

Rodrigo Santos de Paula

**Perfil dos municípios produtores de cana-de-açúcar em
relação a queimadas ou incêndios, à área colhida e à presença
de produtor de biocombustível incentivado pelo programa
RenovaBio**

Artigo apresentado ao curso de Especialização em Ciência de Dados Aplicada a Políticas Públicas - ENAP, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ciência de Dados Aplicada a Políticas Públicas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Paiva

RESUMO

Em um contexto de redução da pegada de carbono mundial, crescimento do mercado de comercialização de créditos de carbono e metas de redução de emissões compromissadas pelo país internacionalmente, o Brasil aponta como importante ator no cenário global, não somente pelos seus ativos ambientais, mas pela sua produção de biocombustível, em especial o etanol.

Considerando a necessidade de se promover o desenvolvimento sustentável e a necessidade de ter um processo produtivo do etanol da cana-de-açúcar em equilíbrio com o meio ambiente, a atenção a aspectos de cultivo ou mesmo a ampliação das áreas destinadas à agricultura são temas recorrentes em pesquisas científicas.

Nos últimos anos, entretanto, documenta-se a ampliação da mecanização do cultivo da cana-de-açúcar e, com isso, a redução da usual prática de queimadas para limpeza da área plantada previamente à colheita da cana-de-açúcar. De outro lado, notícias acerca de queimadas e incêndios florestais no Brasil têm sido recorrentes, onde dados de satélites são referenciados como fontes das informações.

Nesse contexto, em 2019, o Estado Brasileiro iniciou um programa para estimular a produção de biocombustíveis e recompensar esses produtores financeiramente de modo proporcional à eficiência energética alcançada pelos seus processos produtivos e à quantidade de biocombustível vendida às distribuidoras. O programa RenovaBio tem como ideia central promover a descarbonização do setor de combustíveis, aumentando a participação de biocombustíveis na matriz energética de transporte.

O presente artigo traça um perfil dos municípios produtores de cana-de-açúcar em relação à quantidade de focos de calor¹ detectada, comparando com municípios com produção agrícola de perfis diferentes, inserindo ainda na análise variável referente à presença, no município, de produtor certificado no programa RenovaBio.

O objetivo principal é avaliar diferenças, semelhanças e tendências, na quantidade de focos de calor por grupos de municípios analisados, provendo informações qualificadas para o aperfeiçoamento das políticas públicas relativas ao cultivo da cana, à produção de etanol e à preservação do meio ambiente.

O artigo desenvolve o tema estruturando-se nas seguintes seções: introdução, metodologia, análise exploratória, análises específicas das perguntas de pesquisa e conclusões.

¹ Ocorrência de fogo detectada por monitoramento de satélites. O artigo em tela utilizou os dados do AQUA_M-T, satélite de referência utilizado pelo INPE. Características como sensibilidade e resolução são descritas na seção “metodologia” deste artigo.

INTRODUÇÃO

A redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE²) é um objetivo mundial com metas firmadas pelos países que aderiram ou ratificaram os acordos estabelecidos no âmbito do tratado internacional da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (CQNUMC) e seu mais recente compromisso advém da COP26, realizada em novembro de 2021, em Glasgow, na Escócia.

O Brasil, que ratificou o acordo de Paris negociado durante a COP21, recentemente atualizou seus compromissos estabelecidos por meio da Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution – NDC*) revista para o pacto de Glasgow.

Por meio desta comunicação, o Brasil confirma o compromisso apresentado em sua NDC revisada, submetida ao Secretariado da UNFCCC em 9 de dezembro de 2020, de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de referência de 2005, em 2025.

Adicionalmente, o país assume o compromisso de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 50% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. ANDC revisada do Brasil antecipa para 2050, ainda, objetivo indicativo de longo prazo de alcançar a neutralidade climática. O escopo da NDC brasileira é amplo, prevendo-se a implementação de ações de mitigação e adaptação à mudança do clima ao conjunto da economia brasileira, assim como considerações sobre meios de implementação. (Brasil. Comunicação ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 08 de fevereiro de 2022)

Além da atualização de compromissos para redução da emissão de GEE, em sua última comunicação ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), o Estado Brasileiro citou também a importância do programa RenovaBio para o crescimento da produção de biocombustíveis no país.

Cumprir lembrar, ainda, que o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo. Em 2020, fontes renováveis contabilizaram 48,4% da demanda total de energia, três vezes o indicador mundial. Na matriz de demanda total de energia elétrica o percentual de renováveis foi de 84,8%, e na matriz de consumo de combustíveis de transportes, foi de 25%. A produção de biocombustíveis para o setor de transportes tem crescido substancialmente por meio do programa RenovaBio, que utiliza incentivos de mercado para promover a descarbonização e

² GEE são substâncias gasosas que absorvem parte da radiação infravermelha, emitida principalmente pela superfície terrestre, e dificultam seu escape para o espaço. Isso impede que ocorra uma perda demasiada de calor para o espaço, mantendo a Terra aquecida. O efeito estufa é um fenômeno natural. Esse fenômeno acontece desde a formação da Terra e é necessário para a manutenção da vida no planeta, pois sem ele a temperatura média da Terra seria 33 °C mais baixa impossibilitando a vida no planeta, tal como conhecemos hoje. O aumento dos gases estufa na atmosfera têm potencializado esse fenômeno natural, causando um aumento da temperatura (fenômeno denominado mudança climática). Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Gases_do_efeito_estufa (acessada em 10/05/2022).

aumentar a produção desse tipo de combustível oriundo de fontes renováveis.

O programa RenovaBio consiste em uma remuneração adicional dos produtores de biocombustíveis na proporção da eficiência energética atingida pelo seu processo produtivo em relação ao combustível fóssil equivalente. A ideia é recompensar as empresas produtoras na proporção em que o consumo do seu produto reduziria a emissão de GEE em comparação ao consumo equivalente em combustível fóssil.

A implementação dessa política pública se dá pela criação de um ativo denominado CBIO, cuja unidade equivale a “uma tonelada de carbono que deixa de ser emitida para a atmosfera”, segundo site da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, principal agente operador do programa.

Cada produtor ou importador de biocombustível certificado no RenovaBio gera seus créditos em CBIO e os comercializam na bolsa de valores. O CBIO pode ser comercializado com quaisquer pessoas físicas ou jurídicas residentes ou não no Brasil, mas a principal demanda de compra desses ativos se dá por parte das empresas distribuidoras de combustíveis, que têm obrigações de aquisição de CBIOs em quantidades estabelecidas pela ANP conforme metas globais definidas pelo CNPE - Conselho Nacional de Política Energética.

O programa RenovaBio é recente, o primeiro certificado de produção foi aprovado em outubro de 2019 e outros 212 certificados foram aprovadas no primeiro semestre de 2020, quando definitivamente o programa deslançou. Segundo dados do Caderno de Oferta de Biocombustíveis, referente aos Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 (PDE 2031), publicado em novembro de 2021 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e pelo Ministério de Minas e Energia (MME), a capacidade de produção em etanol certificada no RenovaBio correspondia a 87% da produção nacional. Considerando os dados de certificação divulgados pela ANP referentes à 16 de março de 2022, o número de certificações válidas estava em 307, sendo 261 relativas à produção de etanol de cana-de-açúcar de 1ª geração, largamente o biocombustível mais representativo na matriz energética brasileira.

O valor médio diário histórico de comercialização de um CBIO é de R\$ 50,04 (dados de 28/04/2020 a 20/04/2022), sendo que seu valor médio diário no primeiro trimestre de 2022 esteve em R\$ 85,97³. O volume de CBIO emitido está em crescimento, tendo sido registrados os seguintes números: 18.711.209 em 2020, 34.873.343 em 2021 e 17.365.030 somente no primeiro trimestre de 2022. Segundo site⁴ do MME, em 2021 a negociação de CBIO em 2021 movimentou R\$ 1,17 bilhões.

³ Perto do fechamento do artigo, verificou-se que o preço médio diário em junho de 2022 ficou em R\$162,94, tendo superado R\$200,00 em alguns dias. O preço se manteve ainda acima de R\$190,00 até meados de julho e depois caiu 50%, permanecendo oscilando entre R\$90,00 e R\$ 101,00 até o início de agosto de 2022.

⁴ <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mais-de-24-milhoes-de-toneladas-de-gases-de-feito-estufa-foram-evitados-com-a-utilizacao-de-biocombustiveis-em-2021> (acessado em 10/05/2022).

Analisando-se os dados da Produção Agrícola Municipal 2020 – PAM 2020, constata-se que a cana-de-açúcar é a terceira cultura com maior área plantada no Brasil, ficando atrás somente do Milho e da Soja:

Tabela I – Principais culturas temporárias no Brasil

Posição	Cultura	Municípios em que está presente	Total de área plantada (ha)
1	Soja	2388	37.201.992
2	Milho	5104	18.351.075
3	Cana-de-açúcar	3307	10.014.198
4	Feijão	4328	2.686.870

Fonte: PAM 2020 (IBGE).

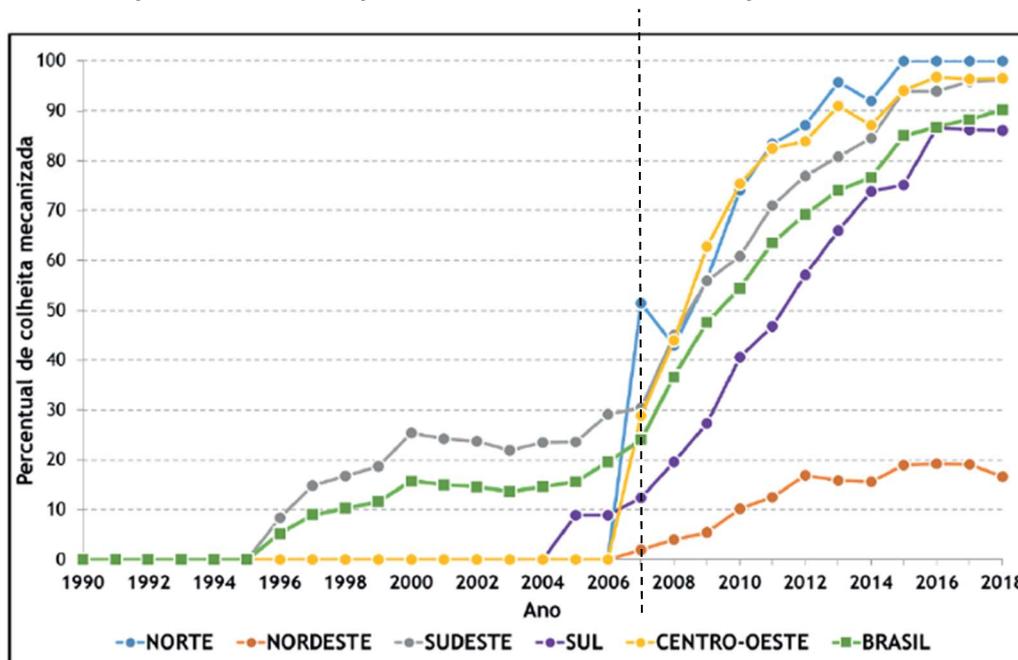
A cultura da cana-de-açúcar vem se modernizando, mas uma prática comum é a realização da queima da palha previamente à colheita. Em função dos consequentes danos, de ordem ambiental e de saúde pública, tal prática tem sido desestimulada ao longo dos anos, mas, dependendo da legislação local, ainda é permitida.

Apesar de a indústria da cana no Brasil ser um exemplo importante de sistema de produção sustentável de energia a partir da biomassa e reduzir a taxa de liberação de CO₂ por meio da substituição de gasolina por etanol e de óleo combustível por bagaço, a atual expansão da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil e, principalmente, no Estado de São Paulo tem gerado problemas de ordem ambiental e socioeconômica e tem atraído a atenção da sociedade para essa cultura.

Entre esses problemas destaca-se a prática da queima anteriormente à colheita da cana-de-açúcar, usual na maioria dos países produtores. Os motivos principais para a utilização da queima da palha de cana antes de se efetuar o corte manual são: a segurança do trabalhador, o aumento do rendimento do corte, a melhoria no cultivo e em novos plantios e a eliminação de impurezas. (Ronquim, 2010)

A partir de 2007, entretanto, intensificaram-se as medidas adotadas pela indústria sucroalcooleira no sentido de mecanizar o processo produtivo, o que substituiria a prática de queima da palha usualmente adotada antes da colheita para limpar o solo e viabilizar a colheita manual. Essa tendência de mecanização pode ser observada na Figura I. Tais medidas teriam se iniciado especialmente a partir da implementação, pelo Estado de São Paulo (maior produtor), de protocolo, em acordo com as empresas produtoras, para eliminação dessa prática de queimada até o ano de 2017.

Figura I – Evolução da mecanização da colheita de cana-de-açúcar



Fonte: Conab (2019).

Na Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima⁵ consta do item 2.5.6 – Queima de Resíduos Agrícolas (3.F), dado que vai ao encontro do efeito esperado pela mecanização da colheita:

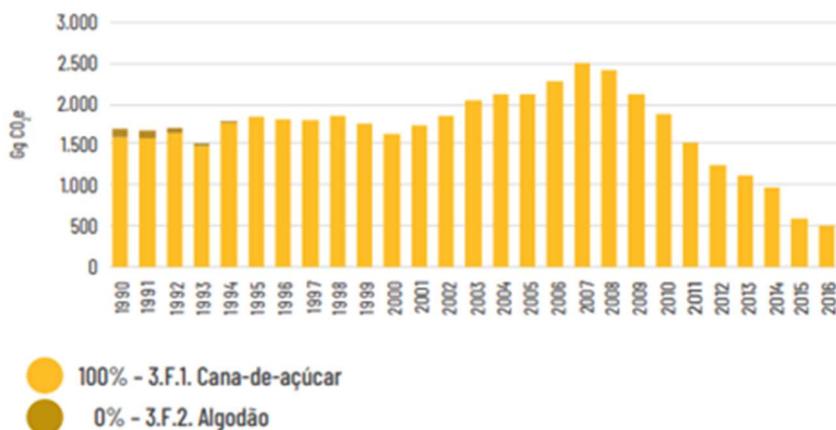
O subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F) contabilizou as emissões de CH₄ e N₂, decorrentes da queima realizada na pré-colheita da cana-de-açúcar e na pós-colheita de algodão herbáceo, sendo que este último ocorreu até 1994.

Em 2016, as emissões deste subsetor foram estimadas em 509 Gg CO₂ e. De 2010 a 2016, observou-se uma redução de 72,8% nas emissões derivadas da queima de resíduos de cana-de-açúcar no país, apesar de o aumento na área colhida ter sido de 12,6%. Isso se deve ao processo de transição da colheita manual, que utiliza o fogo, para a colheita mecanizada (principalmente no estado de São Paulo), como se observa a partir de 2007, na Figura 2.31. As emissões de N₂O e CH₄ representaram 53% e 47% do total de CO₂ e do subsetor em 2016, respectivamente.

A Figura II a seguir ilustra a informação contida no referido documento.

⁵ Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. -- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. ISBN: 978-65-87432-18-2

Figura II – Evolução das emissões decorrentes da queima de resíduos agrícolas (1990 a 2016)



Fonte: Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. (Adaptado)

Nos últimos 3 anos foram registrados em território brasileiro pelo satélite de referência utilizado pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (AQUA_M-T), 604.510 focos de calor, sendo 197.632 em 2019, 222.797 em 2020 e 184.081 em 2021.

Conforme consta na seção Perguntas e Respostas do site do INPE⁶, Satélite de Referência é:

o satélite cujos dados diários de focos detectados são usados para compor a série temporal ao longo dos anos e assim permitir a análise de tendências nos números de focos para mesmas regiões e entre regiões em períodos de interesse. De 01/junho/1998 a 03/julho/2002 foi utilizado o NOAA-12 (sensor AVHRR, passagem no final da tarde), e a partir de então o AQUA_M-T (sensor MODIS, passagem no início da tarde).

[...]

Mesmo indicando uma fração do número real de focos de queima e incêndios florestais, por usar o mesmo método de detecção e gerar imagens em horários próximos ao longo dos anos, os resultados do "satélite de referência" permitem analisar as tendências espaciais e temporais dos focos.

As imagens geradas pelo AQUA_M-T tem uma resolução de 1 km², ou seja, 1 pixel da imagem corresponde a 1 km², entretanto, o INPE declara que testes de campo indicam que a sensibilidade da tecnologia utilizada no satélite consegue detectar frentes de fogo a partir de 30m por 1m de largura e, dependendo das condições, até menores.

⁶ <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes#p7>. Acessado em 10/05/2022.

Nesse contexto, a pesquisa referente ao presente artigo buscou responder as seguintes perguntas:

- Com o processo de mecanização da colheita e a expressiva redução da emissão de gases de efeito estufa por queima de resíduos agrícolas identificada na pesquisa bibliográfica, os municípios produtores de cana-de-açúcar apresentam quantitativo de focos de calor equivalente aos demais ou há um perfil diferente?
- Considerando-se as três culturas agrícolas mais presentes no Brasil (soja, milho e cana-de-açúcar), os perfis dos municípios em relação à quantidade de focos de calor são semelhantes ou diferentes a depender da cultura predominante?
- Os municípios em que existe produtor de biocombustível certificado no programa RenovaBio têm área de cana-de-açúcar colhida e quantitativo de focos de calor semelhante ou diferente dos demais municípios produtores de cana-de-açúcar?

METODOLOGIA

Todos os dados utilizados na pesquisa são públicos e de fontes oficiais, conforme sintetizado a seguir:

- Identificação e dados geográficos dos municípios: IBGE.
- Mapas vetorizados dos municípios e dos biomas brasileiros: IBGE.
- Produção Agrícola Municipal – PAM 2020: IBGE.
- Produtores de etanol certificados no âmbito do programa RenovaBio: ANP (Dados de março/2022).
- Focos de Calor no território brasileiro: INPE (BDQueimadas). Dados de 2020 para quase a totalidade da pesquisa e de 2012 a 2021 para identificar a mediana por bioma.

O trabalho de análise de dados pode ser dividido nas seguintes etapas:

1 – Obtenção dos dados, interpretação inicial, limpeza e carga

Consistiu na identificação e coleta dos arquivos fontes dos dados (cujos formatos são basicamente CSV e Excel), entendimento inicial do conteúdo dos arquivos, limpeza, carga e padronização.

2 – Agrupamento

Consiste na associação dos arquivos, especialmente em torno das entidades Municípios, Mesorregiões e Biomas, e na produção de novas tabelas contendo dados sumarizados de interesse à análise.

Para identificação do bioma de cada município, foram aplicadas técnicas de análise vetorial no QGis⁷ de modo a estabelecer o bioma predominante para os municípios cujos territórios se estendam para mais de um bioma.

3 – Análise exploratória

Aplicação de técnicas de estatística descritiva em consonância com os objetivos do trabalho. Criação de gráficos diversos para auxiliar e ilustrar o processo interpretativo.

4 – Interpretação dos resultados

Descrição das análises e conclusões alcançadas.

Escopo e premissas

- Focos de Calor: Todos os municípios brasileiros, em especial os que têm predominância⁸ dos biomas Mata Atlântica e Cerrado. Ano de 2020 para as análises territoriais e comparativas por cultura agrícola. Somente quantidade, sem avaliar duração, extensão ou origem (se

⁷ Software para o tratamento de Informações Geográficas: https://qgis.org/pt_BR/site/

⁸ Para identificação do bioma de cada município, foi aplicada técnicas de análise vetorial no *software* QGis de modo a estabelecer o bioma predominante para os municípios cujos territórios se estendam para mais de um bioma.

queimada ou incêndio). Não está no escopo também a avaliação sobre a legalidade ou não de eventual queimada.

- Produção Agrícola Municipal: Dados sobre área plantada, por cultura, em todos os municípios brasileiros. Ano de 2020. Culturas: cana-de-açúcar, soja e milho (essas duas últimas para comparativos).
- Produtores Certificados RenovaBio: Todos os produtores em território brasileiro de etanol de primeira geração a partir da cana-de-açúcar certificados no programa.

Para identificação do município em que se produz etanol biocombustível de primeira geração a partir da cana-de-açúcar em que se tenha produtor certificado pelo RenovaBio, foi considerado o município indicado na planilha de certificados atualizada periodicamente pela ANP em seu site⁹. O município informado consta do campo “Emissor Primário”, onde é identificada a usina. Para efeito de simplificação e considerando que não há dados estruturados públicos sobre as propriedades rurais que fornecem matéria-prima para as usinas, considera-se somente o município informado na planilha como um município produtor de cana-de-açúcar para etanol certificado no RenovaBio, não obstante à possibilidade de a usina também processar matéria-prima de outro município.

Quanto à identificação dos focos de calor, importa esclarecer que o satélite de referência utilizado pelo INPE registra as imagens no início da tarde e tem resolução de 1km x 1km para cada pixel. Testes de campo indicam que o satélite consegue detectar frentes de fogo com 30m por 1m de largura ou até menores. Algumas condições podem dificultar a detecção, tais como: i) fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores; ii) nuvens cobrindo a região (nuvens de fumaça não atrapalham); iii) queimada de pequena duração, ocorrendo entre o horário das imagens disponíveis; e, iv) fogo em uma encosta de montanha, enquanto o satélite só observou o outro lado.

As ferramentas utilizadas para a análise foram: QGis, Python no Google Colab, Google Big Query, bibliotecas Pandas e Seaborn.

⁹ <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis>

ANÁLISE EXPLORATÓRIA

A análise exploratória desses dados busca construir um panorama inicial e também será útil para seleção de grupos com características úteis ao estudo.

Análise Exploratória Produção Agrícola Municipal 2020

A Tabela II apresenta o percentual de ocupação da cultura da cana-de-açúcar por região, em relação à área total (dados obtidos a partir da PAM 2020).

Percentuais de área colhida em relação ao total de 100.141,98 km² referentes a 2020:

Tabela II – Área de Cana Colhida por região do Brasil

Região	Área de Cana Colhida (km ²)	Proporção ao total de área de Cana Colhida no país (%)
Sudeste	66.137,78	66,04
Centro-Oeste	18.693,33	18,67
Nordeste	8.810,22	8,80
Sul	5.906,28	5,90
Norte	594,37	0,59

Fonte: PAM 2020 (IBGE).

A Tabela III apresenta essas mesmas informações, porém, grupadas por biomas.

Tabela III – Área de Cana Colhida por Bioma¹⁰

Bioma	Área de Cana Colhida (km ²)	Proporção ao total de área de Cana Colhida no país (%)
Mata Atlântica	62.032,58	61,94
Cerrado	35.390,37	35,34
Amazônia	1.787,58	1,78
Caatinga	886,28	0,88
Pampa	25,4	0,02
Pantanal	19,77	0,02

Fonte: PAM 2020 (IBGE).

Por fim, a Tabela IV apresenta as informações grupadas por UF e por bioma, considerando-se apenas as cinco maiores unidades da federação produtoras de cana-de-açúcar, em ordem decrescente: São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Paraná.

Tabela IV – Área de Cana Colhida nas cinco unidades da federação maiores produtoras

UF	Bioma	Área de Cana Colhida (km ²)	Proporção ao total de área de Cana Colhida no país (%)
SP	Mata Atlântica	43.517,15	43,45
	Cerrado	11.603,30	11,59

¹⁰ Considerando um bioma predominante por município, conforme metodologia estabelecida.

UF	Bioma	Área de Cana Colhida (km ²)	Proporção ao total de área de Cana Colhida no país (%)
MG	Mata Atlântica	2.021,89	2,02
	Cerrado	7.933,64	7,92
	Caatinga	95,54	0,09
GO	Mata Atlântica	268,38	0,27
	Cerrado	9.107,81	9,09
MS	Pantanal	0,20	0,00
	Mata Atlântica	2.002,81	2,00
	Cerrado	4.661,46	4,65
PR	Mata Atlântica	5.721,79	5,71
	Cerrado	0,09	0,00

Fonte: PAM 2020 (IBGE).

A Tabela V apresenta um recorte mais específico sobre os produtores de cana-de-açúcar, mostrando as 10 mesorregiões que mais produzem essa cultura.

Tabela V – Área de Cana Colhida nas dez principais mesorregiões produtoras

UF	Mesorregião	Número de Municípios Mesorregião	Área de Cana Colhida (km ²)	Proporção ao total de área de Cana Colhida no país (%)
SP	Ribeirão Preto	66	13.812,01	13,79
SP	São José do Rio Preto	109	10.182,96	10,17
GO	Sul Goiano	82	7.485,78	7,47
MG	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	66	7.186,11	7,18
SP	Bauru	56	6.225,58	6,22
SP	Araçatuba	36	5.989,12	5,98
SP	Presidente Prudente	54	4.900,72	4,89
MS	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	38	4.415,06	4,41
SP	Araraquara	21	3.998,45	3,99
SP	Assis	35	3.257,22	3,25

Fonte: PAM 2020 (IBGE).

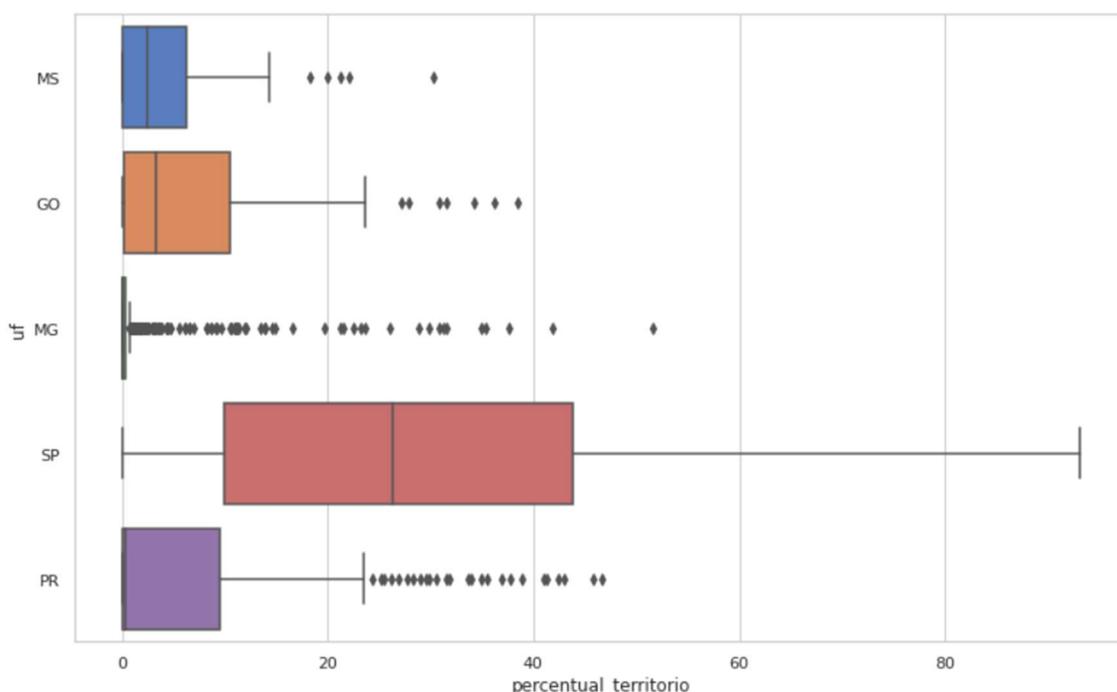
O cultivo da cana-de-açúcar é predominante no bioma mata atlântica e também expressivo no cerrado, sendo bastante reduzido nos demais, conforme demonstrado na Tabela III.

Na Tabela IV, constata-se que São Paulo se destaca como maior estado produtor de cana-de-açúcar, tendo registrado mais da metade de toda área plantada da cultura em 2020. Nele, aproximadamente 4/5 da área plantada ocorre em municípios de bioma mata atlântica e 1/5 em municípios de cerrado. Já em Goiás, quase a totalidade do cultivo de cana-de-açúcar ocorre no bioma cerrado.

Constata-se ainda, na Tabela V, a predominância de mesorregiões do estado de São Paulo dentre as dez maiores produtoras de cana-de-açúcar, mas destaca-se também a presença de duas mesorregiões fora de São Paulo (uma de Goiás e outra de Minas Gerais) entre as quatro maiores.

Quanto à proporção da área colhida em relação ao território do município, a Figura III¹¹ a seguir evidencia o predomínio de grandes áreas produtoras nos municípios de São Paulo e, na sequência, nos municípios de Goiás. Por outro lado, Minas Gerais apresenta uma predominância de municípios produtores com baixo índice de área colhida em relação ao território municipal, mas ainda assim há diversos *outliers* que estariam compreendidos em torno da equivalente à mediana de São Paulo.

Figura III – Boxplot com o percentual de área de Cana Colhida em relação à respectiva área municipal, agrupados no âmbito dos cinco estados maiores produtores



Análise Exploratória Produtores RenovaBio

Quanto aos produtores certificados pelo programa RenovaBio, a Tabela VI demonstra que os 261 produtores de etanol de primeira geração (a partir de cana-de-açúcar) certificados no programa RenovaBio estão distribuídos em 227 municípios.

Tabela VI – Quantidade de produtores de etanol de primeira geração (cana-de-açúcar) certificados no RenovaBio por UF

UF	Número de Municípios com Usinas Certificadas	Número de Usinas Certificadas
SP	104	122

¹¹ Só foram considerados os municípios com alguma área de cana-de-açúcar colhida indicada na PAM 2020.

UF	Número de Municípios com Usinas Certificadas	Número de Usinas Certificadas
GO	26	29
MG	23	29
MS	15	17
PR	15	16
AL	9	11
PE	10	10
MT	7	7
PB	4	6
BA	4	4
ES	2	2
MA	2	2
RN	2	2
PA	1	1
PI	1	1
RJ	1	1
TO	1	1
TOTAL	227	261

Corroborando os dados da PAM 2020, verifica-se, confrontando as tabelas IV e VI, que as cinco unidades da federação com o maior número de usinas produtoras certificadas são as mesmas em que há maior produção de cana-de-açúcar.

Ao abrir os dados por mesorregiões, apesar do Leste Alagoano e do Noroeste Paranaense surgirem na lista, as mesorregiões com maior número de usinas certificadas são de São Paulo, Goiás e Minas Gerais, conforme observado na Tabela VII:

Tabela VII – Quantidade de produtores de etanol de primeira geração (cana-de-açúcar) certificados no RenovaBio por Mesorregião

UF	Mesorregião	Número de Municípios com Usinas Certificadas	Número de Usinas Certificadas
SP	Ribeirão Preto	20	29
	São José do Rio Preto	23	25
GO	Sul Goiano	18	20
MG	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	15	18
SP	Araçatuba	13	15
	Bauru	14	14
AL	Leste Alagoano	9	11
MS	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	9	11
SP	Presidente Prudente	9	9
PR	Noroeste Paranaense	9	9

Análise Exploratória Focos de Calor

Considerando os dados do satélite de referência AQUA_M-T dos últimos dez anos (2012 a 2021), o Brasil apresenta os seguintes índices de focos de calor por 100km² por bioma:

A análise dos focos de calor se concentrou nos dados de 2020, mesmo ano de referência dos dados agrícolas, mas registra-se na Tabela VIII as principais métricas dos índices de foco de calor por bioma considerando os últimos dez anos (2012 a 2021). Analisando-se essa tabela, percebe-se que há mais focos de calor nos biomas Amazônia e Pantanal. No entanto, o cerrado também apresenta uma quantidade elevada de focos.

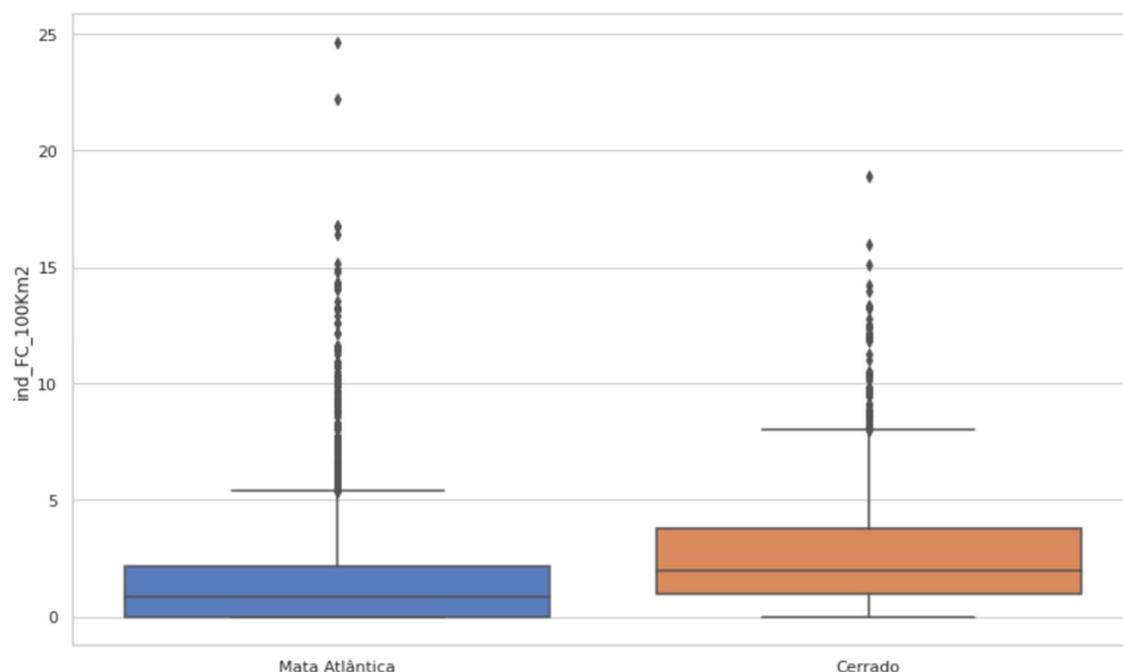
Tabela VIII – Índice¹² de Focos de Calor por Bioma (últimos 10 anos)

Bioma	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal
Mediana	2,37	0,63	1,61	0,69	0,27	1,99
Média	3,22	1,56	2,84	1,32	0,59	3,81
Desvio Padrão	3,04	2,48	3,52	1,94	0,95	5,41

Fonte: Dados do INPE de 2012 a 2021 (satélite de referência AQUA_M-T).

Focando nos dados de 2020 dos municípios cujos biomas predominantes são Mata Atlântica e Cerrado, onde se enquadram mais de 97% da área colhida de cana-de-açúcar segundo a PAM 2020, verifica-se uma mediana do índice de 1,99 para os municípios de cerrado e de 0,85 para os de Mata Atlântica, conforme ilustrado na Figura IV.

Figura IV – Índices de Focos de Calor por Município agrupado por Bioma (2020)



¹² Quantidade de Focos de Calor por área de tamanho equivalente a 100Km². No caso específico desse quadro, os índices foram calculados para cada um dos dez anos e depois identificada a mediana.

Apesar da mediana referente aos índices de focos de calor por 100km² nos municípios de cerrado corresponder a mais que o dobro da medida equivalente na mata atlântica, constata-se, pela Figura IV, o grande número de municípios de mata atlântica *outliers*, com índices até superiores aos municípios de cerrado.

Na Tabela IX, encerrando a análise preliminar dos dados, apresenta-se as mesorregiões com as relativas maiores áreas plantadas de cana-de-açúcar com os correspondentes índices de focos de calor.

Tabela IX – Índice de Focos de Calor nas principais Mesorregiões produtoras de Cana

UF	Mesorregião	Focos de calor/100km ²
SP	Ribeirão Preto	5,41
SP	São José do Rio Preto	3,39
SP	Araçatuba	3,33
SP	Araraquara	3,25
MG	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	2,12
GO	Sul Goiano	2,04
SP	Bauru	1,65
SP	Assis	1,04
MS	Sudoeste de Mato Grosso do Sul	0,83
SP	Presidente Prudente	0,81

Mantem-se nas duas primeiras posições da tabela as mesorregiões com maior área de cana colhida, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, destaca-se ainda a mesorregião Sul Goiano, que apesar de ser predominantemente cerrado e a terceira maior mesorregião com área de cana-de-açúcar colhida, desceu para a sexta posição no ranking de focos dentre as mesorregiões listadas.

ANÁLISES ESPECÍFICAS DAS PERGUNTAS DE PESQUISA

A seguir são apresentados os cruzamentos de dados realizados e os respectivos resultados obtidos. Para efeitos de melhor estruturação do artigo, as análises serão agrupadas em torno da pergunta de pesquisa com maior afinidade, onde serão apresentados alguns resultados específicos, mas na conclusão é que será apresentada uma síntese dos resultados considerando o todo.

Antes de passar às análises, importa registrar que os focos de calor detectados pelos satélites podem ter origem em causas naturais, intervenção humana ou ambas. Nesse sentido, o presente projeto de pesquisa buscou avaliar um aspecto específico da intervenção humana, o cultivo da cana-de-açúcar. Considerando que o fenômeno analisado apresenta diversas variáveis que o influenciam diretamente e indiretamente, como, por exemplo, índice pluviométrico, umidade do ar, atividade econômica desenvolvida, entre outros, buscou-se efetuar recortes e comparações que neutralizassem em certo grau essas variáveis. Pode-se citar como exemplos a utilização de recortes por biomas e mesorregiões e a comparação com o cultivo de outra cultura.

Pergunta 1: com o processo de mecanização da colheita e a expressiva redução da emissão de gases de efeito estufa por queima de resíduos agrícolas identificada na pesquisa bibliográfica, os municípios produtores de cana-de-açúcar apresentam quantitativo de focos de calor equivalente aos demais ou há um perfil diferente?

Para responder a essa pergunta serão realizadas análises focando nos municípios dos estados de São Paulo e de Goiás, que serão analisados separadamente. Os dois estados foram escolhidos por estarem entre os maiores produtores de cana-de-açúcar e possuírem características diferentes, em especial o bioma.

Para ilustrar o perfil de focos de calor dos municípios, esses foram divididos em três grupos cuja regra de criação representa a presença da cana-de-açúcar em seu território. Sendo assim, os grupos foram definidos da seguinte forma: nenhuma ou baixa (municípios com baixa porcentagem de ocupação do território com a cultura de cana-de-açúcar), média (municípios com média ocupação do território com a cultura de cana-de-açúcar) e alta (municípios com alta taxa de ocupação de cana-de-açúcar em relação ao território). Cabe ressaltar que os índices de ocupação das áreas do município que foram considerados para enquadrá-los nas diferentes categorias, diverge de acordo com o estado considerado, conforme pode ser observado nas tabelas X e XI. Essa estratégia foi utilizada pelo fato de os municípios dos dois estados analisados terem características muito diferentes, o que inviabilizaria uma análise utilizando-se um critério único.

A análise focará no cruzamento de dois dados principais: o índice de focos de calor por 100km² (ind_FC_100km²) e o índice de área de cana-de-açúcar colhida por área territorial (indCana). O indCana é calculado para cada município individualmente e o ind_FC_100km² é definido considerando a área total de cada grupo no estado.

Os municípios da mesorregião metropolitana de São Paulo foram excluídos da análise em função de ser uma área altamente conurbada.

Tabela X – Faixas adotadas para análise do estado de São Paulo

Distribuição das faixas em São Paulo		Equivalente a aproximadamente:
Nenhuma ou Baixa	indCana <= 1%	25% dos municípios, 1º quartil
Média	1% < indCana <= 41%	50% dos municípios, 2º e 3º quartis.
Alta	indCana > 41%	25% dos municípios, acima do 3º quartil.

Tabela XI – Faixas adotadas para análise do estado de Goiás

Distribuição das faixas em Goiás		Equivalente a aproximadamente:
Nenhuma ou Baixa	indCana <= 1%	71% dos municípios.
Média	1% < indCana <= 10%	17% dos municípios.
Alta	indCana > 10%	12% dos municípios.

Figura V – Resultados de São Paulo conforme grupos estabelecidos

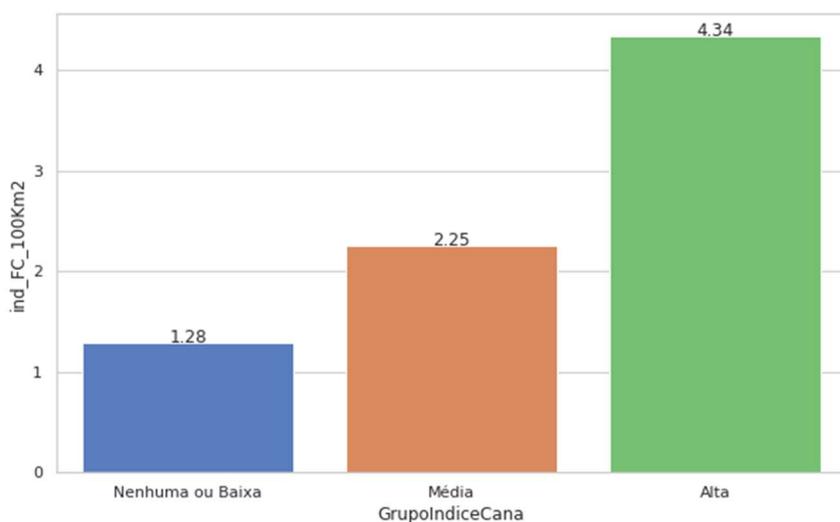
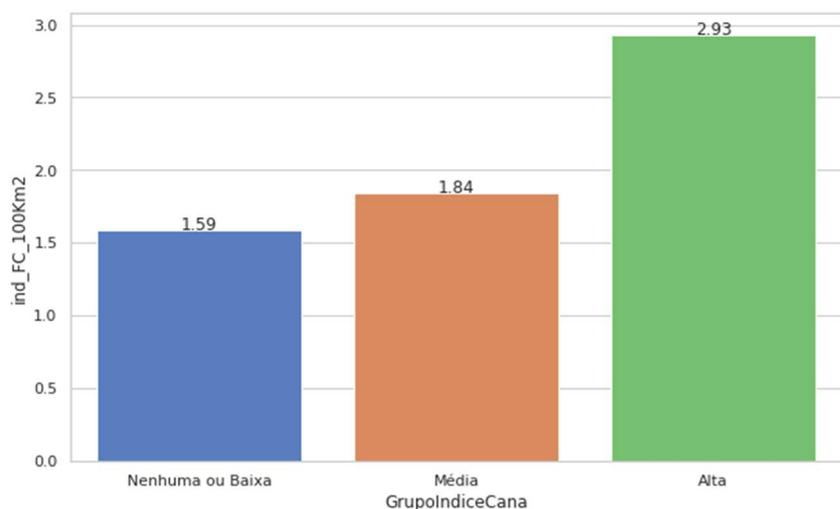
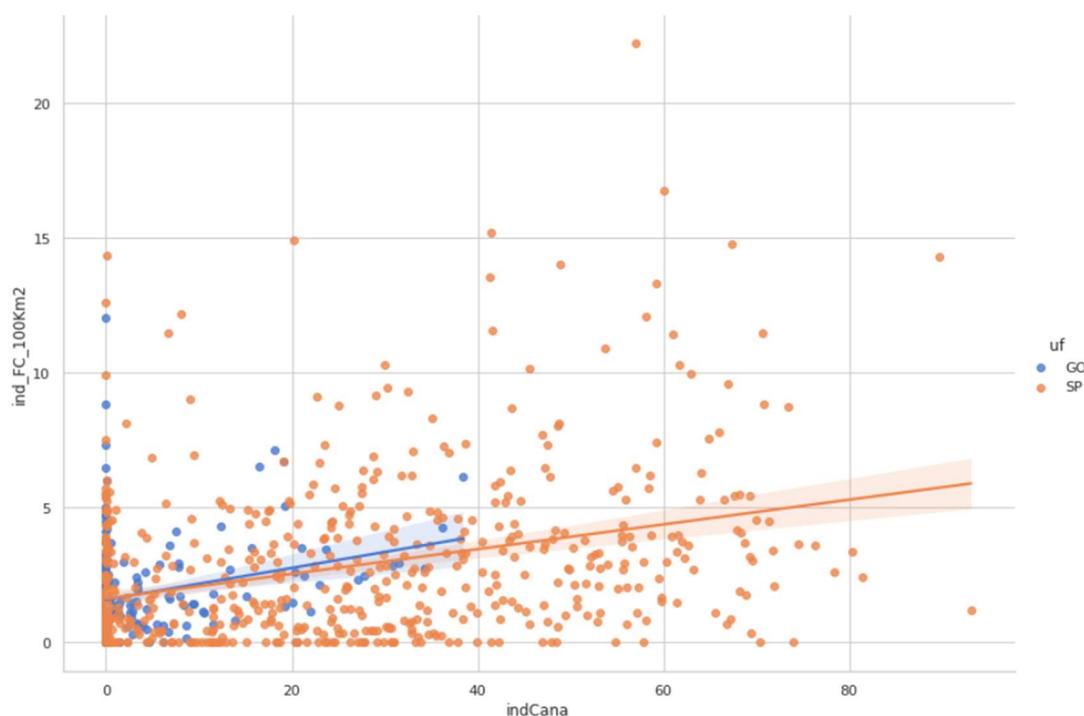


Figura VI – Resultados de Goiás conforme grupos estabelecidos



Para explorar os dados sem agrupamentos e comparar ¹³a posição dos municípios de ambos os estados considerando as duas variáveis analisadas, utilizou-se o gráfico da Figura VII. Esse gráfico apresenta a tendência de comportamento dos dados comparando a proporção de área de cana-de-açúcar colhida em relação ao território do município (indCana - eixo horizontal) com o número de focos de calor por 100km² (ind_FC_100km² - eixo vertical).

Figura VII – Relação entre o Índice de Cana Colhida e o Índice de Focos de Calor por Município (Goiás e São Paulo)



Resultados específicos para a Pergunta 1:

- Em ambos os estados (SP e GO) foi identificada uma tendência de quanto maior o índice de área de cana colhida nos municípios, segundo dados da PAM-2020, maior é o índice de focos de calor.
- A amplitude da diferença entre os grupos Alto e Baixo em SP é maior que em GO, o que corrobora a diferença entre os desvios-padrão do ind_FC_100km² nos estados, respectivamente, 22,33 e 7,24.
- Os municípios de Goiás com pouca ou nenhuma presença de área de cana-de-açúcar colhida em 2020 (barras azuis das Figuras V e VI) apresentaram ligeiramente mais focos de calor por 100km² do que os municípios de São Paulo do mesmo grupo, o que é esperado considerando a predominância do bioma cerrado e clima característico da região.
- É possível identificar na Figura VII que a tendência de crescimento do ind_FC_100km² em função do indCana é semelhante nos dois estados, sendo em Goiás ligeiramente maior.

¹³ Apesar dos gráficos de barra mostrarem que o estado de São Paulo teria os grupos médio e alto com índices superiores aos de Goiás, esses dois grupos não devem ser comparados com os de mesmo nome do outro estado por terem sido estabelecidos com limites diferentes de indCana, conforme explicado.

Pergunta 2: Considerando-se as três culturas agrícolas mais presentes no Brasil (soja, milho e cana-de-açúcar), os perfis dos municípios em relação à quantidade de focos de calor são semelhantes ou diferentes a depender da cultura predominante?

Considerando o expressivo número de municípios brasileiros, inclusive que plantam essas culturas em escala muito reduzida, foi estabelecido um limite mínimo de 5 km² de área colhida da respectiva cultura em 2020 para que os municípios compusessem os conjuntos de dados dessa análise específica.

As Figuras VIII, IX e X indicam os perfis dos municípios com relação ao índice de focos de calor por 100km² em função da proporção de área colhida para as culturas de cana-de-açúcar, soja e milho, respectivamente.

Figura VIII – Relação entre o Índice de Área de Cana Colhida e o Índice de Focos de Calor por Município (Mata Atlântica e Cerrado)

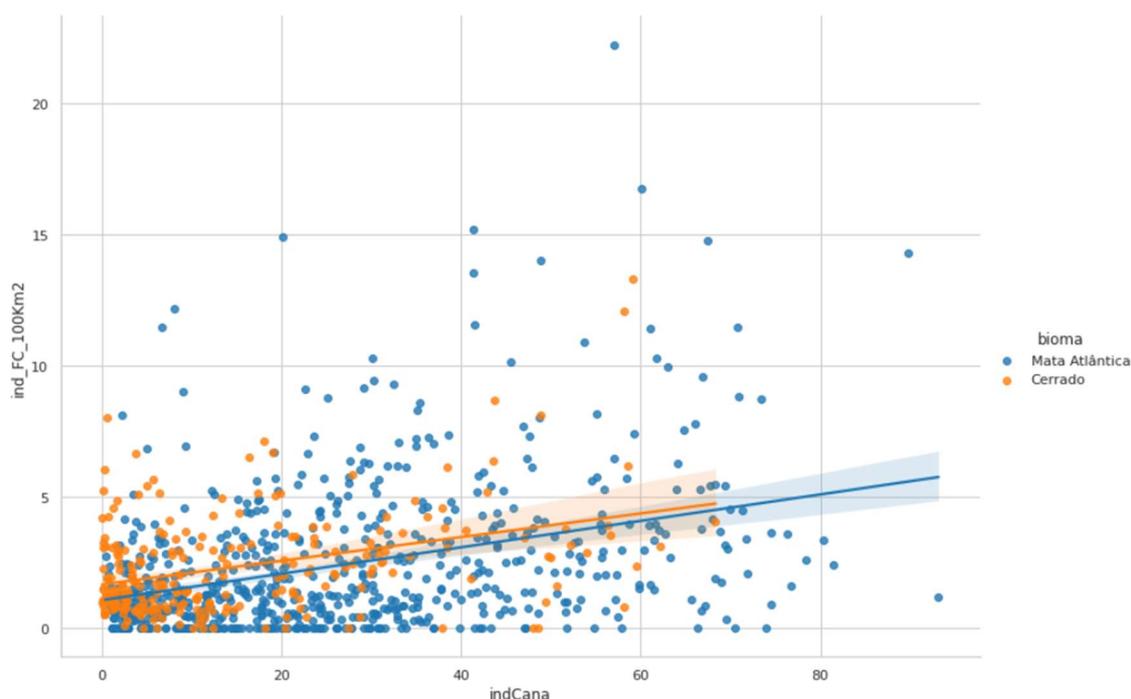


Figura IX – Relação entre o Índice de Área de Soja Colhida e o Índice de Focos de Calor por Município (Mata Atlântica e Cerrado)

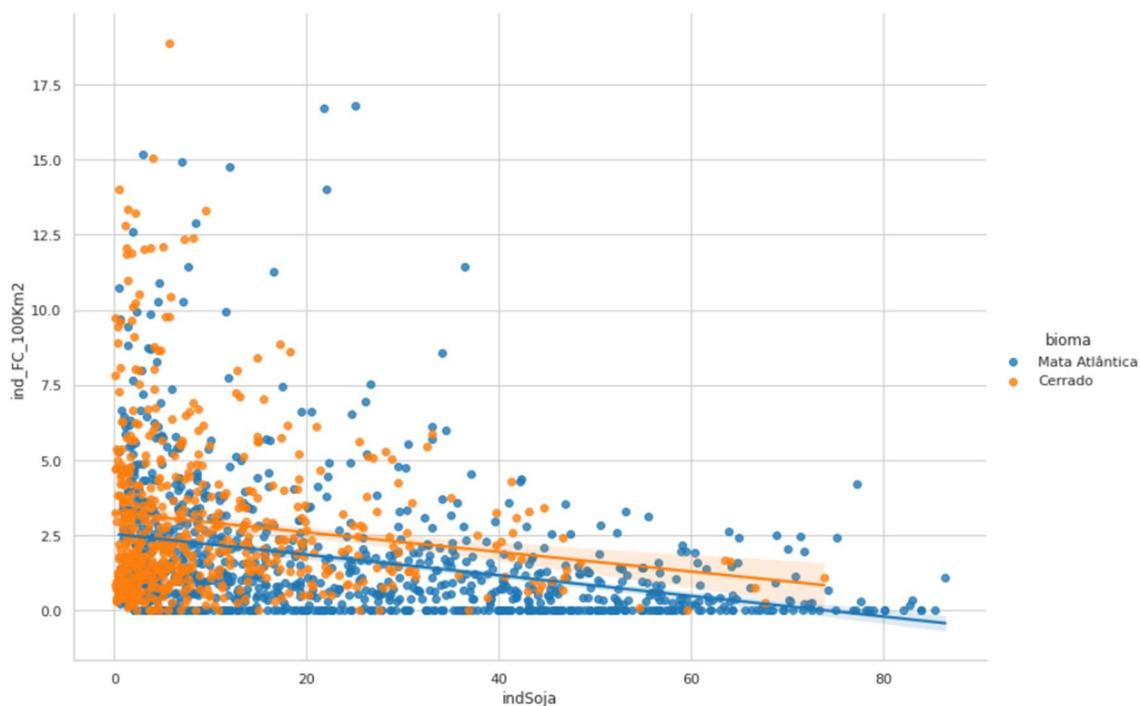
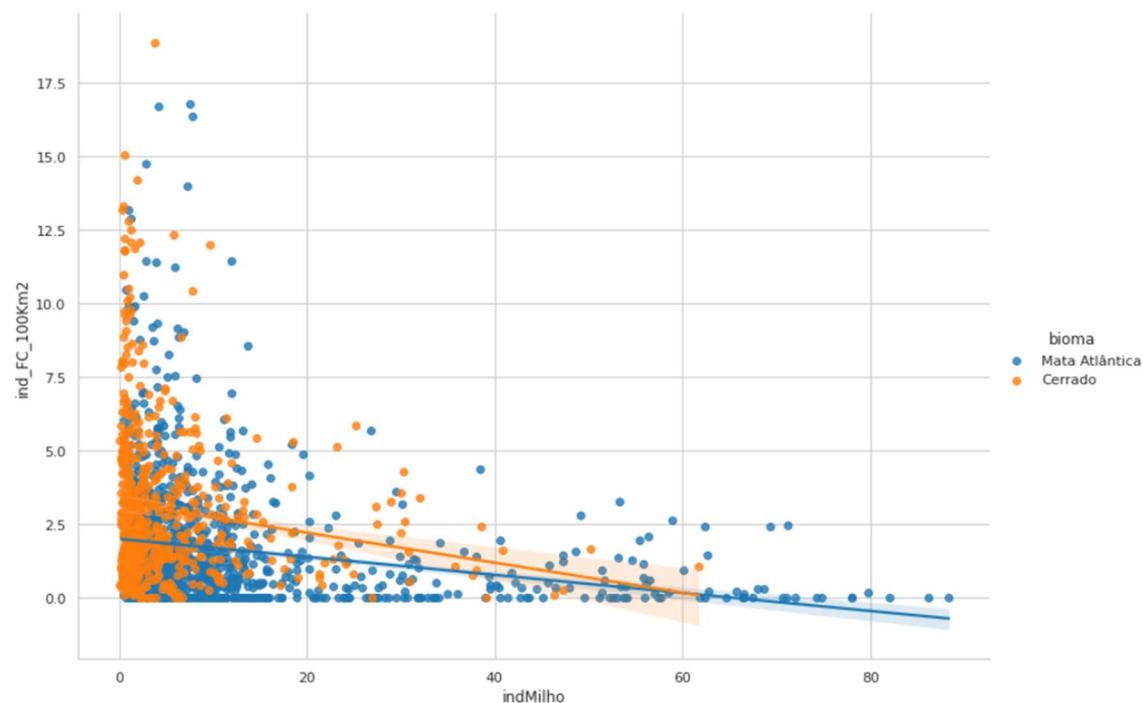


Figura X – Relação entre o Índice de Área de Milho Colhido e o Índice de Focos de Calor por Município (Mata Atlântica e Cerrado)



Constata-se, por meio da leitura da inclinação das retas das Figuras IX e X, que há uma tendência na redução da ocorrência de focos de calor nos municípios com cultivo

de soja e milho. Dessa forma, quanto maior a área colhida de soja e de milho (em relação à área do município) em ambos os biomas analisados, mata atlântica e cerrado, menor é a quantidade de focos de calor.

No entanto, uma tendência inversa é observada no caso da cana-de-açúcar. Sendo assim, a quantidade de focos de calor detectados tende a ser maior quanto maior for a área de cana colhida em relação à área territorial do município, também em ambos os biomas, conforme verifica-se na Figura VIII.

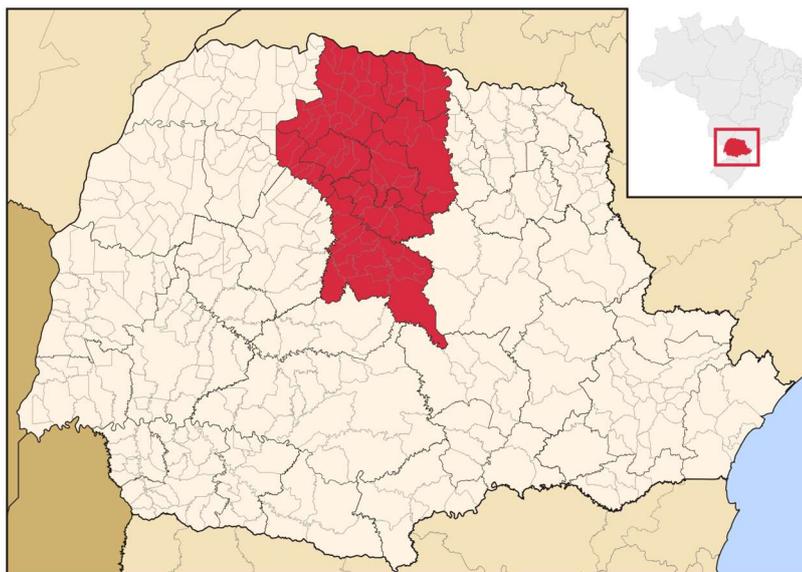
Para analisar o dado de forma mais regionalizada e menos agregada, buscando-se desse modo reduzir a interferência de outras variáveis que influenciam o fenômeno analisado, foram selecionadas duas mesorregiões em que houvesse municípios tanto com predominância de cana-de-açúcar assim como de uma outra dessas culturas. Foram selecionadas as mesorregiões Norte Central Paranaense, cujo bioma predominante é a mata atlântica, e a Sul Goiano, onde o cerrado predomina.

Cabe destacar inicialmente que um município, nas Figuras XII e XIV a seguir, não é representado por um ponto exclusivamente, exceto se cada cor for analisada isoladamente, pois cada ponto corresponde ao índice da cultura respectiva no município (eixo x) associada ao índice de focos de calor (eixo y). Ou seja, se um município tem as três culturas presentes, ele aparecerá em três cores distintas, mas no mesmo nível do eixo y, pois o $ind_FC_100Km^2$ é calculado por município e não por propriedade rural produtora de uma ou outra cultura.

Norte Central Paranaense

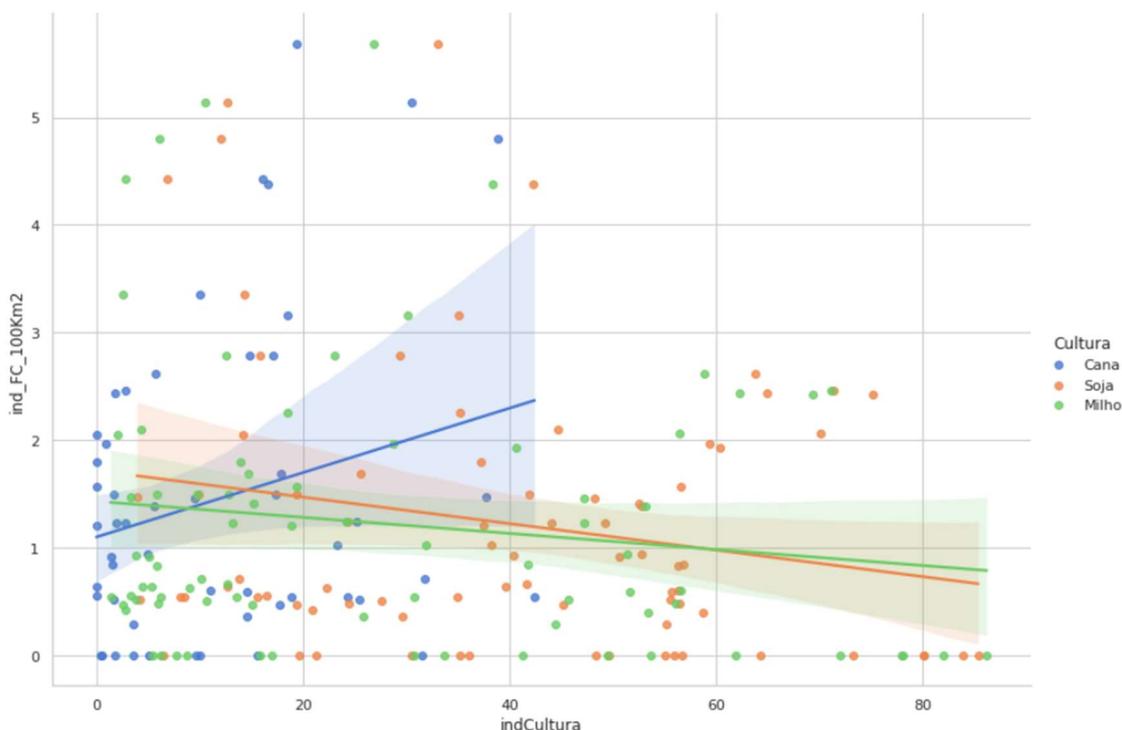
A mesorregião Norte Central Paranaense é composta de 79 municípios e faz fronteira com duas mesorregiões importantes produtoras do estado de São Paulo, Presidente Prudente e Assis.

Figura XI – Mesorregião Norte Central Paranaense destacada no mapa do Estado



Fonte: [Wikipedia](#) (acessado em 10/07/2022).

Figura XII – Relação entre o Índice de Área Colhida (Cana, Soja e Milho) e o Índice de Focos de Calor por Município do Norte Central Paranaense



Verificam-se na mesorregião as mesmas tendências anteriormente identificadas nacionalmente, uma redução na quantidade de focos de calor por 100 km² nos municípios com maior percentual de área colhida de Soja e de Milho e uma tendência de crescimento quanto maior o percentual de área colhida de cana-de-açúcar.

Para detalhar parte dos dados plotados na Figura XII, seguem, na Tabela XII, os 10 municípios da mesorregião que ocupam os extremos no ind_FC_100Km² (5 maiores e 5 menores). Em caso de empate no extremo inferior, a área do município é usada como segundo fator de ordenação, priorizando exibir os de maiores áreas.

Tabela XII – Extremos Norte Central Paranaense (Municípios com Maiores e Menores Índices de Focos de Calor)

5 municípios com maiores ind FC 100km ²					
Município	Bioma Predominante	indCana	indSoja	indMilho	ind_FC_100Km ²
Florestópolis	Mata Atlântica	19,37	33	26,79	5,68
Presidente Castelo Branco	Mata Atlântica	30,51	12,68	10,59	5,14
Porecatu	Mata Atlântica	38,89	12	6,17	4,8
Miraselva	Mata Atlântica	16,14	6,81	2,77	4,43
Munhoz de Melo	Mata Atlântica	16,59	42,33	38,39	4,38
5 municípios com menores ind FC 100km ²					
Município	Bioma Predominante	indCana	indSoja	indMilho	ind_FC_100Km ²
Ibiporã	Mata Atlântica	0	55,95	49,54	0
Cruzmaltina	Mata Atlântica	0	35,22	15,85	0
São Jorge do Ivaí	Mata Atlântica	1,82	83,88	81,98	0
Rio Branco do Ivaí	Mata Atlântica	0	19,62	6,28	0
Marilândia do Sul	Mata Atlântica	0	56,71	8,71	0

A tabela de extremos corrobora com a análise de tendência, realizada anteriormente. Dessa forma, verifica-se que nos municípios com menor índice de focos de calor, a área de cana-de-açúcar colhida é quase inexistente, enquanto há uma grande presença de soja e de milho. No outro extremo, ou seja, nos municípios com maior índice de focos de calor, há considerável presença de cana-de-açúcar, mesmo nos dois (de cinco) municípios em que ela não foi a cultura predominante em 2020.

Sul Goiano

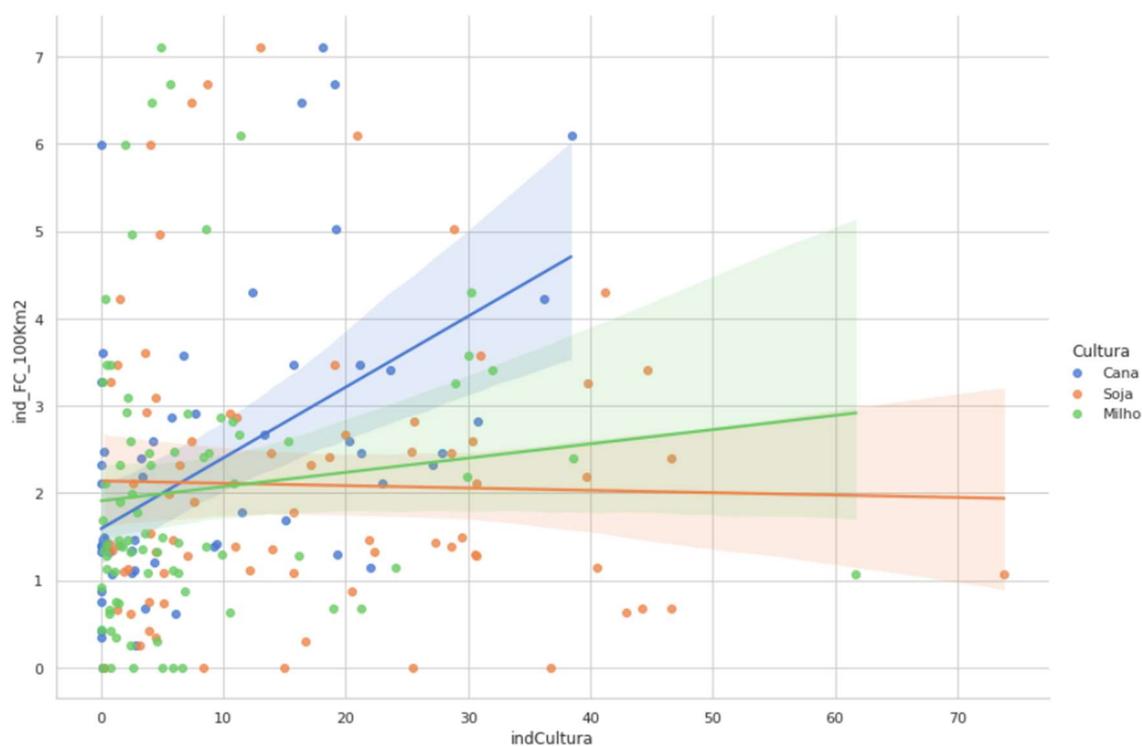
A mesorregião do Sul Goiano é a maior do estado de Goiás, sendo composta por 82 municípios e fazendo fronteira com 3 estados: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso.

Figura XIII – Mesorregião Sul Goiano destacada no mapa do Estado



Fonte: [Wikipedia](https://pt.wikipedia.org/wiki/Mesorregi%C3%A3o_Sul_Goiano) (acessado em 10/07/2022).

Figura XIV – Relação entre o Índice de Área Colhida (Cana, Soja e Milho) e o Índice de Focos de Calor por Município do Sul Goiano



Do mesmo modo que nos gráficos anteriores, identifica-se na Figura XIV uma tendência de crescimento no índice de focos de calor à medida que se aumenta a proporção da área colhida de cana-de-açúcar em relação à área municipal, porém, nesse caso, a tendência identificada se mostrou mais acentuada.

Com relação à cultura de soja, observou-se uma tendência de neutralidade, enquanto para a cultura de milho foi identificada uma leve tendência de crescimento.

O comportamento do gráfico representado na Figura XIV é condizente com o bioma cerrado, naturalmente mais suscetível à ocorrência de focos de calor. Percebe-se como que as linhas de tendências tivessem girado no sentido anti-horário e se iniciando em valores de ind_FC_100km² ligeiramente mais altos do que na mesorregião Norte Central Paranaense, representada pela Figura XII.

Para detalhar parte dos dados plotados na Figura XIV, seguem, na Tabela XIII, os 10 municípios da mesorregião que ocupam os extremos no ind_FC_100Km² (5 maiores e 5 menores). Conforme já indicado, em caso de empate no extremo inferior, a área do município é usada como segundo fator de ordenação, priorizando exibir os de maiores áreas.

Tabela XIII – Extremos Sul Goiano (Municípios com Maiores e Menores Índices de Focos de Calor)

5 municípios com maiores ind FC 100km ²					
Município	Bioma Predominante	indCana	indSoja	indMilho	ind_FC_100Km ²
Itumbiara	Cerrado	18,1	13,08	4,86	7,11
Castelândia	Cerrado	19,05	8,69	5,68	6,68
Panamá	Cerrado	16,43	7,4	4,16	6,48
Porteirão	Cerrado	38,43	20,95	11,38	6,1
Cezarina	Cerrado	0,02	4,08	1,99	5,99
5 municípios com menores ind FC 100km ²					
Município	Bioma Predominante	indCana	indSoja	indMilho	ind_FC_100Km ²
Aloândia	Cerrado	0	25,47	5,88	0
São João da Paraúna	Cerrado	0	14,98	2,58	0
Nova Aurora	Cerrado	0,13	0,29	0,81	0
Água Limpa	Mata Atlântica	0	0,21	0,15	0
Edealina	Cerrado	0,15	36,78	6,69	0

Da mesma forma que no item anterior, a tabela de extremos corrobora a análise de tendência. Nesse sentido, verifica-se que nos municípios com menores índices de foco de calor a área de cana-de-açúcar colhida é quase inexistente. Dentre os cinco municípios com menos focos de calor, três tiveram consideráveis áreas de soja colhida e dois não apresentaram presença significativa de nenhuma das culturas analisadas.

Por outro lado, dentre os cinco municípios com maiores índices de focos de calor, quatro tiveram áreas de cana-de-açúcar colhidas superiores a soma das culturas de soja e de milho.

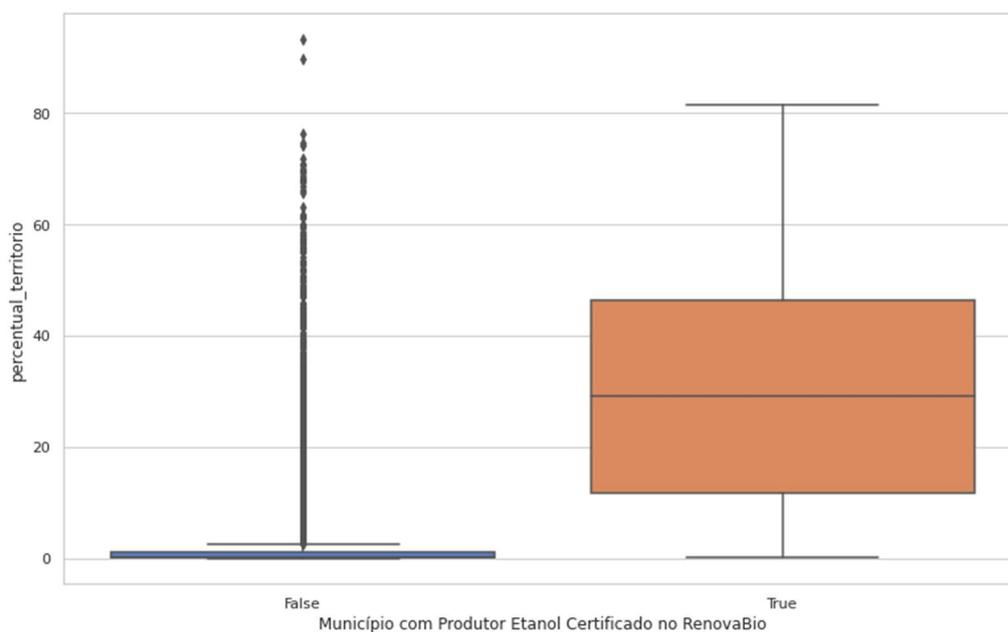
Resultados específicos para a Pergunta 2:

- Há um forte indicativo de que a predominância de uma ou outra cultura em um município constitui importante fator na quantidade de ocorrências de focos de calor.
- As duas mesorregiões analisadas, uma com bioma predominante de mata atlântica e outra de cerrado, indicam que há uma relação entre o percentual da área plantada de cana-de-açúcar em um município com o incremento do índice de focos de calor por unidade de área naquele município, comportamento identificado também na resposta à questão 1.
- A mesma relação entre a presença da cultura no município e o incremento no índice de focos de calor não foi identificada para as outras duas culturas analisadas, milho e soja.

Pergunta 3: Os municípios em que existe produtor de biocombustível certificado no programa RenovaBio têm área de cana-de-açúcar colhida e quantitativo de focos de calor semelhante ou diferente dos demais municípios produtores de cana-de-açúcar?

Comparando-se o índice do percentual de área colhida em relação à área total do município entre os grupos de municípios produtores de cana-de-açúcar com e sem usinas de etanol primeira geração certificadas no RenovaBio, verifica-se que a área colhida corresponde a uma parcela consideravelmente maior da área dos municípios quando há usina certificada no programa.

Figura XV – Índice percentual de Área de Cana Colhida em relação à Área Municipal dos Municípios Produtores de Cana com e sem Usinas Certificadas



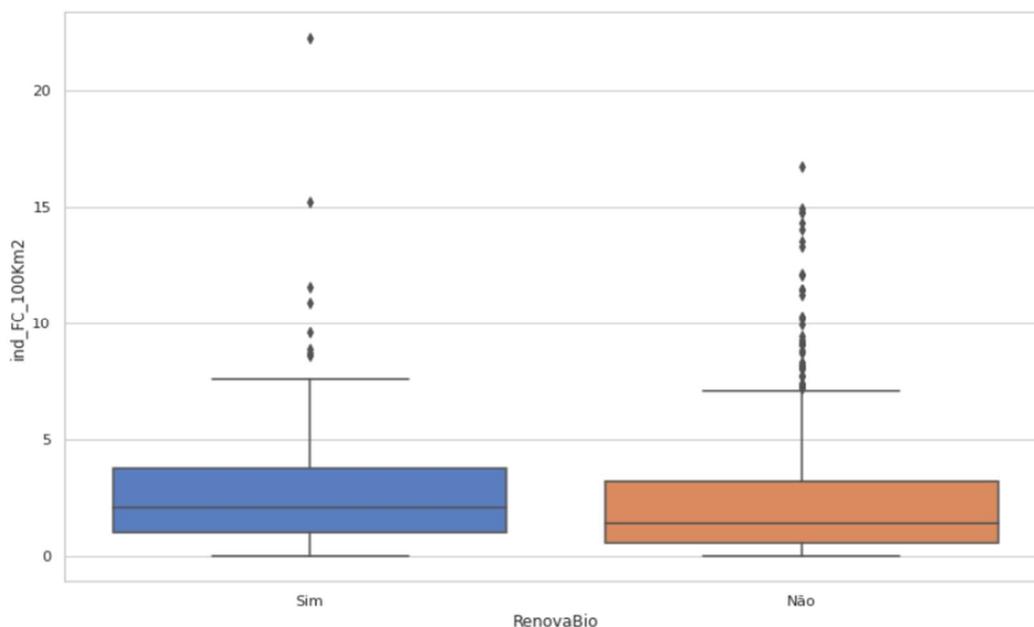
A Tabela XIV a seguir detalha numericamente essa diferença entre os dois grupos:

Tabela XIV – Índice Percentual de Área de Cana Colhida em relação à Área Municipal dos Municípios Produtores de Cana com e sem Usinas Certificadas

Município com produtor certificado no RenovaBio?	Área de cana colhida *100 / Área território município		
	Mediana	Média	Desvio padrão
Não	0,10	4,92	12,16
Sim	29,16	31,15	21,22

A Figura XVI apresenta o índice de focos de calor por 100km² separando os municípios do Brasil que produzem cana-de-açúcar em dois grupos: municípios com usinas certificada no RenovaBio e municípios sem a presença de usina certificada, mas com área de cana-de-açúcar colhida em 2020 igual ou superior a 5km².

Figura XVI – Índice de Focos de Calor em Municípios Produtores com e sem Usina Certificada no RenovaBio



O gráfico apresentado na Figura XVI compreende um total de 967 municípios, sendo que desses, 227 compõem o grupo de municípios com usinas certificadas no programa RenovaBio e 740 fazem parte do grupo de municípios que não possuem usinas certificadas.

A média do índice de focos de calor por 100 Km² nos municípios com usinas certificadas é de 2,74. Já os municípios sem usinas certificadas possuem uma média desse índice de 2,45, conforme dados descritivos da Tabela XV.

Cabe ressaltar que, além de possuir uma quantidade de focos de calor média menor, os municípios sem certificação do RenovaBio também apresentam valores de mediana e de 1º e 3º quartil menores, o que constitui indicativo de que os municípios produtores de cana-de-açúcar sem usinas certificadas apresentam menos focos de calor do que os que possuem usinas certificadas.

Tabela XV – Resumo Estatísticas Descritivas do Índice de Focos de Calor em Municípios com e sem Usinas Certificadas no RenovaBio

Grupo	Quantidade Municípios	Ind FC 100Km ²						
		Média	Desvio padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Sim	227	2,74	2,63	0,00	0,98	2,06	3,76	22,21
Não	740	2,45	2,56	0,00	0,54	1,40	3,15	16,72

Resultados específicos para a Pergunta 3:

- Os municípios produtores de cana-de-açúcar em que há usinas certificadas no programa RenovaBio apresentam área de cana-de-açúcar colhida relativa ao seu território expressivamente superior aos demais municípios produtores.
- A média e a mediana do índice de focos de calor por área do município é superior nos municípios que têm usina certificada para etanol primeira geração no RenovaBio do que nos demais municípios produtores de cana-de-açúcar com área colhida maior ou igual a 5km².

CONCLUSÕES

As análises realizadas demonstraram que os municípios que cultivam cana-de-açúcar têm perfil diferente dos demais quanto à quantidade de focos de calor por km², tendendo esses focos serem mais incidentes quanto maior o índice de área de cana-de-açúcar colhida relativa à área do município. Essa tendência foi encontrada ao se analisar dados em âmbito nacional dos biomas cerrado e mata atlântica, em âmbito estadual analisando-se Goiás e São Paulo e, no nível de mesorregião, considerando as duas selecionadas Norte Central Paranaense e Sul Goiano.

Tendência oposta foi identificada nos municípios quando se analisou sob as perspectivas das áreas de soja e de milho colhidas, as duas culturas temporárias mais presentes no país. Em nível nacional, nos biomas cerrado e mata atlântica, assim como nas duas mesorregiões analisadas, a tendência identificada para essas duas culturas foi de menos focos de calor quanto maior a área relativa colhida.

Em que pese o índice de focos de calor no cerrado ser mais que o dobro do que o da mata atlântica (dados de 2012 a 2021), as tendências de índice de focos de calor por km² em função da área relativa de cana-de-açúcar colhida nos municípios são similares entre os dois grupos de municípios em 2020. O Sul Goiano, mesorregião com amplo predomínio do cerrado, aparece na sexta posição considerando o índice de focos de calor entre as dez maiores mesorregiões produtoras de cana-de-açúcar.

Efetuando-se o recorte dos municípios em que há usinas certificadas em etanol primeira geração no programa RenovaBio conclui-se que, além deles apresentarem um percentual bem superior de área colhida de cana-de-açúcar comparando-se com os demais municípios produtores de cana, eles registraram índices de focos de calor por km² superiores aos demais municípios produtores com área de cana colhida maior ou igual a 5 km² (valor mínimo dentre os municípios com usinas certificadas).

O RenovaBio e o seu contexto como política pública demanda ainda respostas que podem ser temas de outros estudos. Um dos mais importantes, na perspectiva do desenho da política, é sobre o conceito de adicionalidade, descrito no Artigo 12 do Protocolo de Kyoto, no sentido de que as reduções de emissões certificadas seriam as adicionais às que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto certificada. Qual seria a medida justa de aplicação desse conceito na indústria de biocombustíveis, em especial do etanol, presente no Brasil há décadas? Nesse contexto, haveria espaço para o estabelecimento de metas de redução de emissão para esses produtores? Atualmente, considerando ainda o necessário alinhamento com outras políticas públicas, seria importante incluir condicionantes e metas mais amplas alinhadas ao espectro ESG¹⁴?

Os resultados obtidos com a pesquisa reforçam a necessidade de se acompanhar a efetividade das políticas públicas de energia e de meio ambiente envolvidas e de avaliá-las de forma integrada, assegurando que o recurso público (ou o aumento de custo imposto

¹⁴ ESG é uma sigla em inglês que significa *environmental, social and governance*, e corresponde às práticas ambientais, sociais e de governança de uma organização. O termo foi cunhado em 2004 em uma publicação do Pacto Global em parceria com o Banco Mundial, chamada *Who Cares Wins*.

ao particular) estejam realmente propiciando as transformações almejadas, efetuando, se necessários, ajustes na execução ou mesmo alterações nos desenhos dessas políticas.

REFERÊNCIAS

- Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. 620 p.: il. ISBN: 978-65-87432-18-2
- Ronquim, Carlos Cesar. Queimada na colheita de cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 45 p.: il. ISSN 0103-78110.
- Brasil. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Painel Dinâmico do RenovaBio. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>. Acesso em 24/04/2022.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Dinâmica na cultura da cana-de-açúcar no Brasil: 1990 a 2018. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2020. PDF 41p.: il. color. ISSN 1516-4691
- Perguntas Frequentes. Queimadas: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>. Acesso em 10/05/2022
- Brasil. Empresa de Pesquisa Energética. Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 - Oferta de Biocombustíveis. https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia/pde-2031/cadernos/pde-2031-oferta-de-biocombustiveis_06dez2021.pdf/view. Acesso em 19/08/2022.
- Gases do Efeito Estufa. https://pt.wikipedia.org/wiki/Gases_do_efeito_estufa. Acesso em 10/05/2022.
- Lista de mesorregiões e microrregiões de Goiás. https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mesorregi%C3%B5es_e_microrregi%C3%B5es_de_Goi%C3%A1. Acesso em 10/07/2022.
- Lista de mesorregiões e microrregiões do Paraná. https://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_mesorregi%C3%B5es_e_microrregi%C3%B5es_do_Paran%C3%A1. Acesso em 10/07/2022.
- United Nations. *Kyoto Protocol to The United Nations Framework - Convention on Climate Change*, 1998.