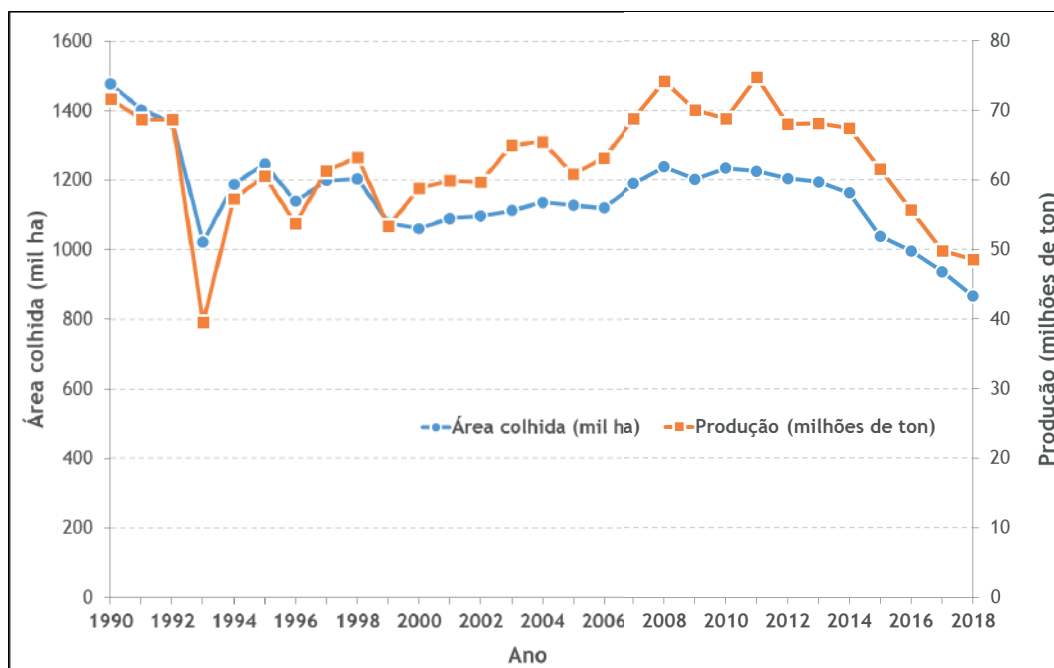


Figura 21. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Nordeste.

Fonte: IBGE (2019).

A respeito da distribuição dentro dos estados produtores, destaca-se o município de Coruripe, AL, que historicamente foi um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do Nordeste, mas que também sofreu declínio da produção nos últimos anos. Em 2000 a área colhida neste município foi de 43,1 mil hectares, passando para 38 mil hectares no ano de 2017, um decréscimo de 13,4% (Figura 22), acompanhado também de perda de 34% na produtividade ($69,3 \text{ t ha}^{-1}$ para $45,8 \text{ t ha}^{-1}$). No entanto, a região aumentou a área colhida em 2018 para 52 mil hectares, refletindo em uma melhora na produtividade de 21,8% ($55,8 \text{ t ha}^{-1}$), mostrando uma tendência de aumento de produtividade devido à expansão e reforma dos canaviais.

Embora a região Nordeste venha apresentando queda de áreas e rendimentos, alguns municípios apresentaram crescimento pontual (Figura 22). No município de Juazeiro, BA, no Vale do rio São Francisco, em virtude do aprimoramento nos sistemas de irrigação e do cultivo de variedades de cana mais adaptadas às especificidades locais, tem sido observada uma tendência contrária à da região Nordeste. A área colhida de 13 mil hectares no ano de 2000 passou para 16 mil hectares no ano de 2018, um crescimento de 23,1%. Neste mesmo período, a produção de cana em Juazeiro passou de 1,2 para 1,8 milhão de toneladas, enquanto a produtividade passou de 95 para $113,7 \text{ t/ha}^{-1}$, a maior produtividade dentre os municípios do Nordeste (Figura 22). Este exemplo comprova que o uso de tecnologias compatíveis com as condições edafoclimáticas locais leva ao sucesso na produção.

De modo geral, a sub-região Zona da Mata, porção leste da região Nordeste, se mantém como principal polo de produção de cana-de-açúcar do Nordeste (Figura 22). Todavia, os municípios de Juazeiro, BA e São Raimundo das Mangabeiras, MA (Sul Maranhense), municípios da mesorregião Sul Baiano e municípios das mesorregiões Leste Maranhense e Centro-Norte Piauiense têm se destacado dos demais municípios nordestinos não localizados na Zona da Mata.

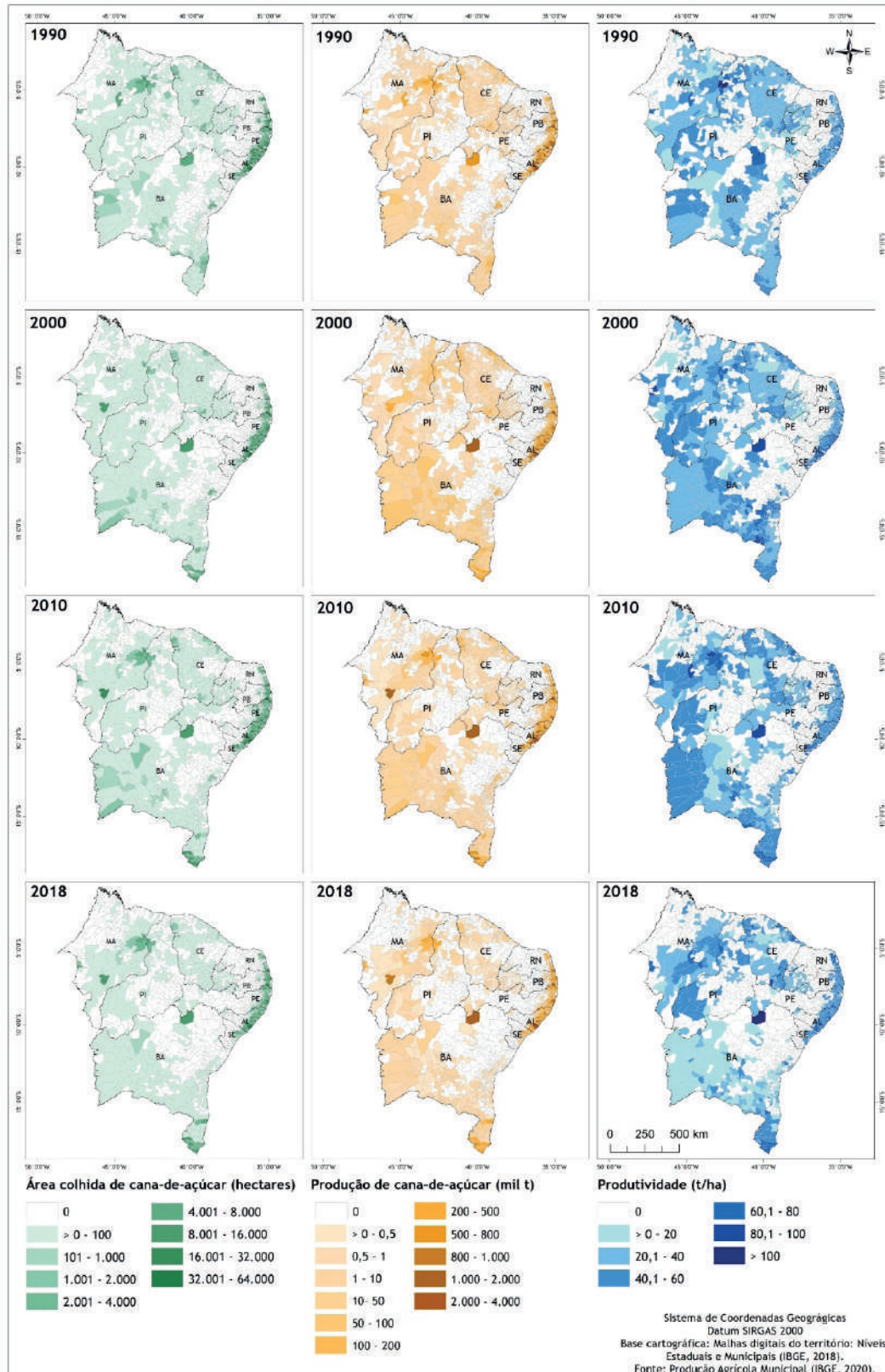


Figura 22. Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Nordeste.

A produtividade média nordestina se manteve historicamente abaixo da média nacional (Figura 23). Em parte porque nesta região as chuvas se concentram principalmente entre os meses de março a agosto, período de baixa luminosidade, menores temperaturas e dias mais curtos, com deficiência hídrica entre os meses de setembro a fevereiro, período da safra, com maior radiação solar, maiores temperaturas e dias mais longos (Ridesa, 2015). Essa combinação provoca menor fotossíntese da planta e reflete historicamente em menor produtividade agrícola (abaixo de 60 t/ha⁻¹), quando comparado com a região Centro-Sul do país (Ridesa, 2015).

A correlação entre produtividade e precipitação média acumulada também não foi significativa ($r^2=0,05$), seguindo a tendência das demais regiões descritas. A média histórica de precipitação da região foi de 920 mm ano⁻¹, valor inferior ao mínimo de 1.200 mm exigidos para o bom desempenho produtivo da cana-de-açúcar (Waldheim et al., 2006) e também aos obtidos nas demais regiões canavieiras do Brasil (Figuras 12, 17 e 20).

Os produtores nordestinos têm buscado compensar as baixas precipitações com irrigações de salvamento (grande parte) ou mesmo a plena. A edição da Lei nº 9.433/1997, que estabelece a “Política Nacional dos Recursos Hídricos”, colaborou para o avanço da irrigação nos cultivos nordestinos a partir do ano de 1997, de modo que mesmo em períodos de baixa precipitação, a produtividade se manteve relativamente estável (Figura 23). Assim, dados dos censos agropecuários de 1995-96 e 2006, mostram que a área agrícola irrigada (para todas as culturas) na região Nordeste passou de 751.887 ha em 1995 para 1.007.657 ha em 2006, um aumento de 34%, enquanto que a área agrícola cresceu apenas 5% neste mesmo período.

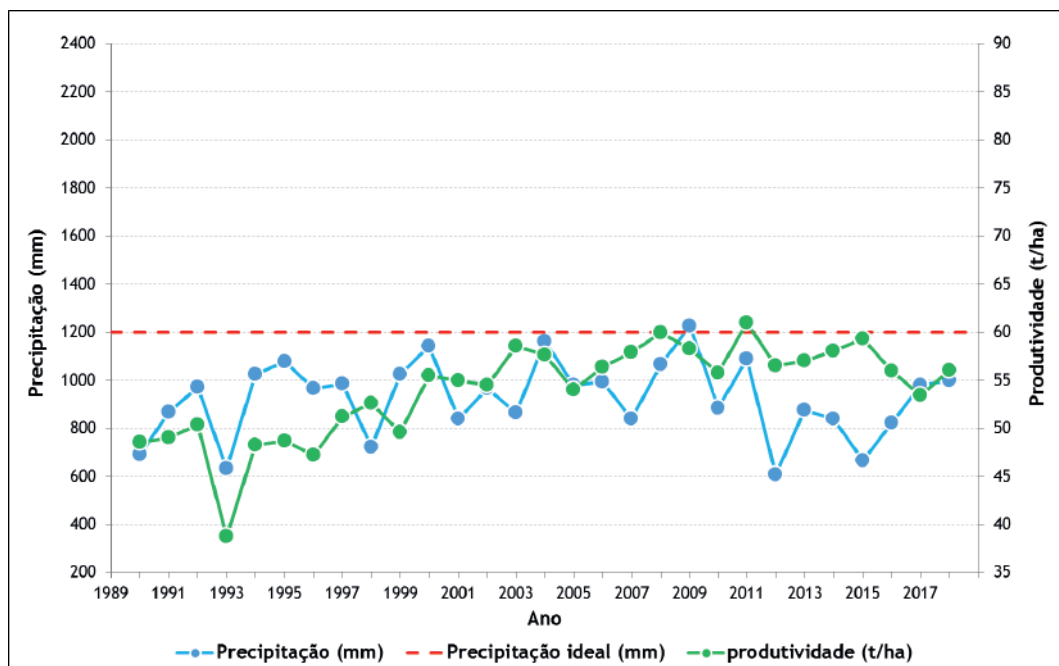


Figura 23. Precipitação pluvial e evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Nordeste.

Fonte: Xavier et al. (2016); IBGE (2019).

Além da questão climática, as dificuldades financeiras também contribuíram para as perdas de produtividade, refletindo na baixa taxa de renovação dos canaviais (Figura 24), com valores superiores a 4,5 anos na maioria dos estados produtores por vários anos seguidos.

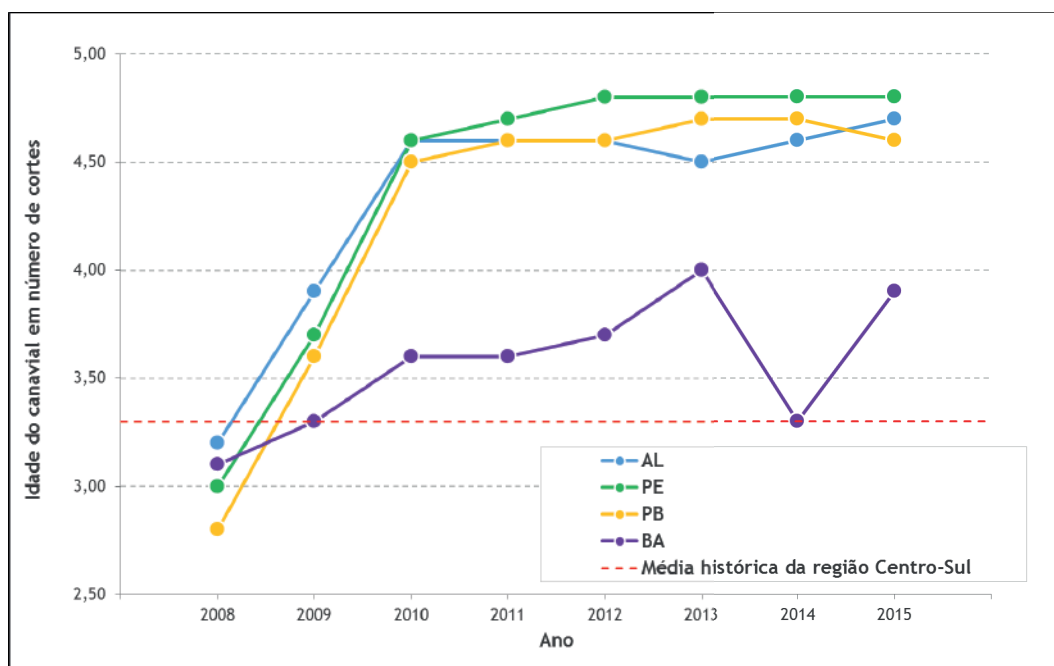


Figura 24 . Idade média dos canaviais em número de cortes na região Nordeste, relacionada à média histórica da região Centro-Sul (novaCana, 2019).

Fonte: Modificado de Conab (2017).

Ao contrário das demais regiões brasileiras onde a colheita mecanizada avançou fortemente como tecnologia, no Nordeste o índice de adoção ainda é baixo, chegando a apenas 17% de colheita mecanizada em 2018. A mecanização amplamente difundida em canaviais do Centro-Sul e de Alagoas, que possuem topografia plana, tem baixa adoção em Pernambuco devido ao relevo íngreme, ondulado e inclinado. Assim, este fator não pode ser incluído como um dos responsáveis pelo baixo rendimento de colmos. Inclusive esta baixa mecanização indica a contribuição mais expressiva desta região para o Setor da Agropecuária na área de Queima de Resíduos Agrícolas, junto ao Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa

A lei de encerramento da queima que estipula o ano de 2031 como limite para uso do fogo na operação de colheita ainda é motivo de grande discussão entre os produtores da região e os órgãos de governo. Entretanto, o que deve ser considerado é que cada vez mais os importadores de produtos derivados da cana estão se preocupando com questões ambientais e, num futuro próximo, o encerramento da queima não será apenas uma questão de lei, mas também de necessidade para o posicionamento em mercados internacionais.

Região Norte

A região Norte é a menos expressiva entre todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar brasileiras. Em 2018 a área colhida foi de 59,4 mil hectares (Figura 25), com a presença de quatro unidades agroindustriais. Este baixo valor deve-se em parte ao decreto nº 6.961 de 17 setembro de 2009 (ZAE Cana), revogado recentemente pelo decreto nº 10.084 de 2019, o qual impedia a concessão de créditos do BNDES para a produção de cana-de-açúcar na Amazônia Legal, além de outras dificuldades.

Todavia, a evolução do cultivo de cana-de-açúcar na região foi expressiva em relação ao volume inicial de 1990 (Figura 25). Assim, mesmo que pouco significativa em relação às demais regiões do Brasil, pode-se afirmar que houve expansão de área e de produção no Norte, principalmente a partir de 2009.

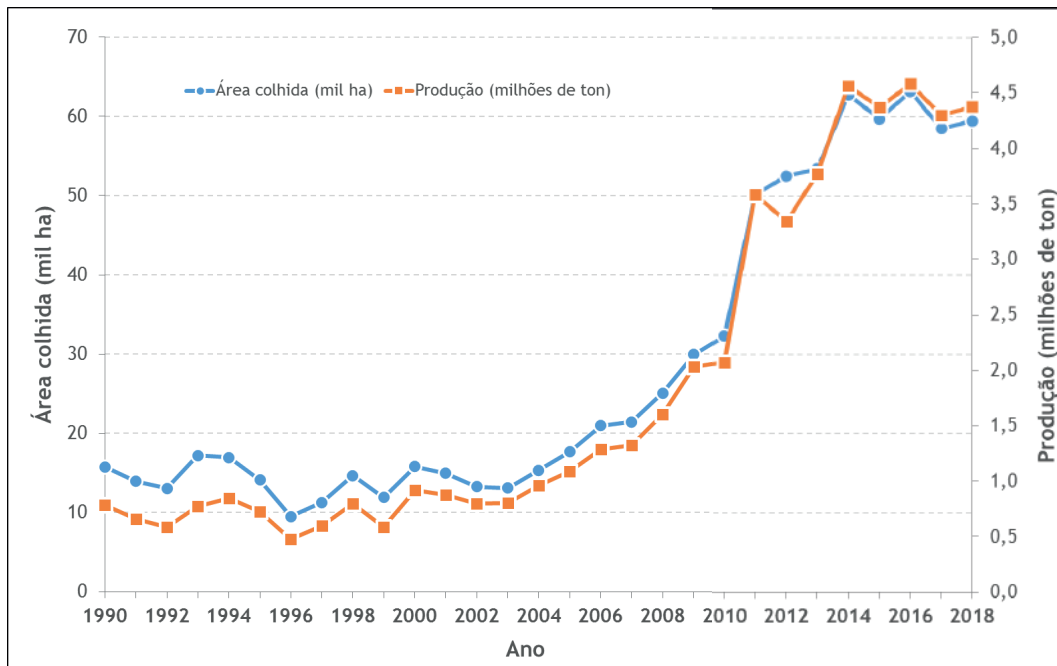


Figura 25. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Norte. Fonte: IBGE (2019).

A expansão ocorreu principalmente no estado do Tocantins, com maior área colhida de colmos em 2018, seguido dos estados do Pará, Amazônia e Rondônia. Em termos de municípios destaca-se Pedro Afonso, TO com 35 mil ha e produção de 2,8 milhões de toneladas (Figura 26).

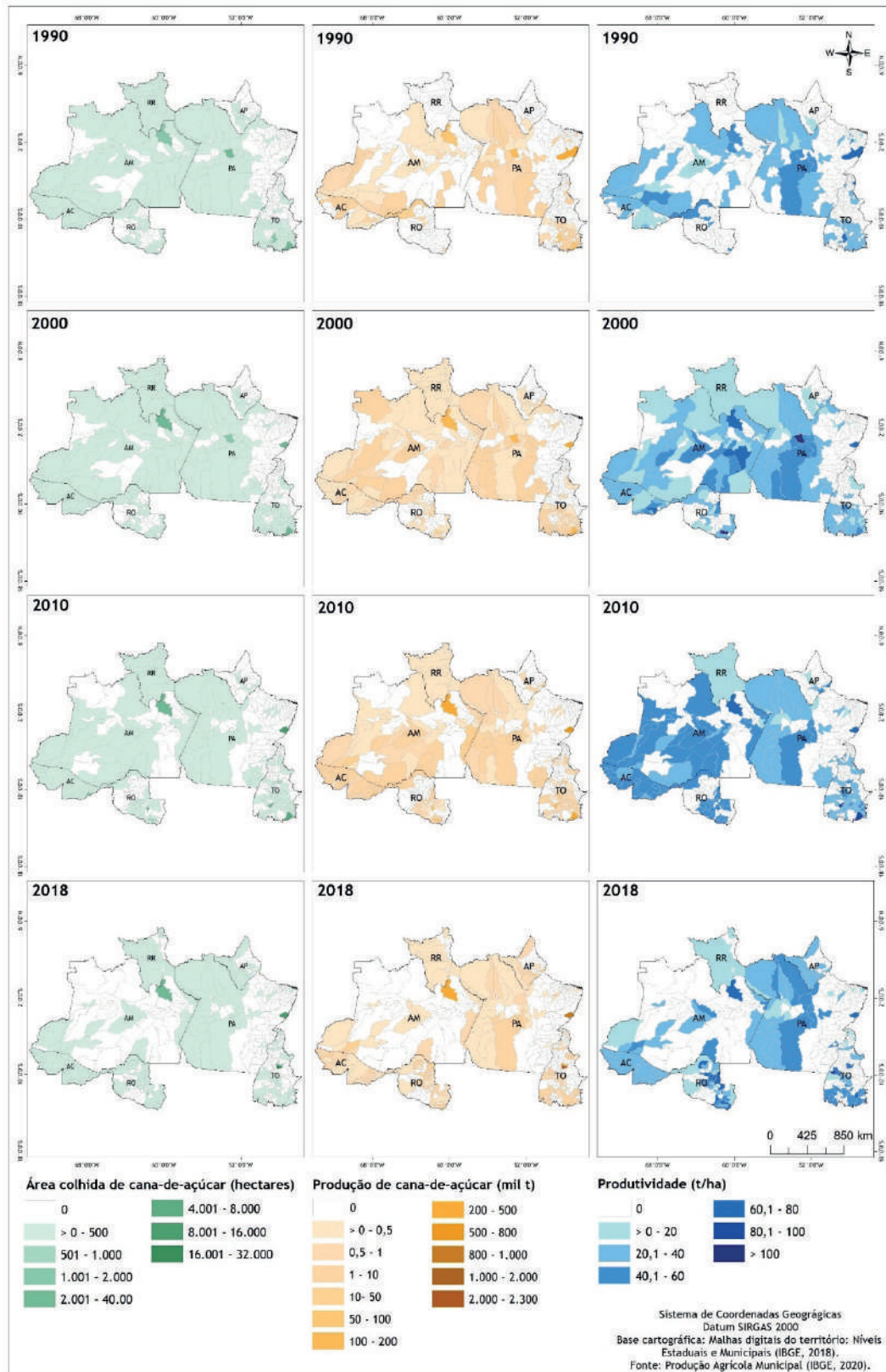


Figura 26. Evolução da área colhida, produção e produtividades do cultivo de cana-de-açúcar nos municípios da região Norte.

Fonte: IBGE (2020).

Até o ano de 2010, a produtividade média na Região Norte sempre foi inferior à média nacional, sendo este valor superado a partir do ano de 2011, quando alcançou rendimentos semelhantes aos das regiões Sudeste e Centro-Oeste, passando para 72,5 t ha⁻¹ (Figura 27). Do mesmo modo como nas demais regiões não se verificou correlação entre produtividade e precipitação para o período estudado, em função das precipitações estarem acima das exigidas pela cultura, conforme já discutido anteriormente.

Os maiores valores de produtividade no ano de 2017 foram apresentados pelos municípios de Presidente Médici, RO (100 t ha⁻¹), Rolim de Moura, RO (100 t ha⁻¹) e Marianópolis do Tocantins, TO (82,7 t ha⁻¹) (Figura 26).

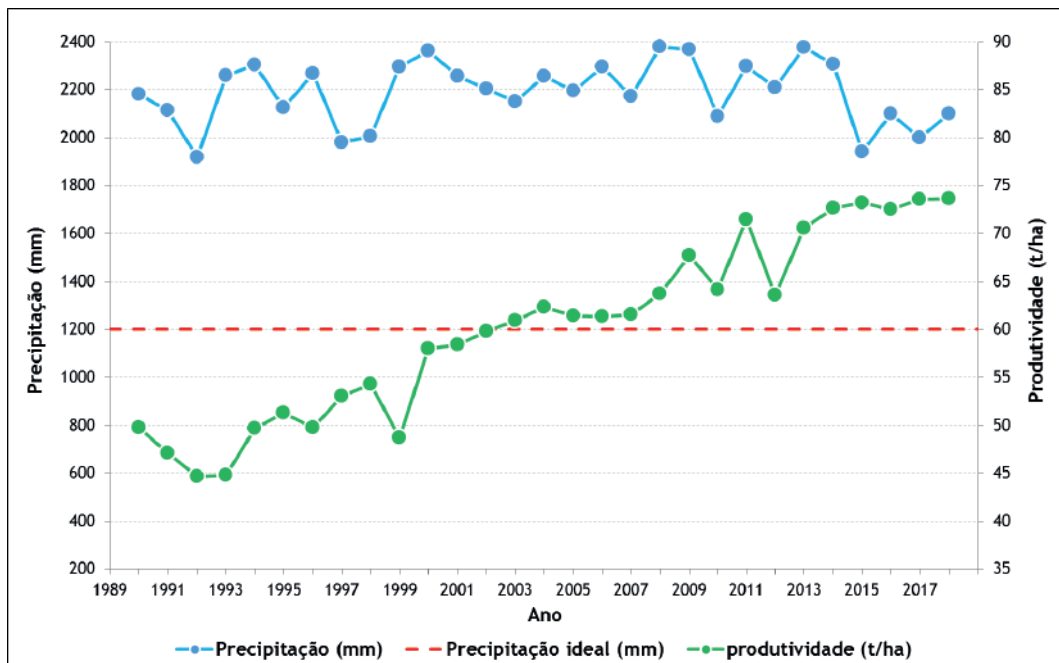


Figura 27. Precipitação pluvial e evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Norte.

Fonte: Xavier et al. (2016); IBGE (20199).

A entrada de novos empreendimentos com expansão de canaviais foi o propulsor do crescimento na produção e produtividade na região Norte, sobretudo no estado do Tocantins. Com isto a idade média dos canaviais em número de cortes está inferior à média histórica da região Centro-Sul (Figura 28). Um exemplo é o do município de Pedro Afonso, TO, que recebeu investimentos para a instalação de uma unidade de produção com capacidade de moagem de mais de 2,5 milhões de toneladas de colmos por ano.

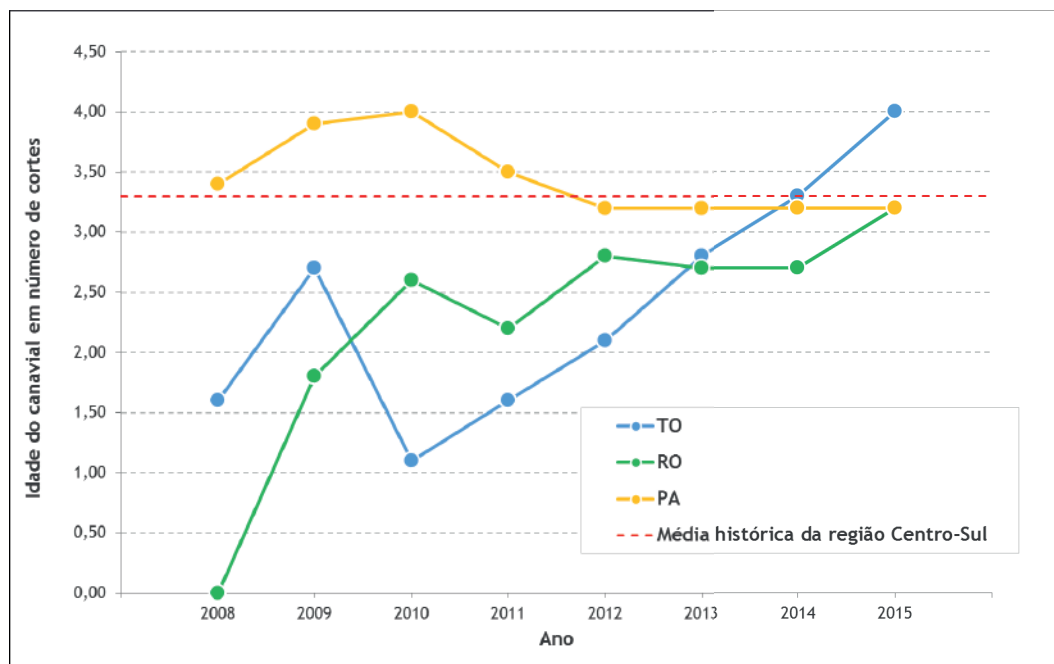


Figura 28. Idade média dos canaviais em número de cortes na região Norte, relacionada à média histórica da região Centro-Sul (novaCana, 2019).

Fonte: Modificado de Conab (2017).

Considerações finais

O levantamento de informações a respeito da produção e ocupação de áreas com cana-de-açúcar entre 1990 e 2018 mostrou a expansão da cultura para novas áreas dentro da região Sudeste, que já era protagonista na produção canavieira, e também para a região Centro-Oeste, que tinha pouco histórico de cultivo. A produtividade nacional aumentou significativamente neste intervalo de tempo, porém nos últimos anos foram observadas oscilações que favoreceram quedas de rendimento, mesmo no Centro-Sul, o que fez soar um alerta dentro do setor sucroenergético para a necessidade de se identificar e sanar as causas que levaram a estas perdas.

O processo acelerado de mecanização da colheita foi identificado como um dos fatores decisivos para essas quedas na produtividade, porém o benefício obtido com a redução da queima foi tão ou mais significativo em termos de saúde humana e qualidade ambiental que justificou a extensa adoção desta tecnologia. Inclusive esta foi a tecnologia que permitiu a diminuição significativa nas emissões decorrentes de queima de resíduos dentro do “4º Inventário Nacional de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”.

Com o cenário atual e crescente da colheita crua e possível encerramento total da queima dentro do setor canavieiro, outras práticas que contribuem para emissões de GEE possivelmente passarão a ter maior destaque, como por exemplo a emissão de N_2O derivado do fertilizante nitrogenado utilizado na adubação da cana-de-açúcar e sua associação com a palha mantida pós colheita crua.

Cabe destacar que o setor canavieiro é um dos que estão inseridos mais fortemente no RenovaBio, nova política de governo que premiará produtores de biocombustíveis com melhor desempenho energético-ambiental. Com isto estima-se uma nova mudança na dinâmica da produção canavieira,

com aumento significativo de produtividade e até uma expansão, mesmo que pouco significativa, para novas áreas. Esta política passará a contabilizar as emissões de GEE envolvidas no ciclo de vida do biocombustível produzido, incentivando os produtores a adotarem práticas que levem à maior produtividade e ao mesmo tempo apresentem as menores emissões. Este será um importante passo para a adoção de práticas e insumos com menor pegada de carbono.

Agradecimentos

Os dados e os resultados apresentados nessa publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto da “Quarta Comunicação Nacional e dos Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.

Referências

ALVES, M.; PONCE, G. H. S. F.; SILVA, M. A.; ENSINAS, A. V. Surplus electricity production in sugarcane mills using residual bagasse and straw as fuel. *Energy*, v. 91, p. 751-757, 2015.

ARGENTON, P. E. **Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Piracicaba**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRAGA JUNIOR, R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N.; THOMAZINHO, J. R.; SILVA, V. H. P. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safra 2016/17**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **SAPCANA: Sistema de Acompanhamento de Produção Canavieira**. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sapcana/downloadBaseCompletaInstituicao.action>. Acesso em: 30 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 4ª ed. Brasília, DF, 2017. 89 p. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_4ed.pdf. Acesso em: 6 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima: volume III**. Brasília, DF, 2016. 336 p. Disponível em: https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/TCN_Volume_3.pdf. Acesso em: 7 jun. 2020.

CAPAZ, R. S.; CARVALHO, V. S. B.; NOGUEIRA, L. A. H. Impact of mechanization and previous burning reduction on GHG emissions of sugarcane harvesting operations in Brazil. *Applied Energy*, v. 102, p. 220-228, 2013.

CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. F.; GODOY, A. F. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. *Enciclopédia Biosfera*, v.9, n.16; p.530, 2013.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A.. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 57-78.

CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS, S. S.; DANTAS NETO, F. S.; SOUZA, J. A. A.; SOARES, A. A. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas do café, cana-de-açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 39-45.

CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S. M. F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; POWLSON, D.; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62, p. 23-28, 2011. Special issue: soil organic matters.

CHERUBINI, F. The biorefinery concept: using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. **Energy Conversion and Management**, v. 51, n. 7, p. 1412-1421, 2010.

CONAB. **Perfil do setor do açúcar e do etanol no Brasil**: edição para a safra 2015/16. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/perfil-do-setor-sucroalcooleiro>. Acesso em: 4 mar. 2020.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA AGRICULTURA. **Panorama do agro**. 2019. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>. Acesso em: 4 mar. 2020.

DIAS, H. B.; SENTELHAS, P. C. Sugarcane yield gap analysis in Brazil – A multi-model approach for determining magnitudes and causes. **Science of the Total Environment**, v. 637-638, p. 1127–1136, 2018.

ESTEBAN, D. A. A.; SOUZA, Z. M.; TORMENA, C. A.; LOVERA, L. H.; LIMA, L. S.; OLIVEIRA, I. N.; NÁIADE DE PAULA RIBEIRO, N. P. Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. **Soil and Tillage Research**, v. 187, p. 60-71, 2019.

EVANGELISTA, B. A. **Projeção de cenários atuais e futuros de produtividade de cana-de-açúcar em ambiente de Cerrado**. 188 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FAO. **FAOSTAT**: Food and Agriculture Data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 1 ago. 2019.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p. 31-44.

FRANÇA, D. A.; LONGO, K. M.; SOARES NETO, T. G.; SANTOS, J. C.; FREITAS, S. R.; RUDORFF, B. F. T.; CORTEZ, E. V.; ANSELMO, E.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Pre-harvest sugarcane burning: determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, 164-180, 2012.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal of Soil Science**, v. 53, p. 589-598, 2002.

IBGE. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes: 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 1 nov. 2019.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 7 abr. 2020.

KUPERMAN, N.; MACHADO, J. P. de A.; MACHADO, R. C. **Proálcool, uma avaliação global**. Rio de Janeiro, Xenon, 1992. p.13-39.

LEAL, M. R. L. V.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; SEABRA, J. E. A.; WALTER, A.; OLIVEIRA, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. **Biomass and Bioenergy**, v. 53, p.11-19, 2013.

MACEDO, I. C. **A energia da cana-de-açúcar**: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: UNICA, 2005. 235 p.

MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (Org.). **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**: expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. (Embrapa Solos. Documentos, 110).

NOCELLI, R. C. F.; ZAMBON, V.; SILVA, O. G. M.; MORINI, M. S. C. Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: contribuições e importância econômica. In: FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. (Org.). **Cana-de-açúcar e seus impactos**: uma visão acadêmica. Bauru, SP: Canal 6, 2017, 275 p.

NOVACANADATA. Disponível em: <https://www.novacana.com/data/dados/>. Acesso: 3 mar. 2019.

NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOARES, M.; MILANEZ, A. Y.; TANAKA, A. K. R.; RODRIGUES, A. V. P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial**, n. 37, p. 55-78, 2013.

OHASHI, F. H. **O advento, crescimento, crise e abandono do Proálcool**. Campinas, 2008. Monografia apresentada no curso de Ciências Econômicas, Unicamp. Não publicada.

OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028. Paris: OECD; Rome: FAO, 2019.

PRADO, H.; VITTI, A. C. **Solos e ambientes de produção**: cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. p.179-204.

RIDESA. **Censo varietal Brasil**: 2017/18. Disponível em: <https://www.ridesa.com.br/censo-varietal>. Acesso em: 1 dez. 2018.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; GAVA, G. J. C.; MELLIS, E. V.; VARGAS V. P.; CANTARELLA H.; PRADO, H.; DIAS, F. L. F.; LANDELL, M. G. A., BRANCALIÃO, S. R.; GARCIA, J. C. Cana-de-açúcar: cultivo com sustentabilidade. **Informações Agronômicas**, v.142, p. 1-13, 2013.

SANTORO, E.; SOLER, E. M.; CHERRI, A. C. Route optimization in mechanized sugarcane harvesting. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 141, p. 140-146, 2017.

SANTOS, M. J. Z. **Influências climáticas associadas às pedológicas e econômicas na produção de cana-de-açúcar nos núcleos canavieiros do Estado de São Paulo**. 1981. 411 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, R. S. Produtividade na agroindústria canavieira: um olhar a partir da etapa agrícola. In: SANTOS, G. R. dos (Org.). **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil**: desafios, crises e perspectivas. Brasília, DF: Ipea, 2016.

SANTOS, G. R.; GARCIA, E. A.; SHIKIDA, P. F. A. A crise na produção do etanol e as interfaces com as políticas públicas. **Radar**, n. 39, 2015. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/radar/temas/agricultura/330-radar-n-39-a-crise-na-producao-do-etanol-e-as-interfaces-com-as-politicas-publicas>. 1 dez. 2018.

TÁVORA, F. L. **História e economia dos biocombustíveis no Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 2011. (Textos para Discussão, 89).

TOMINAGA, T. T.; CASSARO, F. A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; TIMM, L. C. Variability of soil water content and bulk density in a sugarcane field. **Australian Journal of Soil Research**, v. 40, p. 604-14, 2002.

TREIN, C. R.; LEVIEN, R.; SOUZA, L. F. C. Tráfego controlado: pneus e compactação. **Cultivar Máquinas**, v. 41, p. 22-25, 2005.

WALDHEIM, P. V.; CARVALHO, V. S. B.; CORREA, E.; FRANÇA, J. R. A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do lagodão herbáceo para a Região Nordeste do Brasil. In: ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS. Rio de Janeiro: UFRJ, vol. 29, n. 2, 2006, p. 28-41.

WISSMANN, M. A.; OYAMADA, G. C.; WESENDONCK, C. C.; SHIKIDA, P. F. A. Evolução do cultivo da cana-de-açúcar na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 2, n. 1, p. 95-117, 2014.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL