

Panorama para geração de energia por fermentação de gramíneas em Roraima



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

DOCUMENTOS 129

Panorama para geração de energia por fermentação de gramíneas em Roraima

*José Dilcio Rocha
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro
Ramayana Menezes Braga
Gustavo Spadotti Amaral Castro
Carlos Alberto de Carvalho
Ricardo Luís Radis Steinmetz
Rossano Gambetta
Paulo Augusto Vianna Barroso
Anderson Carlos Marafon
André May
Juarez Campolina Machado
Aloisio Alcântara Vilarinho
Rubens Augusto Miranda
Marcelo Henrique Otenio
João Romero do Amaral Santos de Carvalho Rocha
Edson Efrain Ramos de Assis*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Territorial

Presidente
Lúciola Alves Magalhães

Secretário-Executivo
André Luiz dos Santos Furtado

Membros
Bibiana Teixeira de Almeida, Carlos Alberto de Carvalho, Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues, José Dilcio Rocha, Suzi Carneiro, Vera Viana dos Santos Brandão, Ângelo Mansur Mendes, Carlos Fernando Quartaroli, Marcelo Fernando Fonseca e Paulo Augusto Vianna Barroso

Supervisão editorial
Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto
Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica
Vera Viana dos Santos Brandão

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações
Suzi Carneiro

Ilustração da capa
Airton Kunz

1ª edição
1ª impressão (2019): versão on-line

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 Territorial

Panorama para geração de energia por fermentação de gramíneas em Roraima / José Dilcio Rocha... [et al.]. – Campinas: Embrapa Territorial, 2019. 39 p.: il. ; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 129).

1. Biodigestão. 2. Geração distribuída. 3. Plantios energéticos. I. Rocha, José Dilcio. II. Monteiro, José Eduardo Boffino de Almeida. III. Braga, Ramayana Menezes. IV. Castro, Gustavo Spadotti Amaral. V. Carvalho, Carlos Alberto de. VI. Steinmetz, Ricardo Luis Radis. VII. Gambetta, Rossano. VIII. Barroso, Paulo Augusto Vianna. IX. Marafon, Anderson Carlos. X. May, André. XI. Machado, Juarez Campolina. XII. Vilarinho, Aloisio Alcântara. XIII. Miranda, Rubens Augusto. XIV. Otenio, Marcelo Henrique. XVI. Rocha, João Romero do Amaral Santos de Carvalho. XVII. Assis, Edson Efrain Ramos de. XVIII. Título. XIX. Série.

CDD 333.9539

© Embrapa, 2019

Autores

José Dilcio Rocha

Engenheiro químico, doutor em Engenharia Mecânica, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP

Ramayana Menezes Braga

Médico veterinário, mestre em Medicina Veterinária, pesquisador da Embrapa Roraima, Boa Vista, RR

Gustavo Spadotti Amaral Castro

Engenheiro-agrônomo, Doutor em Fitotecnia, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Carlos Alberto de Carvalho

Analista de Sistemas, Mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Ricardo Luís Radis Steinmetz

Químico, doutor em Engenharia Química, analista da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Rossano Gambetta

Engenheiro-químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF

Paulo Augusto Vianna Barroso

Agrônomo, Doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Anderson Carlos Marafon

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

André May

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Juarez Campolina Machado

Agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Aloisio Alcântara Vilarinho

Agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Rubens Augusto Miranda

Economista, doutor em Administração, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Marcelo Henrique Otenio

Bioquímico, doutor em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

João Romero do Amaral Santos de Carvalho Rocha

Agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pós-doutorando na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

Edson Efrain Ramos de Assis

Graduando em Engenharia Ambiental, bolsista da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG

Sumário

Introdução.....	9
Caracterização do estado de Roraima.....	10
Ecosistemas predominantes em Roraima – Limitações da agricultura de sequeiro e irrigada no estado.....	10
Características climáticas – Aptidão agroclimática e riscos climáticos para produção de biomassa em Roraima	11
Tipos climáticos, precipitação e temperatura	12
Potencial e riscos agroclimáticos para sorgo, cana energia e capim-elefante.....	13
Aspectos pedológicos	14
Infraestrutura e logística.....	14
Logística da agricultura em Roraima.....	17
Agricultura em Roraima.....	19
Biomassa e geração de energia.....	22
Contextualização sobre biogás e o uso de culturas energéticas	23
Experiências da Embrapa na produção de biogás a partir de biomassa	25
O pré-tratamento de biomassa para produção de biocombustível	26
Cana energia e capim-elefante na produção de biomassa para energia.....	28
Sorgo biomassa para a geração de energia elétrica.....	30
Capim-elefante para fins energéticos.....	33
Gramíneas nativas de Roraima como fonte de energia renovável	35
Considerações finais	36
Referências	37

Introdução

Fundado como território de Rio Branco e denominado Roraima em 1943 no governo Getúlio Vargas, foi elevado à categoria de estado em 1988, com a promulgação da Constituição Nacional, tendo como capital o município de Boa Vista. Tem limites internacionais com a Venezuela o norte e noroeste e com a Guiana a leste e, nacionalmente, faz divisa com Pará a sudeste e Amazonas a sul e oeste, e sua área é de 224.300,506 km² (IBGE, 2019a).

Em 2018 a população de Roraima foi estimada em 576.568 habitantes, o que lhe conferiu o título de menos populoso entre os estados, além de ter também a menor densidade demográfica, com 2,57 habitantes/km², mesmo com aumento de quase 70 mil habitantes nos últimos três anos, decorrente da imigração venezuelana. Sua economia é baseada principalmente no setor terciário e, embora seu produto interno bruto (PIB) seja o menor do País, com R\$ 9,03 bilhões, registra crescimento acima de 4,1% desde 2010 (IBGE, 2019a).

Dado seu histórico isolamento territorial, causado pela distância dos principais polos nacionais e pelas dificuldades logísticas enfrentadas na região Norte – relacionadas principalmente ao clima e à vegetação – e que resultam em custos superiores para aquisição de alimentos e insumos agropecuários, são necessários estudos detalhados que busquem o abastecimento interno de alimentos, fibras e energia e focados na expansão da produção agrícola, garantindo a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável do estado de Roraima com base no respeito ao ambiente e às populações lá inseridas (Castro et al., 2016).

As dificuldades para a elaboração de estudos em base territorial sobre o estado de Roraima trespasam múltiplos aspectos que vão desde dificuldades técnicas no processo de obtenção de dados, em geral dispersos em diversos órgãos oficiais, à incompatibilidade entre os dados, que limita ou impede a elaboração de consultas. Com isso, a construção de cenários que requerem o cruzamento de informações torna-se complexa (Castro et al., 2016).

O estado de Roraima (RR) é a única unidade da Federação que ainda não está conectada à rede nacional de transmissão de energia elétrica. Parte do suprimento de energia no estado é gerada localmente usando diesel e outra parte é comprada da Venezuela. Segundo a ANEEL (2018), existem quatro termelétricas principais em Roraima, com suas respectivas capacidades instaladas, em megawatts (MW): Monte Cristo (125,1 MW), Floresta (40 MW), Distrito (40 MW) e Novo Paraíso (12 MW). A linha de transmissão que será construída ligando Manaus, no Amazonas, a Boa Vista, capital de Roraima, está parada devido a disputas para a emissão das licenças ambientais. Isso pode durar mais tempo do que o inicialmente planejado. Segundo a Agência Brasil (2018), o contrato da Eletronorte com a empresa do setor elétrico venezuelano Corpoelec é para o fornecimento de até 200 MW e distribuição pela empresa local, Eletrobrás Distribuição Roraima (EDRR). A renovação do contrato de importação de energia elétrica da Venezuela, que termina em 2021 com grandes chances de não ser renovado, devido à deterioração das relações entre os dois países, é um outro problema.

Foi nesse contexto que o ambiente agrário, agrícola, natural e de infraestrutura do estado foi analisado quanto à viabilidade de desenvolvimento de cultivos dedicados para fornecer biomassa de forma sustentável para plantas de produção de biogás e posterior geração de energia elétrica.

As culturas agrícolas consideradas no estudo foram capim-elefante, sorgo biomassa e cana energia. Para cada uma delas, é apresentado um conjunto de características que deverão ser estudadas e

avaliadas na implantação de projetos-piloto. Esse método serve para qualquer região do País que considere usar tais soluções energéticas.

A geração de energia a partir de biogás é sustentável e renovável e, caso seja adotada, pode gerar renda no meio rural e nas plantas industriais de geração ou cogeração de bioeletricidade. Tanto o biogás quanto as matérias-primas podem ser armazenados e gerar na entressafra de forma contínua ao longo do ano. Não apenas biogás é produzido, mas também biofertilizantes sólido e líquido, que retornam aos plantios.

A geração distribuída (GD) com biogás é capaz de impulsionar o desenvolvimento local das comunidades atingidas pelos empreendimentos, ao aumentar as atividades econômicas na agricultura e na indústria e disponibilizar energia renovável. Isso diminui o consumo de diesel para geração e também contribui para a mitigação das emissões de poluentes.

Do ponto de vista de desenvolvimento sustentável, sob a óptica dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), a geração de energia a partir do biogás enquadra-se no ODS 7, que trata de geração e uso de energia limpa e acessível, dada sua origem na biomassa e sua natureza distribuída; nos ODS 1 e 2, que tratam da erradicação da pobreza e fome zero e agricultura sustentável; nos ODS 8 e 9, que tratam de trabalho decente e crescimento econômico, e da indústria, inovação e infraestrutura; nos ODS 11 e 12, que tratam das cidades e comunidades sustentáveis, e do consumo e produção responsáveis; e, finalmente, no ODS 13, que trata da ação contra a mudança climática.

No Brasil, já existem várias experiências de geração de energia com biogás, principalmente para o tratamento de dejetos de atividades de pecuária no meio rural e de aproveitamento em aterros sanitários (biogás de aterro) e estações de tratamento de esgoto (biogás de lodo de esgoto). Sistemas conectados à rede de distribuição (*on-grid*), assim como sistemas isolados (*off-grid*), podem ser usados tanto para o autoconsumo quanto para exportar para outros mercados. A produção de biogás a partir de matérias-primas plantadas exclusivamente para esse fim ainda é inédita no Brasil, mas vem ganhando importância por suas vantagens de previsibilidade e do retorno dos biofertilizantes, o que viabiliza uma economia circular em escala local.

A motivação para publicar esta Série Documentos foi a realização, em 2019, na sede da Embrapa Territorial em Campinas-SP, de um workshop que trouxe especialistas de várias Unidades da Embrapa em todas as áreas contempladas no estudo (agrária, agrícola, natural, tecnológica e de infraestrutura), para subsidiar a apresentação de uma proposta de geração elétrica em Roraima usando tecnologias de biodigestão de biomassa produzida em cultivos dedicados.

Caracterização do estado de Roraima

Ecossistemas predominantes em Roraima – Limitações da agricultura de sequeiro e irrigada no estado

O estado de Roraima é a mais setentrional das unidades federativas do Brasil, e mais de dois terços de sua área territorial estão situados no Hemisfério Norte. Limita-se a norte e noroeste com a Venezuela; a leste, com a Guiana; a sudeste, com o Pará; e a sul e oeste, com o Amazonas. Com

área de 224 mil km², representa 2,64% do território brasileiro e 5,81% da região Norte. O IBGE estimava, em 2018, que a população era de 576.568 habitantes (2,01 habitantes/km²).

Sob o ponto de vista dos principais ecossistemas, predominam: áreas de cerrado, com 40 milhões de km² (17% das terras do estado); áreas de floresta (77%); e campinas e campinaranas (6%). Para fins de exploração agropecuária, destacam-se, para as áreas de cerrado, a utilização de pastagem nativa e cultivada para a criação de bovinos, ovinos e equinos, as lavouras de soja, milho e arroz irrigado na agricultura, além da produção de peixes, hortaliças e frutas. Nas áreas antropizadas, destacam-se a pecuária bovina e culturas agrícolas, notadamente aquelas conduzidas nos projetos de assentamento e colonização. No sul do estado, destacam-se as campinas e campinaranas, com grandes limitações para exploração agrícola e consideradas áreas para preservação.

Características climáticas – Aptidão agroclimática e riscos climáticos para produção de biomassa em Roraima

O estado de Roraima localiza-se em uma região com clima predominantemente equatorial e que varia de tropical úmido com estação seca, na parte nordeste do estado, a tropical chuvoso, principalmente na metade sul do estado. A precipitação anual média situa-se em 1.500 mm na parte nordeste e chega a pouco mais de 2.500 mm na parte sul.

As temperaturas nessa região são bastante estáveis ao longo do ano, se comparadas a outras regiões brasileiras com maiores variações de temperatura entre o inverno e o verão. As temperaturas médias anuais na maior parte do estado situam-se entre 24 °C e 27 °C.

Na parte nordeste do estado, menos chuvosa, como no município de Pacaraima, por exemplo, a precipitação concentra-se nos meses de abril a agosto, com estação seca de setembro a março. Este é um padrão de distribuição de chuvas também encontrado nas regiões de cerrado do Centro-Oeste brasileiro. Devido à menor nebulosidade e menor ocorrência de chuva nos meses secos, as temperaturas médias e a evapotranspiração ficam um pouco mais elevadas. No período chuvoso, o excedente hídrico é bastante elevado, e ultrapassa 300 mm em junho e julho (Figura 1).

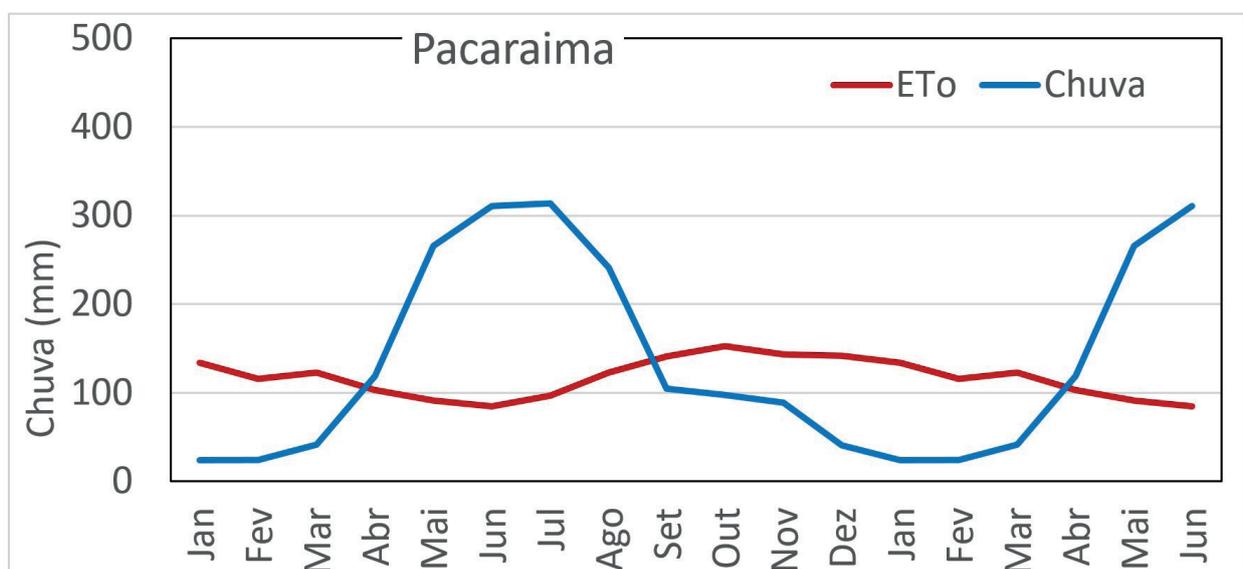


Figura 1. Médias mensais de chuva, evapotranspiração de referência (ETo), excedente e déficit hídrico em Pacaraima, RR.

Na metade sul do estado, mais chuvosa, como no município de Rorainópolis, por exemplo, a precipitação é mais concentrada nos meses de março a julho. Porém, não chega a apresentar uma estação seca, pois, apesar de chover menos nos meses de agosto a fevereiro, praticamente não há períodos de déficit hídrico, ou seja, períodos em que a demanda hídrica atmosférica (ETo) é maior que a oferta hídrica (chuvas). Nesta parte do estado, as temperaturas e a demanda hídrica também ficam um pouco mais elevadas de setembro a janeiro. No período chuvoso o excedente hídrico é bastante elevado, e ultrapassa 350 mm em maio e junho (Figura 2).

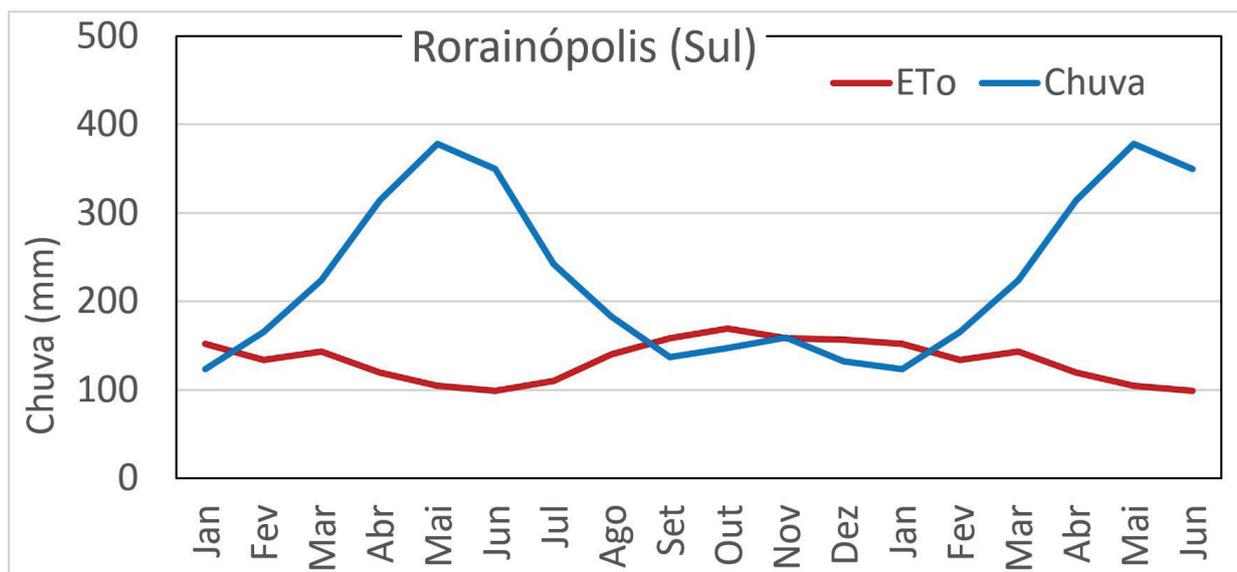


Figura 2. Médias mensais de chuva, evapotranspiração de referência (ETo), excedente e déficit hídrico em Rorainópolis, RR.

Tipos climáticos, precipitação e temperatura

O estado apresenta, em mais de 90% do seu território, tipos climáticos no Grupo A – Tropical –, segundo a classificação Köppen-Geiger. Este grupo climático (A) apresenta, em todos os meses do ano, temperatura média de 18 °C ou superior e precipitação significativa. Nas porções sul e oeste do estado, ocorre o clima tipo Af, equatorial, que apresenta precipitação média de pelo menos 60 mm em cada mês. Nas partes central, norte e nordeste do estado, ocorre o clima tipo Am, monçônico, que apresenta um mês mais seco (quase sempre ocorre no ou logo após o solstício de inverno) com precipitação menor que 60 mm, mas equivalente a mais de 4% da precipitação anual total. Em regiões mais próximas às fronteiras norte e noroeste, influenciado pelas serras ou cadeias montanhosas, ocorre o clima do tipo Aw, ou mesmo Cw em estreitas regiões de maior altitude. O Aw é clima de ambientes savânicos ou de cerrado, apresenta estação mais seca no inverno, quando o mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e equivale a menos de 4% da precipitação anual total.

Em termos de vegetação, o tipo climático Aw abrange grande parte da área de cerrado e a floresta de transição entre o cerrado e a floresta densa. A precipitação média anual é de 1.507 mm. O tipo climático Am abrange a maior parte da área de floresta, cuja precipitação é de 1.840 mm e, na área serrana ao norte e noroeste e ao sul do estado, o tipo climático predominante é Af, com 2.215 mm anuais de precipitação.

Quanto à temperatura, tomando-se como base a registrada na cidade de Boa Vista, capital do estado, a média das máximas é de 32,4 °C, a média das mínimas, de 23,4 °C, e média anual, de 27,4 °C. A umidade relativa do ar é, em média, de 76%.

Analisando com mais detalhes a precipitação pluvial que ocorreu no campo experimental da Embrapa Roraima, localizado em área de cerrado a cerca de 20 km de distância da cidade de Boa Vista, a média anual registrada nos últimos 25 anos foi de 1.879 mm; entretanto, em 44% das ocasiões a precipitação foi inferior à média e, nos últimos dez anos, em 60% dos casos a média foi inferior à média anual naquela localidade – nos anos de 2009 e 2014 a precipitação anual foi de 702 mm e 770 mm, respectivamente.

Com relação à precipitação mensal, das observações registradas de 1983 a 2014 naquele campo experimental, o período com maior precipitação ocorreu de abril a agosto, com 181 mm e 208 mm, respectivamente. Os meses mais chuvosos foram maio (342 mm), junho (344 mm) e julho (315 mm). Para fins de cultivos agrícolas, o período de setembro a março é considerado como o de menor precipitação, com menos de 100 mm mensais.

As informações apresentadas nos parágrafos anteriores devem ser analisadas com maior nível de detalhamento e podem ser encontradas nas análises sobre aptidão agrícola e riscos climáticos para fins agropecuários. Em linhas gerais, pode-se afirmar, com base nos dados apresentados, que cerca de 67% da precipitação anual ocorre de maio a agosto. Sob o ponto de vista da produção agrícola, a precipitação pluvial é o principal fator climático limitante. Por exemplo, as cultivares de soja e de milho plantadas em condições de sequeiro são preferencialmente aquelas de ciclo precoce (curto), inferior a 100 dias entre o cultivo e a colheita. Atualmente os plantios após a safra principal (safrinha) são feitos com a cultura do milheto.

Ainda com relação às condições de sequeiro, as pastagens (nativas e cultivadas) utilizadas na pecuária sofrem redução drástica em massa verde e nos teores de nutrientes importantes, como proteína e energia, durante o período de setembro a março.

Visando contornar a limitação pluvial, o cultivo de arroz de sequeiro migrou para as áreas de várzeas, onde o arroz irrigado encontrou condições para expressar seu potencial produtivo. Culturas como soja e milho também são cultivadas durante o período seco, porém com uso de irrigação, inclusive pivô central.

Ainda com relação ao cultivo do arroz irrigado, apesar da média de produtividade de 6.500 kg/ha, semelhante às lavouras da região Sul do País, as principais limitações com relação ao custo de produção referem-se aos dispêndios (custo variável) com combustível (diesel), equivalente a 22%, e fertilizantes (40%).

Potencial e riscos agroclimáticos para sorgo, cana energia e capim-elefante

As espécies consideradas para eventual implantação e produção de biomassa em Roraima – sorgo biomassa, cana energia e capim-elefante – adaptam-se bem às condições daquela região. São culturas de elevado potencial de produção de biomassa, especialmente a cana energia e o capim-elefante, de metabolismo do tipo C4, normalmente adaptadas a temperaturas mais elevadas e condições úmidas, como o clima tropical do estado.

Na porção nordeste do estado, os riscos são comparáveis aos da agricultura no Cerrado do Centro-Oeste brasileiro, onde também ocorre uma estação seca prolongada. Portanto, nesses locais, o período seco é o de maior risco. Para culturas já bem estabelecidas, com sistema radicular

aprofundado, esse período resulta em apenas uma fase de estagnação do crescimento e perda de qualidade de biomassa. Portanto, as culturas devem ser implantadas no período de maior oferta hídrica, preferencialmente de abril a maio, no início da estação chuvosa. A implantação no fim do período chuvoso ou já no início da estação seca resulta em condição de elevado risco, pois a cultura com o sistema radicular ainda raso ou pouco desenvolvido pode ser severamente prejudicada nos meses secos à frente, podendo até ocorrer morte das plantas.

Nas partes sul e central do estado, como em Rorainópolis, os riscos de déficit hídrico são baixos e restritos aos meses de setembro a dezembro. Nessa parte do estado, os maiores riscos decorrem principalmente do excesso de chuvas. No período chuvoso podem ocorrer maiores dificuldades para as operações mecanizadas, em geral devido à elevada frequência de dias chuvosos e aos solos muito úmidos. Operações de colheita de biomassa podem ser inviabilizadas ou atrasadas, especialmente de abril a junho.

O planejamento de safra deve compatibilizar os ciclos da cultura, momentos de implantação e colheita, conforme as necessidades da planta de produção de biogás e geração de energia elétrica, mas considerando as restrições da fase seca e da fase chuvosa.

Aspectos pedológicos

Os solos, em geral, são de baixa fertilidade natural quanto aos principais minerais necessários para as culturas e pastagens. Por exemplo, o elemento fósforo varia de 0,01 mg/dm³ a 7,0 mg/dm³, entretanto, a maioria dos solos utilizados na agricultura, tanto em área de cerrado quanto de floresta, apresenta teores entre 1 mg/dm³ e 2 mg/dm³. Além da fertilidade, são solos de textura arenosa (de 10% a 30% de argila) e com baixos teores de matéria orgânica. Esses fatores contribuem para a baixa retenção de água e de nutrientes, além de tornarem os solos altamente vulneráveis aos processos de erosão. Em resumo, sob o ponto de vista da exploração agropecuária, há necessidade de usar critérios técnicos bastante definidos com relação ao manejo e à fertilização do solo.

Alguns outros pontos devem ser considerados quanto se trata de agropecuária, tais como: o elevado custo de produção, com logística de importação de insumos e exportação da produção; o PIB estadual concentrado (84%) no setor de serviços, com forte presença do estado; a situação fundiária, também vista como fator limitante tendo em vista a insegurança jurídica para aquisição de terras (apesar dos 30 anos de existência do estado de Roraima, a questão ainda é uma ameaça para os investidores).

Sem entrar no mérito dessas questões, destacam-se, ainda, como ameaças para o setor a regularização ambiental, o ordenamento territorial, a instabilidade no acesso à energia elétrica e a necessidade de ajustes nos sistemas de produção, incluindo a pesquisa e a validação de tecnologias.

Infraestrutura e logística

Roraima recebeu investimentos do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) do governo federal. Entre 2011 e 2014, o estado recebeu cerca de R\$ 2,86 bilhões em obras. O valor após 2014 gira em torno de R\$ 1,12 bilhão, distribuído em ordem decrescente nos eixos: transportes, habitação, cidades, água e luz, comunidades e energia. O montante aplicado no estado representa 0,5% dos investimentos do PAC no Brasil e tem como obras estratégicas melhorias na Rodovia BR-432, urbanização da Vila Novo Paraíso e a entrada de acesso da BR-401. Apesar de apresentar os melhores índices de trafegabilidade de rodovias da região Norte, é necessária a melhoria da

BR-174, que liga Boa Vista a Manaus, além da melhoria de ramais e acessos em áreas agrícolas. Atualmente, poucos projetos de infraestrutura para Roraima estão no radar do governo federal, dentre eles a linha de transmissão Manaus–Boa Vista (Linhão), que busca ligar Roraima ao sistema nacional de energia elétrica e reduzir a dependência da importação de energia da Venezuela, atualmente limitada pelas condições econômicas do país vizinho, bem como reduzir a dependência do uso das termelétricas, pouco eficientes e altamente poluidoras quando comparadas a fontes de energia mais modernas.

A construção da BR-174, mostrada na Figura 3, caminho atual para escoamento da safra, gerou a decadência do transporte fluvial e de alguns centros urbanos, como o de Caracaraí. Com isso, a navegação estadual está limitada ao Rio Branco e com baixa eficiência. A navegação só é possível no trecho da foz, com cerca de 440 km. O Porto de Caracaraí está ativado apenas para transporte de calcário e outras pequenas cargas, devido às precárias condições do cais. A movimentação é feita diretamente nas barrancas do rio, o que dificulta as operações de embarque/desembarque. O trecho Caracaraí–Boa Vista, com extensão de aproximadamente 150 km, tem navegabilidade prejudicada por uma zona encachoeirada nos primeiros 14 km, conhecida como Corredeiras do Bem-Querer, com um desnível de 7,5 m. Um projeto de estação hidrelétrica neste local, em fase de estudo, poderia permitir a redução da sazonalidade do transporte de cargas pelo Rio Branco e possibilitar a chegada de mercadorias por via fluvial mais próxima à capital, Boa Vista.

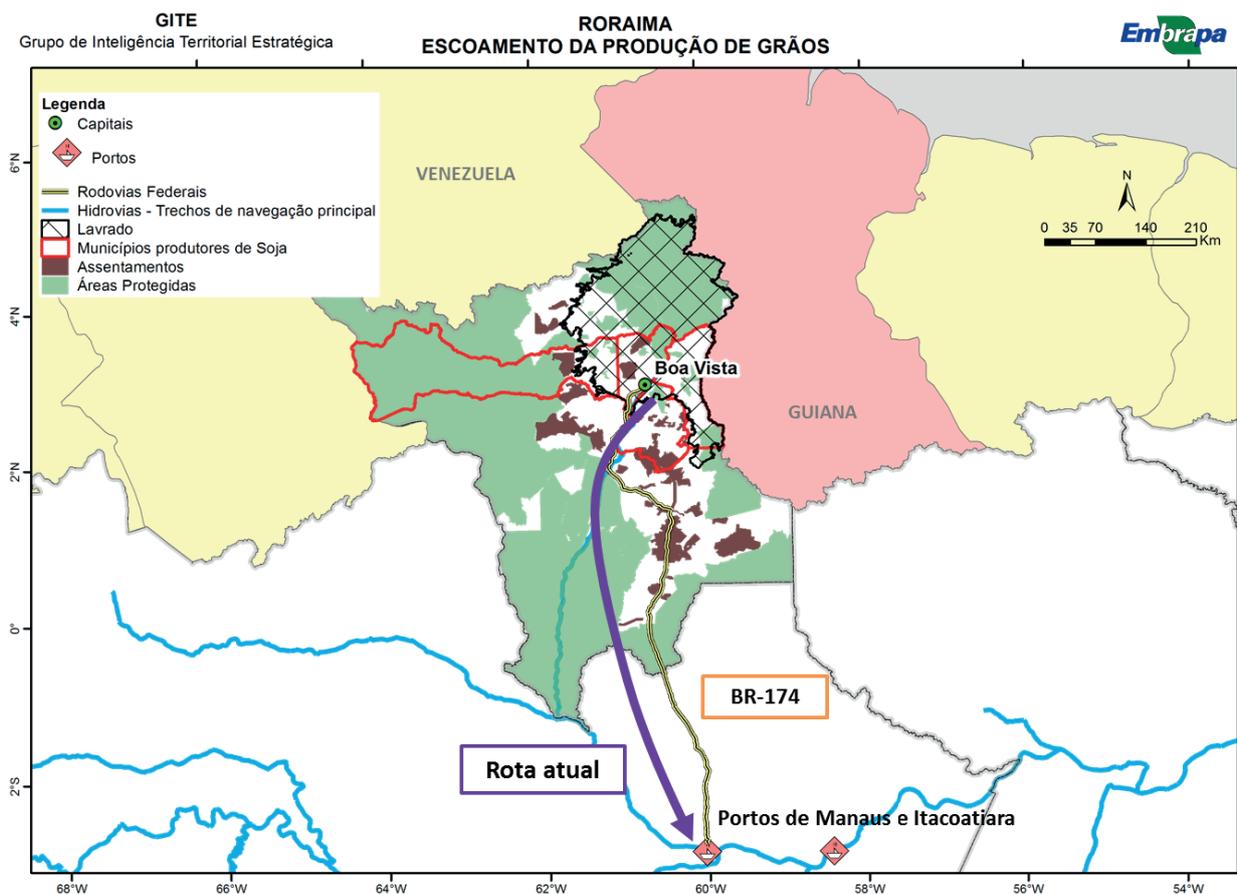


Figura 3. Via atual para escoamento da produção (Castro et al., 2016).

Atualmente, os insumos para agropecuária local chegam, geralmente, entre setembro e novembro, ou seja, no fim da estação chuvosa e início da seca. Os fertilizantes (N-P-K e formulados) contam basicamente com duas vias de chegada:

- Vindo do estado de Mato Grosso, passando por Porto Velho, de onde se deslocam até Manaus por meio de barcaças e seguem por via rodoviária até Boa Vista,
- Vindo de Belém, deslocando-se por barcaças até Manaus ou Itacoatiara e posteriormente seguindo por via rodoviária até Boa Vista.

Já o calcário, até 2018, chegava principalmente pela Venezuela. A partir do fechamento da fronteira, foi retomado o comércio tradicional de calcário de Itaituba (PA), que chega via barcaça até Caracaraí, deslocando-se posteriormente por rodovias até os centros consumidores.

O escoamento da safra, especialmente soja, é feito basicamente por meio do Porto de Itacoatiara, pela empresa Amaggi. Para isso, a soja percorre a BR-174 do seu ponto de origem até o estado do Amazonas. A soja oriunda de Roraima é do tipo convencional (não transgênica), o que garante um prêmio de exportação para os principais destinos do Norte da Europa.

A falta de infraestrutura adequada também impacta a produção e a produtividade, pois a malha viária é insuficiente para a chegada de insumos de primeira linha e tarda demais o escoamento da produção. A posição estratégica de Roraima pode ser melhor explorada, pois permite o escoamento da produção por via rodoviária para a Venezuela e pelo Porto de Itacoatiara (AM), aproveitando frete reverso com insumos (calcário) em ambas as rotas.

A introdução das culturas graníferas, especialmente o milho e o sorgo, é importante para o aproveitamento de áreas de cerrado, além de alavancar outros processos produtivos, entre eles a pecuária, a piscicultura e a criação de animais médios e pequenos (verticalização).

Ademais, projetos inovadores podem possibilitar a produção de energia renovável a partir da biomassa de gramíneas, por técnicas modernas de geração de biogás, e possibilitar a rotação de culturas, incentivando ainda mais a produção agropecuária sustentável no estado. Com o aumento da escala, é esperada redução dos custos com insumos, aumentando a competitividade de diversas cadeias da agropecuária estadual, visando a produção de alimentos, fibras e energias.

Oportunidades de investimentos surgem no estado, a principal delas relacionada ao transporte internacional, com acessos à Venezuela e à Guiana, que podem resultar em rotas mais curtas para mercados e portos internacionais, mostrada na Figura 4. Nas ações relacionadas ao Escudo Guianês, o estado de Roraima está investindo para facilitar o escoamento de produtos na região. Se desenvolvida, esta rota será a primeira estrada pavimentada para atravessar toda a Guiana, além de ser o acesso mais curto dos estados do Amazonas e Roraima à costa do Caribe. Juntos, os governos brasileiro e guianense têm projetos para asfaltar a rodovia internacional entre Boa Vista e Georgetown, capital da Guiana, com distância de aproximadamente 700 km. As seções rodoviárias de Boa Vista até Bonfim (RR), com 125 km, e de Linden até Georgetown (Guiana), com 103 km, já são pavimentadas. As condições das estradas na seção Lethem–Linden (Guiana) variam de regular a ruim, dependendo das chuvas, e só tornam possível o deslocamento usando caminhões trucados. Os custos para pavimentar a seção Lethem–Linden são estimados em US\$ 270 milhões, e incluiriam a construção de uma grande ponte sobre o Rio Essequibo.

O projeto inclui, ainda, a construção de duas hidrelétricas na Guiana, a serem interligadas com o sistema energético do Brasil, e de um porto na cidade de New Amsterdam, cujo calado permite

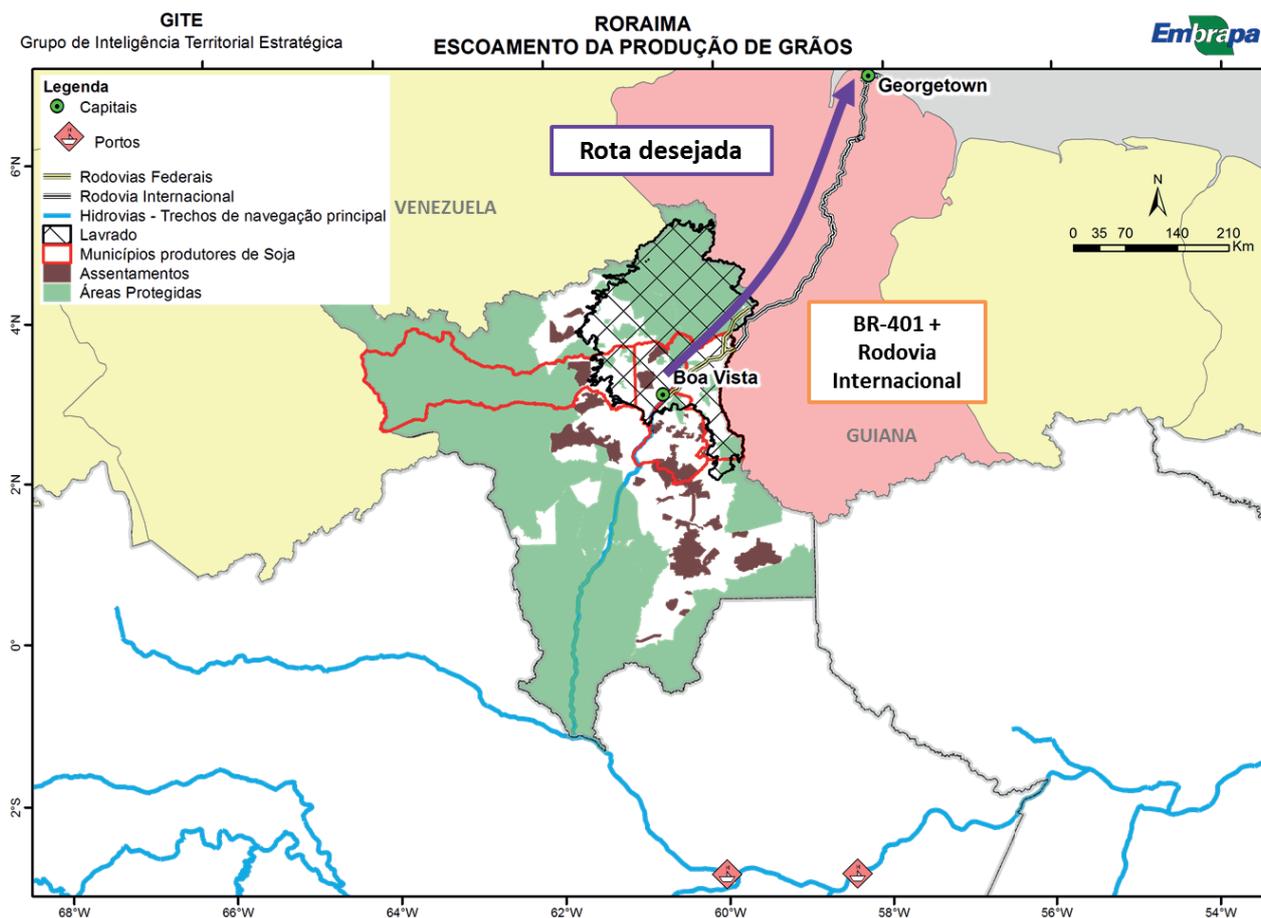


Figura 4. Via desejada para escoamento da produção (Castro et al., 2016).

embarcações de grande porte e favorece o comércio exterior a partir do Oceano Atlântico. O mesmo projeto também é objeto de uma carta de intenção de execução com a China e a Europa. Caso se concretize a exploração comercial de petróleo pela Guiana, o projeto pode ser alavancado com maior facilidade, até mesmo pela própria Guiana.

Essa possibilidade é importante para a abertura de novos mercados de exportação e importação, e beneficiaria diversas cadeias do agronegócio de Roraima. Existe, ainda, a Zona de Processamento de Exportação de Boa Vista, que busca agregar valor a produtos regionais e exportação de commodities agrícolas.

As informações aqui apresentadas estão disponíveis em um Sistema de Inteligência Territorial Estratégico (Site) para Roraima, o qual contempla cinco dimensões – os quadros natural, agrário, agrícola, socioeconômico e de infraestrutura –, descritos resumidamente neste trabalho. As oportunidades para desenvolvimento dos agricultores e da agricultura do estado foram identificadas com base no Novo Código Florestal.

Logística da agricultura em Roraima

A participação agropecuária no PIB do estado é baixa, mesmo com a recente expansão da atividade. O estado apresenta alta concentração populacional na capital e forte intervenção do governo federal, que designou como Unidades de Conservação e Terras Indígenas 67% de seu território. Conhecer o território roraimense e suas particularidades é de suma importância para a elaboração de projetos para políticas públicas ou iniciativas privadas focadas no desenvolvimento agropecuário

estadual. Para tal, a logística desempenha papel fundamental diante do atual isolamento territorial causado pelas limitações geográficas e da ausência de investimentos na integração do estado de Roraima com o restante do Brasil e os demais países do Hemisfério Sul. A dificuldade na aquisição de insumos agropecuários modernos e a preços competitivos e a dificuldade de escoamento de safras e subprodutos agropecuários limitam o desenvolvimento rural do estado. Para superar esses gargalos, repensar a logística do estado é prioritário para alavancar o desenvolvimento econômico local.

Dados dispersos em diversas bases e órgãos competentes, apresentados em termos territoriais, viabilizam uma discussão sobre o contexto territorial da logística focada na agropecuária do estado de Roraima, considerando as atualidades e apontando perspectivas para o futuro recente. Elencar dados relevantes viabiliza a elaboração de cenários que possam contribuir para fortalecer os agricultores e o agronegócio de alimentos, fibras e energia no estado, de modo a ampliar sua importância econômica.

A primeira questão logística a ser levantada é em relação às demandas para aquisição de insumos. O ideal seria que o território fosse autossuficiente em insumos agrícolas, porém, geralmente isso não é possível. Quanto à exploração de insumos agrícolas, o estado de Roraima não detém reservas oficialmente aprovadas de minerais para uso na agricultura. Os títulos minerários para calcário, fosfato e sais de potássio (Figura 5) estão em fase de requerimento ou autorização de pesquisa (Departamento Nacional de Produção Mineral, 2015).

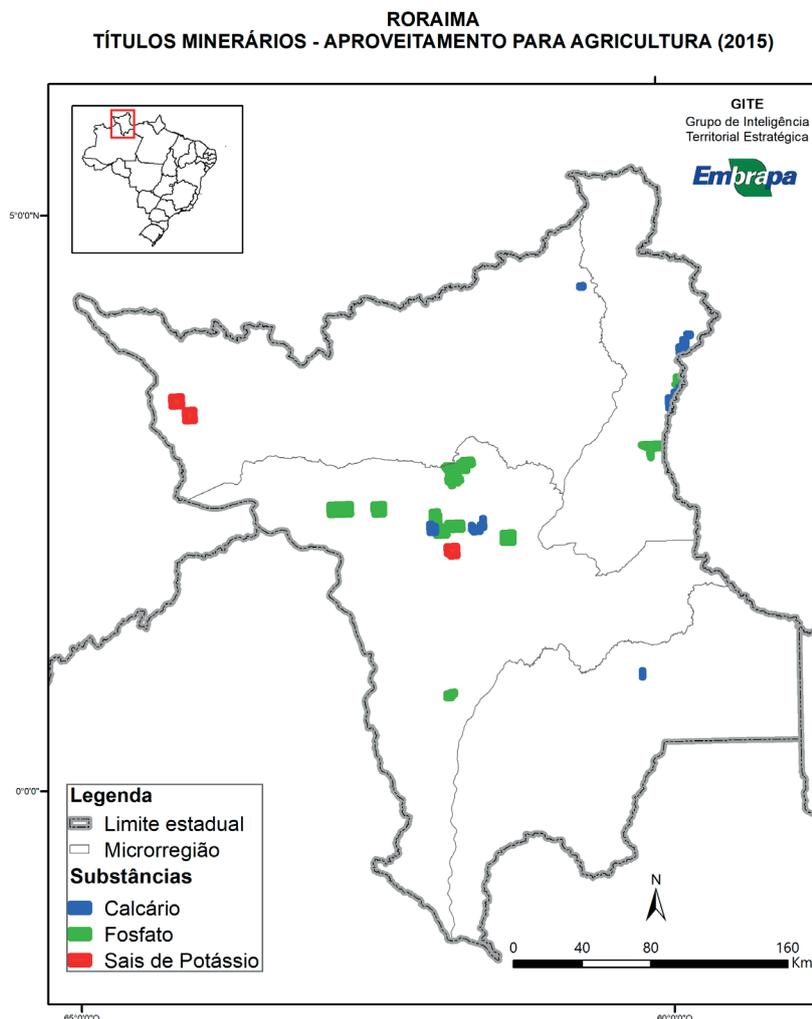


Figura 5. Títulos minerários das substâncias cadastradas para uso na agricultura (Castro et al., 2016).

É um dos poucos estados que não conta com exploração própria de calcário em escala comercial (Parahyba, 2009) e, segundo levantamentos da safra 2018, importa esse insumo do Pará, por sua proximidade. É estratégico para o estado facilitar a disponibilidade de insumos modernos para o desenvolvimento do agronegócio em escala, mas também da fruticultura e de hortaliças para o abastecimento de Boa Vista. Até a safra 2017, ainda era comum a importação de fertilizantes, principalmente calcário da Venezuela. Com o colapso econômico do país vizinho, essa rota deixou de ser uma alternativa viável para a aquisição de insumos agropecuários.

Agricultura em Roraima

Roraima tem área de 224,3 mil km², dos quais 103,8 mil km² foram destinados a terras indígenas e 47 mil km² são unidades de conservação (Figura 6). Há também 13,9 mil km² de áreas atribuídas a assentamentos de reforma agrária. Portanto, as áreas já atribuídas somam 77% de toda a área do estado (Castro et al., 2016). Isso faz de Roraima o estado brasileiro que, proporcionalmente, apresenta a menor percentagem de área passível de ser destinada a atividades econômicas.

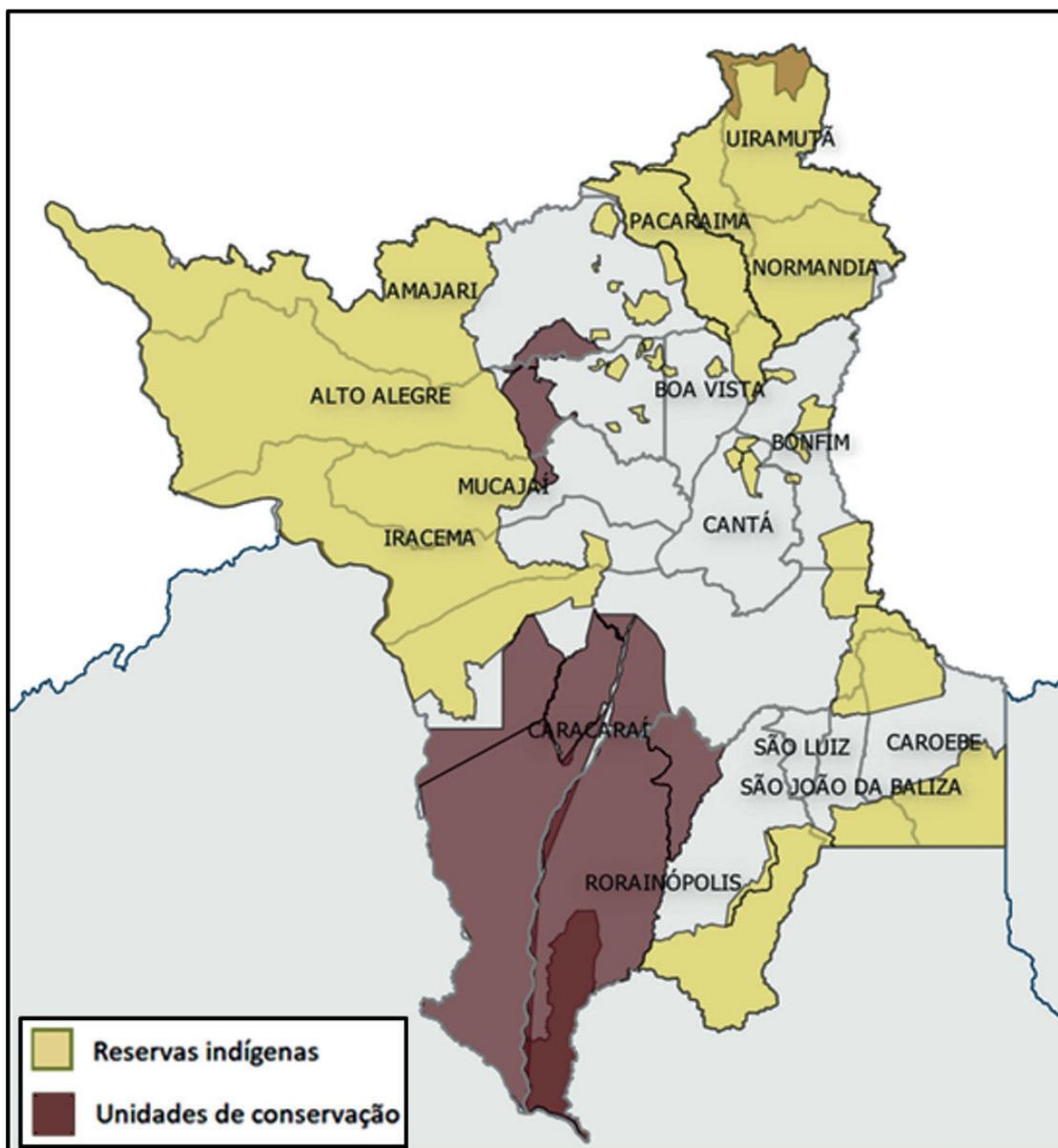


Figura 6. Áreas destinadas à preservação e unidades de conservação no estado de Roraima.

Sob o ponto de vista de vegetação, o estado apresenta dois tipos principais de cobertura vegetal, o campestre (lavrado) e o florestal (floresta amazônica). As áreas de floresta são similares àsquelas presentes em outros estados amazônicos e as áreas campestres são compostas por savana com características peculiares, conforme mostra a Figura 7. Nela concentra-se boa parte das áreas destinadas a agricultura no estado. Apesar do elevado potencial agrícola, o PIB agrícola representa apenas 6% do PIB do estado, tendo gerado R\$ 688,2 milhões.

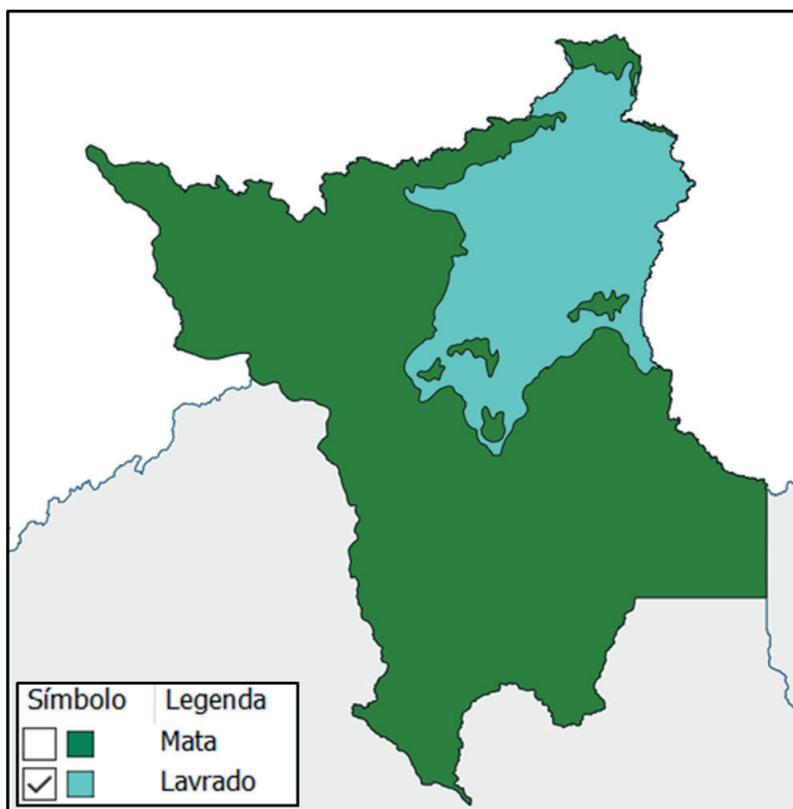


Figura 7. Tipos de vegetação presentes em Roraima.

Um diferencial de Roraima, que pode ser considerado uma vantagem, é o período de chuvas. Enquanto em boa parte do Brasil o período chuvoso predominante é entre outubro e março, em Roraima esse período vai de abril a setembro. Essa diferença permite que os produtos agrícolas sejam produzidos no estado durante a entressafra da maior parte do País. Com infraestrutura adequada, o estado seria capaz de comercializar, para o restante do País, produtos animais e vegetais com preços mais atrativos.

A área plantada com culturas anuais ocupou 56.650 ha em 2017, segundo o PAM (IBGE, 2019b). A maior parte dessas áreas agrícolas foi plantada com soja (21,5 mil ha), arroz (9,9 mil ha), milho (6,6 mil ha) e mandioca (5,5 mil ha). Observando a evolução da área plantada na Figura 8, verifica-se que a área cultivada em 2017 com culturas temporárias aproxima-se da existente em 2004, valor máximo da série histórica para o estado. A partir de 2004, a rizicultura e a cultura de soja têm sua área reduzida devido à ocupação de áreas de produção por reservas indígenas. A recuperação da área plantada inicia-se a partir de 2011, principalmente devido à expansão da soja no estado. A agricultura temporária é praticada principalmente no lavrado, com destaque para os municípios de Boa Vista, Bonfim, Alto Alegre e Normandia (Figura 9). Levantamento feito usando imagem de satélite identificou 20 pivôs centrais no estado, cuja soma das áreas é de 2.001 ha, todas no lavrado (Guimarães; Landau, 2014).

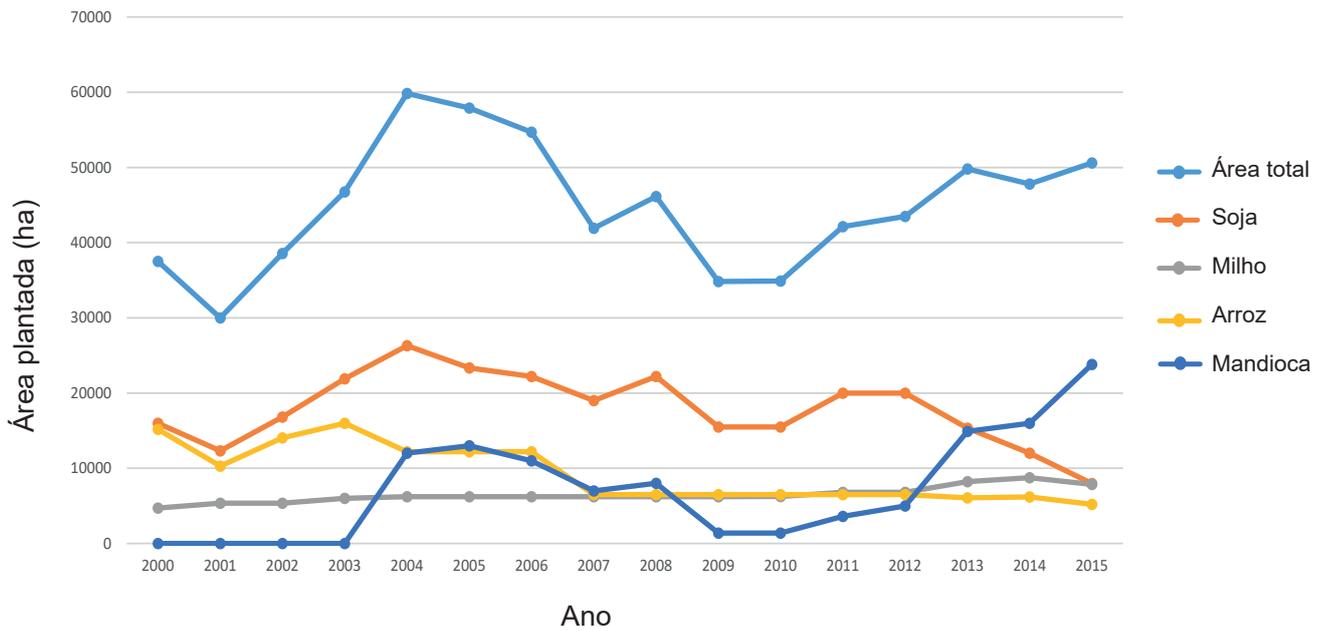


Figura 8. Área plantada com culturas temporárias em Roraima em 2017.
Fonte: IBGE (2019b).

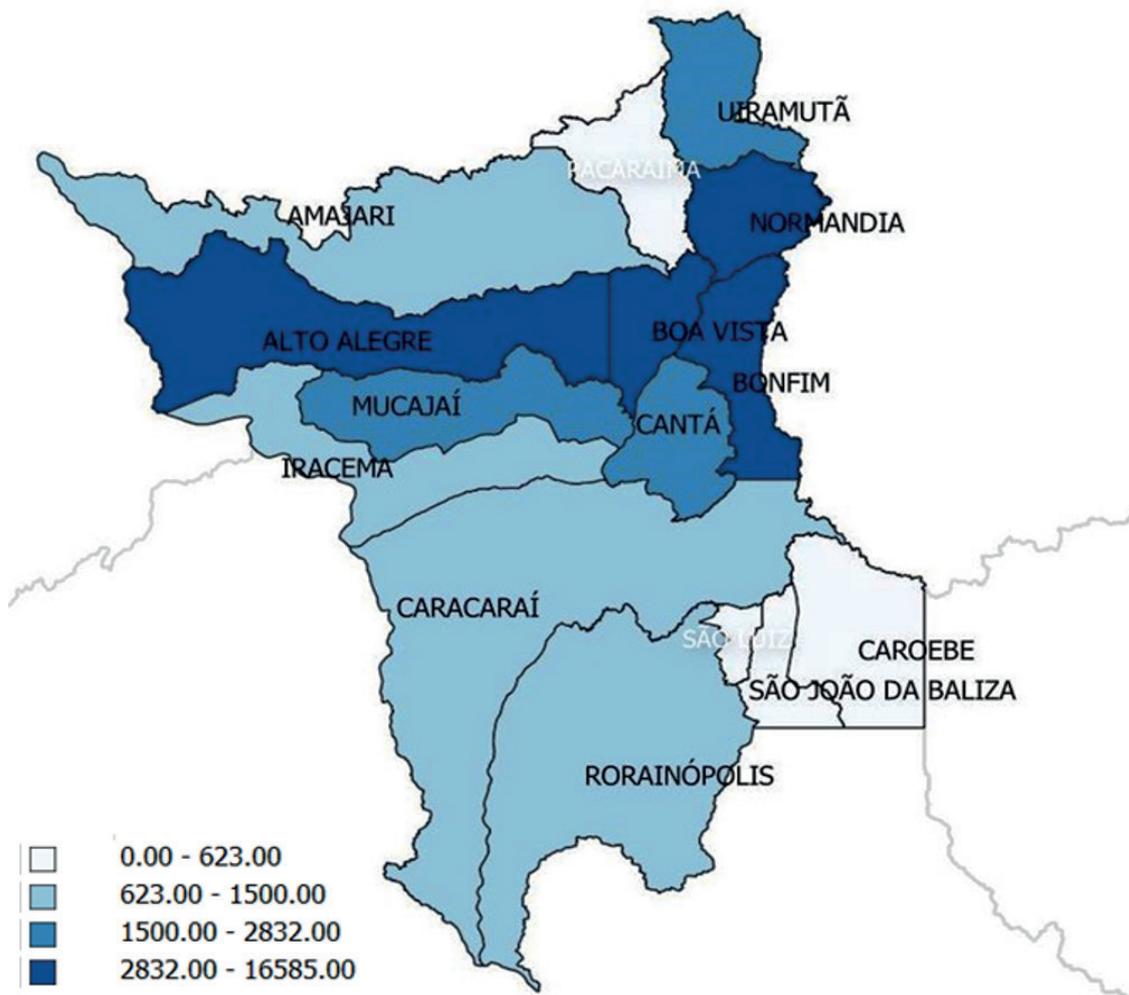


Figura 9. Área ocupada com culturas temporárias em Roraima, segundo o município.
Fonte: IBGE (2019b).

A agricultura temporária foi praticada em 11.619 ha em 2017. Quase a totalidade dessa área foi ocupada por fruteiras (Figura 10). O cultivo é feito principalmente por agricultores familiares em assentamentos rurais.

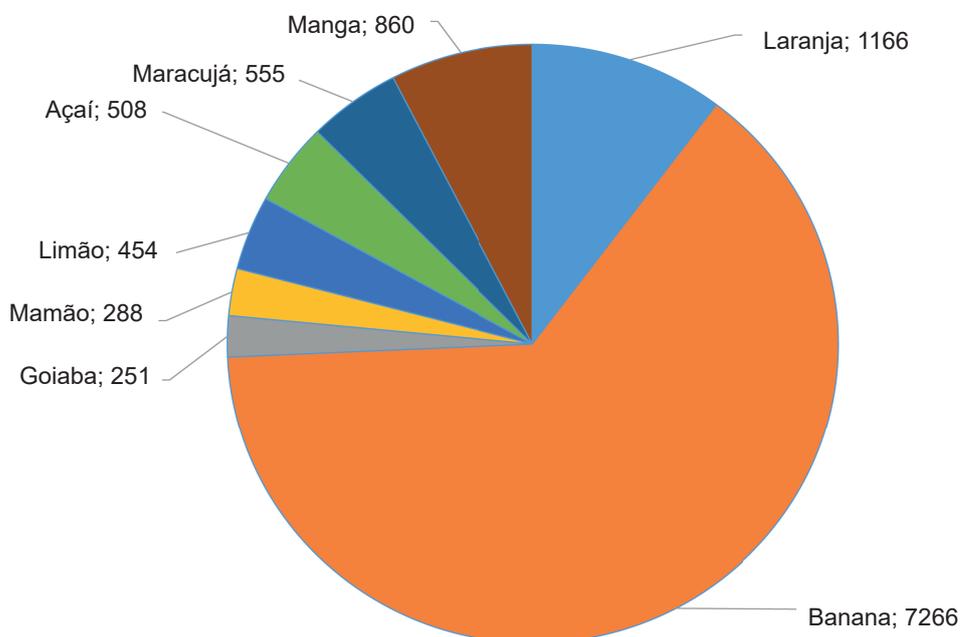


Figura 10. Área cultivada por cultura em 2017, em hectares.

Fonte: IBGE (2019b).

Portanto, a área total destinada à agricultura no estado foi de 68.269 ha em 2017. Mesmo considerando o baixo percentual de áreas disponíveis para a exploração econômica e as áreas que devem ser destinadas à preservação pelos agricultores para atender às determinações do Código Florestal, há possibilidade de grande crescimento da agricultura em Roraima. Alguns consideram que a região apresenta similaridades com o Oeste Baiano, considerado a última fronteira agrícola do País.

Roraima conta com rebanho de 767.318 bovinos (IBGE, 2017c). O estado foi considerado zona livre de aftosa por vacinação a partir de 2017, o que melhorou a expectativa dos produtores. O maior problema é a capacidade de abate. O principal frigorífico do estado é público (Mafir) e foi fechado em 2019. Resta ao estado um único frigorífico, inaugurado em 2017, construído por um grupo de pecuaristas.

Biomassa e geração de energia

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, e, em 2017, as fontes renováveis representaram a maioria na oferta interna de eletricidade do País, com destaque para a fonte hídrica (65,2%), a biomassa (8,2%) e a eólica (6,8%). A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê que o consumo de energia elétrica do Brasil irá duplicar em 18 anos, saindo dos atuais 465.130 GWh para 930.260 GWh (Empresa de Pesquisa Energética, 2018).

Nos últimos anos, a economia mundial vem passando por uma crise energética que tem obrigado os países a buscarem novas alternativas de geração de energia, sobretudo por meio de fontes renováveis. Levando-se em conta a forte dependência do setor agropecuário, em termos de eletricidade e de lenha, além dos resíduos agrícolas disponíveis regionalmente como fonte de

combustível para produção de energia térmica, novos cultivos dedicados à produção de biomassa, como o eucalipto e as gramíneas forrageiras, configuram-se como alternativas promissoras para suprir a demanda de matéria-prima (Quesada et al., 2004).

O cultivo dedicado de espécies para produção de biomassa energética, como o de gramíneas forrageiras, é considerado uma alternativa técnica sustentável, por tratar-se de uma fonte renovável e limpa que, além de prevenir a extração de madeira em florestas nativas, é capaz de atender diversos propósitos energéticos, tais como a geração de energia térmica, elétrica e mecânica. Essa alternativa torna-se mais sustentável quando as culturas dedicadas à geração de energia ocupam áreas agrícolas onde a produção de alimentos seria pouco viável, as chamadas áreas marginais, e quando são escolhidas fontes de biomassa que possam oferecer algum ganho energético sem competir com a produção de alimentos.

A energia da biomassa é um tipo de energia limpa e renovável proveniente de resíduos agrícolas (urbanos e industriais) ou de plantios herbáceos e florestais, e pode ser transformada em biocombustíveis ou em bioeletricidade.

A biomassa dedicada é aquela direcionada para produção de biocombustíveis ou geração de energia, oriunda de cultivos dedicados como cana-de-açúcar, forrageiras (capim-elefante, sorgo, etc.), cultivos florestais (eucalipto, pinus, etc.), oleaginosas (soja, dendê, etc.) e microalgas. Sob o ponto de vista econômico-ambiental, é fundamental que essa atividade assegure baixo custo de produção da biomassa e aptidão para o cultivo dessas espécies também em áreas marginais, sem competir com a produção de alimentos.

Com base no conjunto de informações apresentado sobre o estado de Roraima, e pensando especificamente na produção de biomassa vegetal para a geração de energia por meio da biodigestão de gramíneas, com base no volume necessário para a atividade, haveria necessidade de se explorar extensas áreas com o plantio. As áreas de cerrado seriam a primeira opção nesse sentido.

Contextualização sobre biogás e o uso de culturas energéticas

O biogás é proveniente da digestão anaeróbia de matéria orgânica, presente na biomassa. Entre seus constituintes, o biogás tem o gás metano, gás combustível que pode ser usado para aproveitamento térmico, geração de energia elétrica ou mesmo como combustível para veículos automotores. No uso térmico, o biogás é o principal substituto do gás liquefeito de petróleo (GLP), do gás natural, do carvão vegetal e da lenha. A substituição pode ocorrer em várias escalas, desde o uso caseiro até o industrial. No primeiro caso, o biogás viabiliza o preparo de alimentos, o aquecimento de água para higienização, além de permitir o processamento de alimentos da agricultura familiar e evitar problemas de saúde decorrentes da aspiração de fumaça e fuligem derivada da queima de carvão ou lenha. Já em escala industrial, o aproveitamento térmico na própria agroindústria reduz custos de produção que são refletidos no produto final.

Além do uso térmico, outra importante alternativa consiste na possibilidade de uso do biometano (biogás purificado) em equivalência ao gás natural. A recente Resolução ANP nº 08/2015 regulamentou o biometano para injeção na rede de gás natural e também seu uso como combustível veicular (Agência Nacional do Petróleo e Gás Natural e Biocombustíveis, 2015). Diversos setores industriais, desde metalurgia, cerâmica, têxtil, fertilizantes, até processamentos alimentícios, dependem do gás natural, que é parcialmente proveniente de fontes externas e, portanto, causa dependência direta

de outros países. A possibilidade de uso do biometano permite ampliar a autonomia energética desses setores da indústria.

Entre todas as aplicações de biogás disponíveis, a geração de energia elétrica é uma realidade em expansão no Brasil. Com o advento das Resoluções Normativas ANEEL (2010, 2012, 2015) nº 414/2010, 482/2012 e 687/2015, tem sido possível o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e de compensação de energia. Isso permite converter o biogás em energia elétrica, por meio de um grupo gerador conectado à rede de distribuição. Essa possibilidade fortalece a segurança energética em áreas rurais, proporcionando maior disponibilidade de energia às regiões longínquas, além de ampliar a competitividade dos processos industriais por meio da redução de custos com energia elétrica. As tecnologias para a geração de energia elétrica a partir de biogás são bastante conhecidas e sedimentadas, porém, no Brasil, a aplicação ainda está em processo de expansão, com ampla gama de oportunidades. As maiores usinas de energia a biogás brasileiras estão nas faixas de 1 MW_{el}, 2 MW_{el} e 4 MW_{el} (megawatt elétrico) de potência instalada. Atualmente existem novos projetos de maior porte, como é o caso da planta em construção e instalação em Guariba (SP), cuja potência instalada vislumbrada é de 21 MW_{el} a partir de biogás de resíduos do setor sucroalcooleiro. Para efeito de comparação, uma das maiores usinas de biogás da Europa, localizada na cidade de Güstrow, na Alemanha, ativa desde 2009, foi projetada para 20 MW_{el} e opera com capacidade de 55 MW_{th} (megawatt térmico) a partir de biogás produzido pela biodigestão de culturas agrícolas.

O Brasil é rico em disponibilidade de matéria-prima (substratos ricos em matéria orgânica) para geração do biogás. Destacam-se os resíduos dos setores sucoenergético (vinhaça e torta) e agropecuário (dejetos de animais), mas também existem opções derivadas dos resíduos agrícolas e até mesmo de biomassa de culturas energéticas. Culturas ou cultivos energéticos são aqueles nos quais a biomassa pode ser direcionada para a produção de energia, por exemplo florestas, cana-de-açúcar e forrageiras, oleaginosas (como soja, dendê e macaúba) e até mesmo a biomassa proveniente do cultivo de microalgas.

É importante reconhecer que a fonte inicial de energia para esses cultivos é o sol, e que a energia é armazenada por fotossíntese. Apesar de as culturas energéticas terem muita energia armazenada, o potencial para gerar biogás não é igual entre as espécies vegetais e nem homogêneo intraespécie. O potencial de produção de biogás desses substratos está diretamente relacionado à composição química no momento da colheita (ver exemplos na Tabela 1). Por exemplo, fatores como umidade, teores de açúcares e de carboidratos fermentescíveis no milho interferem no potencial para gerar biogás. Já outras biomassas mais fibrosas podem aparentar ter maior potencial, porque também contêm alto teor de carboidratos, mas não o têm, pois são ricas em lignocelulose, de difícil conversão em biogás pelos microrganismos.

Portanto, além de variações entre os tipos de substratos, também existem variações de potencial para gerar biogás, conforme oscilações na composição de cada substrato individualmente. Em geral, para culturas energéticas, quanto maior for o rendimento de matéria seca na colheita, maior será o potencial de biogás produzido por cada hectare plantado. Porém, fatores que envolvem a adequação do estágio da colheita até processos de ensilamento devem ser investigados, pois o processo favorece a liberação da celulose pela conversão em açúcares de fácil digestão e também é estratégico para auxiliar na estocagem da biomassa. Dessa forma, o rendimento final de biogás ou biometano da cultura energética depende dos fatores descritos acima e da produtividade da área cultivada.

Tabela 1. Estimativa média do valor pleno de mercado das terras imobilizadas para preservação ambiental nos estados do Brasil.

Substrato	MS	SV	PBB	PBM	RdB	RdM
	%	%	L_N/kg_{SV}	L_N/kg_{SV}	m^3/t_{MF}	m^3/t_{MF}
Dejeto bovino (leite)	14,5	12,4	113	63	14	8
Dejeto suíno	5,7	4,1	551	336	23	14
Macrófita	9,7	7,6	770	407	59	31
Silagem de girassol	24,4	21,1	478	288	101	61
Silagem de sorgo	22,5	20,6	609	319	126	66
Microalga (genérica)	24,4	17,7	769	404	136	72
Silagem de triticales	31,8	29,5	500	281	148	83
Silagem de milho	30,7	29,3	586	310	172	91
Silagem de capim (genérico)	36,0	31,8	572	318	182	101

MS, matéria seca; SV, sólido volátil; MF, matéria fresca; PBB, potencial bioquímico de biogás; PBM, potencial bioquímico de metano; RdB, rendimento de biogás; RdM, rendimento de metano.

Fonte: Association for Technology and Structures in Agriculture (2019).

Outro fator importante a ser observado é a possível competição existente entre o uso do solo para as culturas energéticas e o uso para produção de alimentos. A dualidade de uso do solo pode refletir em oscilações micro e macroeconômicas, e pode desfavorecer a disponibilidade de alimento para populações locais. Isso tem reflexo na elevação de custos locais dos insumos agrícolas e na competição direta por matéria-prima, e pode resultar em desequilíbrios sociais microrregionais. Uma alternativa consiste na integração de estratégias que compartilham o carbono disponível na planta, usando para fins energéticos (substrato) o carbono residual da cultura. Um exemplo é o uso de palhada, caule do milho e outros resíduos agrícolas, além da possibilidade de utilizar a biomassa de culturas plantadas nos períodos de entressafra (usadas na proteção do solo). Esses arranjos ainda são conceituais, cercados de inúmeros desafios, e necessitam ser estudados a cada caso.

Experiências da Embrapa na produção de biogás a partir de biomassa

A Embrapa tem colaborado diretamente para a geração de conhecimento e implementação de tecnologias para transformação de biomassa em biogás. Os desafios consistem em conhecer a disponibilidade de biomassa no Brasil, adequar o processo de biodigestão às condições regionais e socioambientais, além de buscar viabilizar soluções de logística e destinação do digestato (por exemplo, reuso de água, fertilização do solo, etc.). A Embrapa tem desenvolvido pesquisas para aprimorar o uso energético dos resíduos agropecuários, a exemplo da Rede BiogásFert (www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert), que vem estudando e organizando informações referentes a tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC). A Figura 11 mostra um exemplo de ferramenta em desenvolvimento pela Rede BiogásFert, para prospecção de biomassa, que mostra a distribuição geográfica dos potenciais de biogás a partir de dejetos de bovinos.

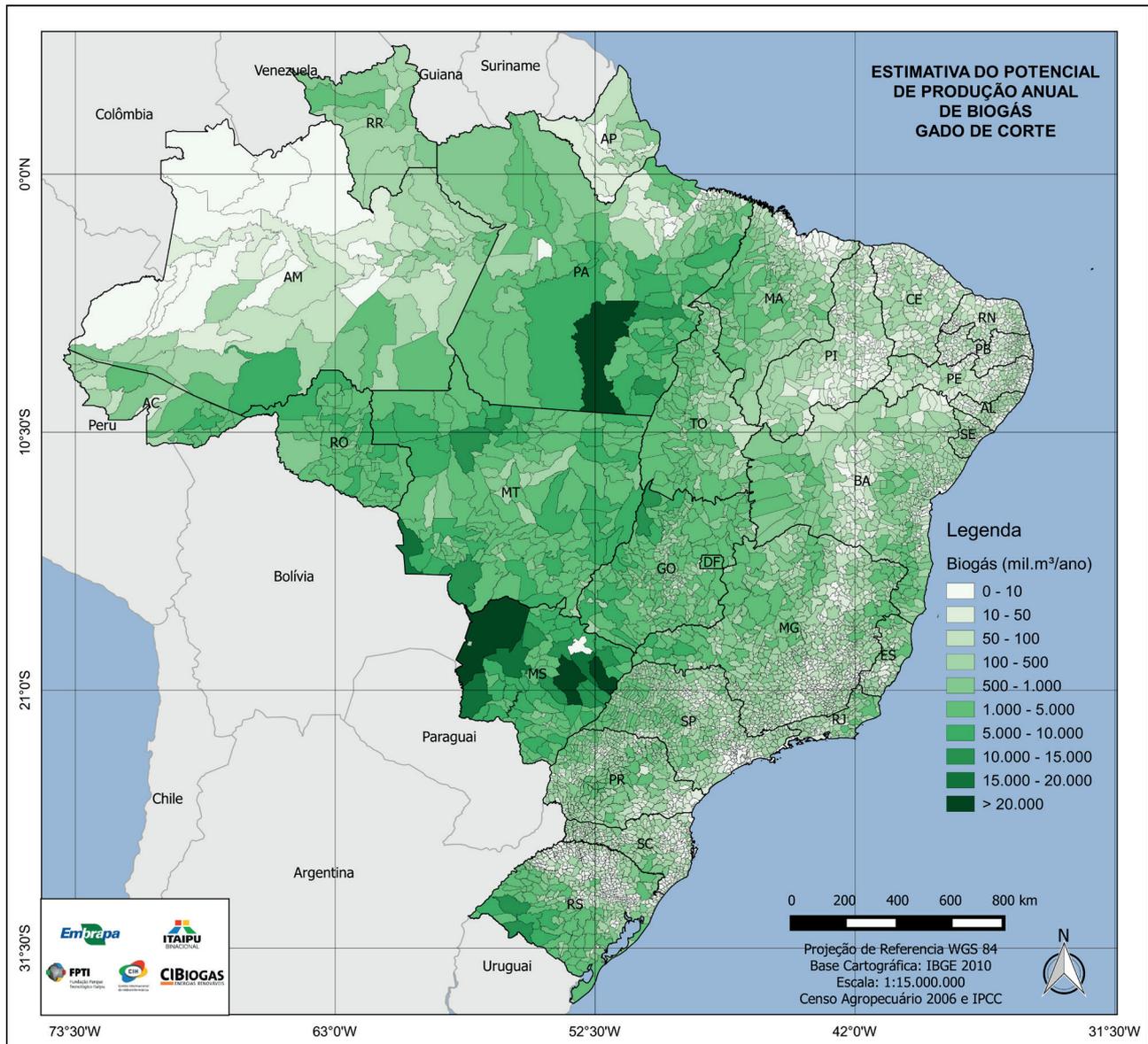


Figura 11. Distribuição geográfica dos potenciais de biogás a partir de dejetos de bovinos.

O pré-tratamento de biomassa para produção de biocombustível

O Brasil destaca-se como um grande produtor agrícola e exportador de alimentos, que representaram, em 2017, 5,7% do PIB, o equivalente a R\$ 70,29 bilhões (Brasil, 2017). A maior parte dessa riqueza é gerada no meio rural e contribui para o desenvolvimento dessas áreas e a redução das diferenças sociais.

As fontes de biomassa lignocelulósica, sejam elas cultivadas ou residuais, têm grande relevância mundial quando se discute geração de energia e produção de insumos químicos renováveis, incluindo biocombustíveis como o etanol e o metano.

Em sua aplicação mais direta, a biomassa lignocelulósica pode ser queimada para geração de energia. Por ser uma estrutura natural composta principalmente por grandes moléculas (macromoléculas), como a lignina e a celulose, existe muita energia armazenada nas suas ligações químicas, e que é liberada quando a biomassa é queimada. Um exemplo de sucesso no Brasil é a cana-de-açúcar, que, em 2016, teve produção de 670,6 milhões de toneladas, a partir das quais foram produzidos

38,9 milhões de toneladas de açúcar e 28,28 milhões de metros cúbicos de etanol. O bagaço de cana, um material lignocelulósico que resulta do processamento, é aproveitado em caldeiras de média e alta pressão, para gerar energia elétrica e vapor para consumo próprio no processo, e o excedente é vendido para a rede elétrica nacional. Essa energia produzida representa 11,6% da energia consumida no País, que é de 255.432×10^3 toneladas equivalentes de petróleo – tep (Empresa de Pesquisa Energética, 2017).

Também são desejáveis as aplicações com alto valor agregado para a biomassa, nas quais seus polímeros constituintes – a celulose, a hemicelulose e a lignina – são separados e direcionados a diferentes processos de conversão e dão origem a diferentes moléculas precursoras de produtos químicos, como biofertilizantes e materiais de uso não energético, além da aplicação energética, que é fundamental para o sucesso dos empreendimentos. Os produtos obtidos são renováveis e podem servir ou não como substitutos aos produtos obtidos de fontes fósseis. Além disso, agregase mais valor às matérias-primas do agronegócio, levando renda e emprego para o campo.

São exemplos do aproveitamento dos polímeros constituintes da biomassa lignocelulósica (Vaz Júnior, 2018): a glicose derivada da celulose convertida em etanol; a xilose derivada da hemicelulose convertida em xilitol e furfural; e os fenóis derivados da lignina utilizados na produção de adesivos e resinas. No caso da produção de etanol a partir da glicose derivada da celulose, estima-se que seja possível aumentar a produção de etanol no Brasil em 45% (CGEE, 2017).

O arranjo no qual se parte de uma ou mais biomassas lignocelulósicas e se passa por encadeamentos de processos visando à obtenção de vários produtos de interesse comercial é chamado de biorrefinaria. Esse conceito faz um paralelo com as refinarias de petróleo. Alguns autores consideram que somente dentro desse conceito seria possível viabilizar processos de obtenção de produtos químicos derivados de biomassa (Werpy; Petersen, 2004; Bozell et al., 2007).

As fibras da celulose são envoltas por hemicelulose e lignina, em um arranjo que garante sustentação e proteção (física, química e biológica) necessárias às diversas partes constituintes das plantas, sejam elas gramíneas ou árvores. A proporção relativa e a própria composição/estrutura dos três polímeros variam conforme o tipo planta. A recalcitrância que essa estrutura fornece ao material frente aos processos de conversão dificulta que seja atingida a sustentabilidade econômica, e esse é um dos motivos pelos quais ainda não se tem uma grande quantidade de plantas industriais em operação hoje (Bacovsky et al., 2013; Buckley, 2017).

Para a desconstrução da estrutura do material, são empregados processos de pré-tratamento que visam, em geral, à remoção da hemicelulose e lignina na forma de uma fração líquida, enquanto a celulose, mais interna na estrutura e resistente a degradação, é obtida como uma fração sólida. Usualmente são empregados processos físicos para redução/ajuste do tamanho da distribuição de tamanho de partículas, seguidos de processos químicos para atacar pelo menos um dos polímeros da estrutura. Os processos químicos utilizam altas temperaturas e pressões, na presença de água ou solventes, e podem valer-se ou não do uso de catalisadores. Entre os processos químicos de pré-tratamento, a auto-hidrólise e o organosolv são os mais simples; ambos trabalham em reator pressurizado com temperaturas entre 150 °C e 230 °C. Enquanto o primeiro utiliza uma mistura da biomassa com água, o segundo utiliza, além da água, um composto orgânico, que pode ser metanol, etanol ou acetona, como solvente para lignina (E4tech et al., 2015).

O processo de auto-hidrólise consiste em submeter a biomassa lignocelulósica e água a temperaturas da ordem de 150 °C a 230 °C, em reator fechado de alta pressão, sob agitação. Nessas condições a água se autoioniza e forma íons hidrônio, que atuam como catalisadores na reação com

hemicelulose, aos quais se junta o ácido acético formado, liberando xilose e xilo-oligossacarídeos, que se incorporam à fração líquida (Zhu et al., 2015). A celulose, a lignina e o remanescente da hemicelulose permanecem como fração sólida ao fim do processo. Em temperaturas mais brandas, há predominância de formação de xilo-oligossacarídeos (Vallejos et al., 2012); já em temperaturas mais elevadas, há predominância de xilose, e uma parte dela é convertida em furfural (Vargas et al., 2015). Para que a celulose esteja disponível para hidrólise enzimática, o processo deve ser conduzido em temperaturas acima de 180 °C, ou seja, a partir desse ponto, grande parte da hemicelulose é removida da biomassa (Hongdan et al., 2013, Yu et al., 2013, Gao et al., 2013, Zhu et al., 2015). Um detalhe importante é que parte da lignina removida volta a precipitar-se sobre as fibras de celulose, dificultando a etapa posterior de hidrólise enzimática (Gütsch et al., 2012).

A auto-hidrólise foi estudada na Embrapa sob a perspectiva de reaproveitamento de fração líquida (Carvalho, 2018) em reações em batelada sequenciais, realizadas em condição otimizada para o bagaço de cana-de-açúcar (192 °C, 38 min). Utilizando essa estratégia, foi possível economizar 63% da água que seria utilizada em cinco bateladas sequenciais, enquanto o rendimento da hidrólise enzimática manteve-se em torno de 62%, chegando a 36 g/L de glicose. A expectativa de que ao longo das reações sequenciais poderia haver acúmulo de compostos de valor agregado derivados da hemicelulose não foi confirmada. Cabe salientar que não foi possível detectar uma parte significativa da massa da hemicelulose removida e acumulada na fração líquida, pois o método utilizado só quantificou o monômero derivado da hemicelulose (xilose), e a maior parte dessa massa possivelmente estava na forma de xilo-oligossacarídeos. Os compostos identificados na fração líquida ao fim da quinta batelada foram: furfural (10 g/L), hidroximetilfurfural (HMF) (2 g/L) e ácido acético (16 g/L), xilose (1,5 g/L) e glicose (1,1 g/L).

Uma abordagem usada atualmente na Embrapa Agroenergia é submeter a fração líquida ao processo de biodigestão anaeróbia, no qual parte da carga orgânica é convertida em metano, e esse gás produzido é chamado de biogás (Ribeiro et al., 2017; Baêta et al., 2016a, 2016b). As aplicações tradicionais do biogás envolvem a geração de energia térmica e elétrica e, quando purificado, o gás pode ser empregado como combustível veicular. Aplicações mais avançadas envolvem seu uso no processo de reforma, para obtenção de gás de síntese, que, por sua vez, tem inúmeras outras aplicações industriais (Spath; Dayton, 2003). Um subproduto gerado no processo de biodigestão é o digestado, que tem aplicações como fertilizante na agricultura.

A literatura apresenta trabalhos de pré-tratamento aplicados a resíduos lignocelulósicos como forma de acelerar, às vezes até como forma de viabilizar, a produção de biogás (Janke et al., 2015; Simo et al., 2016), no entanto, é necessário estudar os balanços de massa e energia, de forma a avaliar aspectos econômicos do uso do pré-tratamento.

Cana energia e capim-elefante na produção de biomassa para energia

Gramíneas forrageiras com elevadas taxas de crescimento e produtoras de elevadas quantidades de biomassa rica em fibras e lignina, como o capim-elefante e a cana energia, podem aumentar a disponibilidade de biomassa em escala industrial, desde que tenham seu cultivo alinhado ao planejamento de plantio e colheita (Samson et al., 2005). Gramíneas forrageiras como capim-elefante (*Pennisetum purpureum Schum.*), cana energia (*Saccharum spp.*), além de outras dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria*, apresentam grande potencial como fontes de matéria-prima para a geração de energia no Brasil, tendo em vista a facilidade de cultivo e a amplitude de adaptação às condições ambientais (clima e solo) do País, e podem ser cultivadas em áreas marginais, onde outras culturas não são recomendadas (Souza; Silveira, 2006).

A inserção de gramíneas forrageiras tropicais como fontes de matéria-prima para finalidades energéticas, com destaque para o capim-elefante, pode desempenhar um papel estratégico na matriz energética nacional. Primeiramente, por ser uma ferramenta de descentralização da produção, permitindo a geração descentralizada de eletricidade e a produção de biocombustíveis em locais onde a construção de hidrelétricas ou o cultivo de biomassas tradicionais não é possível, seja por dificuldades logísticas ou por limitações edafoclimáticas.

O capim-elefante (*P. purpureum Schum.*) é uma das gramíneas mais importantes e difundidas em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo. É originária da África, onde ocorre naturalmente em vários países, desde a Guiné, no oeste, até Angola e Zimbábue, no sul, e Moçambique e Quênia, no leste africano, sob regimes de pluviosidade superiores a 1.000 mm/ano. A espécie foi descoberta em 1905 pelo Coronel Napier, porém, somente a partir de 1920 verificam-se registros sobre o seu uso como forrageira picada verde ou conservada. Entre as plantas forrageiras, o capim-elefante destaca-se como uma das espécies de maior potencial produtivo. Entretanto, vários fatores interferem na quantidade produzida, na perenidade e no valor nutritivo de matéria seca colhida, entre eles: cultivar utilizada, intervalo de cortes, altura de corte, fertilidade do solo, disponibilidade de água e nutrientes, luminosidade e temperatura.

Tanto o capim-elefante quanto a cana energia são espécies promissoras para a produção de biomassa, com potencial de produção anual superior a 45 toneladas de massa seca por hectare, além de serem capazes de se desenvolver em áreas marginais. Entretanto, uma das dificuldades do cultivo é a reduzida tolerância dessas espécies aos períodos de deficiência hídrica, que são comuns na maioria das áreas marginais de cultivo. Nesse sentido, uma das alternativas para reduzir o impacto da seca sobre as culturas e amenizar os custos com a irrigação, além da seleção e do uso de genótipos com características de tolerância ao déficit hídrico, é o manejo diferenciado para fins energéticos, que prevê menor número de cortes anuais.

O capim-elefante é reconhecidamente uma das gramíneas forrageiras de mais alto potencial produtivo, e adapta-se bem às condições de clima e solo de praticamente todo o Brasil. Trata-se de uma espécie semiperene que apresenta rápido crescimento de ciclo curto (6 meses), alto índice de perfilhamento e elevada eficiência fotossintética (metabolismo C4), com grande acúmulo de matéria seca (40 t/ha/ano a 45 t/ha/ano), além de boa capacidade de rebrota, retranslocação de nutrientes das raízes no fim do ciclo vegetativo e de otimização do uso da água do solo e da energia solar (Samson et al., 2005).

Entre os aspectos positivos do capim-elefante destacam-se:

- a) Rápido crescimento da parte aérea e do sistema radicular (ciclo de quatro a seis meses);
- b) Florescimento baixo ou ausente;
- c) Alto perfilhamento e alta capacidade de rebrota;
- d) Longevidade da socaria;
- e) Adaptação ao cultivo mecanizado.

A produção média de genótipos com potencial para uso energético, obtida a partir de resultados de experimentos conduzidos na região da Zona da Mata do estado de Alagoas, é superior a 150 t de matéria fresca, efetuando-se cortes semestrais. (Marafon et al., 2017).

A cana energia é um novo tipo de planta que, contrariamente à cana-de-açúcar tradicional, melhorada para produzir sacarose, é direcionada para a produção de biomassa rica em fibras (Matsuoka et al., 2014). São híbridos interespecíficos do gênero *Saccharum* com maior rusticidade e adaptabilidade a áreas agrícolas marginais (Violante, 2012). Comparada à cana-de-açúcar tradicional, que

apresenta constituição média com 75% de água, 13% de açúcares e 12% de fibras, são descritas duas categorias de cana energia: a do tipo I, com constituição média de 70% de água, 13% de açúcares e 17% de fibras, e a do tipo II, com 65% de água, 5% de açúcares e 30% de fibras (Tew; Cobill, 2008).

A cana energia apresenta-se como oportunidade para o setor canavieiro, principalmente por conta do aumento na produção de fibras, com ganhos na geração de excedentes elétricos (cogeração), bem como na produção de etanol celulósico, com os avanços e o domínio tecnológico dos processos industriais. Devido ao vigoroso sistema radicular e à presença de rizomas, a cana energia é tolerante ao pisoteio e pode ser colhida em período úmidos do ano (início e fim de safra). São pontos positivos da cana energia:

- a) Menor quantidade de mudas para o plantio, com elevada taxa de multiplicação (1:20);
- b) Maior resistência ao pisoteio, devido ao seu sistema radicular robusto;
- c) Alta produtividade e longevidade esperadas nos ciclos de socaria;
- d) Maior tolerância aos estresses bióticos (ataque de brocas e outras pragas de importância agrícola).

Entre os pontos negativos do cultivo da cana energia está a questão do florescimento precoce de alguns genótipos que, em condições climáticas específicas, têm seu crescimento significativamente reduzido. A obtenção e a manutenção de altos níveis de produtividade são os principais desafios da pesquisa com gramíneas energéticas.

O aproveitamento da energia de biomassa é uma plataforma complexa e dependente da oferta de matéria-prima com qualidade, da densidade de energia e da eficiência dos processos de conversão energética. São etapas cruciais do sistema de produção do capim-elefante e da cana energia o processo de colheita e a logística de transporte e armazenamento da forragem visando seu processamento para uso industrial.

Levando em conta os custos com transporte, na comparação da densidade da biomassa (kg/m^3) entre cana-de-açúcar, capim-elefante e cana energia, os valores encontrados em testes de colheita realizados na Usina Seresta de Teotônio Vilela (AL) foram de $217 \text{ kg}/\text{m}^3$, $180 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $120 \text{ kg}/\text{m}^3$, respectivamente. Cabe ressaltar que esses três tipos de planta apresentam diferentes teores médios de umidade (75%, 70%, 65%, respectivamente).

Além da questão da logística de transporte e de armazenamento da biomassa, os principais desafios a serem superados no cultivo de gramíneas forrageiras dizem respeito à identificação e recomendação de genótipos promissores para distintas regiões, à definição das melhores épocas de plantio e de colheita, do espaçamento entre linhas, da demanda hídrica e nutricional e de colhedoras forrageiras com plataformas adequadas.

Sorgo biomassa para a geração de energia elétrica

Atualmente, o sorgo biomassa tem sido considerado uma das mais importantes alternativas para a geração de energia por meio da queima da massa vegetal em caldeiras, em termelétricas ou usinas sucroenergéticas, em razão da sua elevada capacidade produtiva, em curto tempo, e do poder calorífico mediano gerado pela queima de sua biomassa. Contudo, como qualquer cultura industrial com elevado nível de utilização de sistemas mecanizados, os seus custos produtivos são impactantes para o estabelecimento de grandes empreendimentos.

Os custos podem ser discriminados nas seguintes etapas de custeio:

- 1) preparo do solo;
- 2) plantio;
- 3) condução da lavoura;
- 4) colheita e transporte;
- 5) industrial;
- 6) arrendamento e remuneração de capital.

As primeiras etapas estão relacionadas ao custo operacional e a última etapa refere-se à remuneração dos fatores (Tabelas 2, 3 e 4). Tais custos, no entanto, não se referem especificamente ao estado de RR, e levantamentos locais serão necessários.

Tabela 2. Custos de preparo do solo para plantio de sorgo biomassa, safra 2014/2015 (preparo convencional).

Operação	Descrição	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor de uso (R\$/ha)
Dessecação	Trator 120 cv	0,26	h/ha	97,24	25,28
	Glifosato	4	l/ha	17,86	71,46
Terraceamento	Trator 250 cv	0,50	h/ha	97,24	48,62
	Motoniveladora	0,50	h/ha	115,34	57,67
Gradagem pesada	Trator 250 cv	0,53	h/ha	97,24	51,54
	Grade aradora	0,53	h/ha	18,02	9,55
	31,8	29,5	500	281	148
Distribuição de calcário	Trator 120 cv	0,26	h/ha	97,24	25,28
	Calcário	3,50	t/ha	86,50	302,75
	Centrífugas	0,08	h/ha	44,30	3,54
Grade niveladora	Trator 120 cv	0,26	h/ha	97,24	25,28
	Grade niveladora	0,26	h/ha	18,02	4,69
Total					625,67

Tabela 3. Custos de plantio de sorgo biomassa, safra 2014/2015 (preparo convencional).

Operação	Recurso	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor de uso (R\$/ha)
Semeadura	Trator 250 cv	0,167	h/ha	203,84	34,04
	Plantadeira de 24 linhas	0,167	h/ha	847,40	141,52
Adubação	Fórmula 08-28-16	0,45	t/ha	991,46	446,16
Sementes		4,00	kg/ha	75,00	300,00
Total					921,71

A Tabela 5 trata dos custos vinculados a colheita e transporte. É importante ressaltar que o custo do transporte terceirizado do sorgo pode oscilar consideravelmente entre as regiões do País, e pode até mesmo constituir um gargalo. A Tabela 6 mostra os custos industriais da geração de energia.

Tabela 4. Custos da condução da lavoura de sorgo biomassa, safra 2014/2015 (preparo convencional).

Operação	Recurso	Rendimento valor	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor de uso (R\$/ha)
Aplicação de herbicida	Pulverizador autopropelido	0,018	h/ha	229,00	4,12
	Atrazina	3,00	l/ha	13,96	41,88
Primeira aplicação de defensivos	Pulverizador autopropelido	0,018	h/ha	229,00	4,12
	Lannate	1,000	l/ha	20,59	20,59
	Tracer	0,06	l/ha	834,14	50,05
Segunda aplicação de defensivos	Pulverizador autopropelido	0,018	h/ha	229,00	4,12
	Match	0,3	l/ha	65,09	19,53
	Premio	0,03	l/ha	1.127,72	28,19
Terceira aplicação de defensivos	Pulverizador autopropelido	0,018	h/ha	229,00	4,12
	Altacor	0,06	kg/ha	1.127,72	67,66
Adubação de cobertura	Trator 120 cv	0,08	h/ha	97,24	7,78
	Adebadeira a lança	0,08	h/ha	44,30	3,54
	Fórmula 20-00-20	0,35	t/ha	1.269,30	444,26
Dessecação	Avião – Pulverização aérea	0,05	h/v	360,00	18,00
	Roundup	3	l/ha	17,86	53,59
Total					R\$ 771,56

Tabela 5. Custos de colheita e transporte do sorgo biomassa, safra 2014/2015 (preparo convencional).

Operação	Recurso	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor de uso (R\$/ha)
Colheita e transporte	Serviço terceirizado	58,6	t	40,00	2.344,00
Total					2.344,00

Tabela 6. Custo industrial da produção de energia, safra 2014/2015 (preparo convencional).

Operação	Recurso	Rendimento	Unidade	Valor unitário (R\$)	Valor de uso (R\$/ha)
Geração de energia	Turbinas e geradores	88,60	MWh	20,00	1.771,95
Total					1.771,95

Como mencionado anteriormente, as etapas de custeio anteriores compõem o custo operacional de produção do sorgo biomassa. Para mensurar o custo de produção total, é necessário considerar a remuneração de fatores, terra e capital, assim como despesas administrativas.

Segundo orientação metodológica da Conab (2010), a remuneração da terra foi calculada considerando 3% do preço médio da terra na região. Para as despesas administrativas, foi considerado um valor médio de 6% sobre o custeio operacional. O cálculo do custo deste último foi feito a partir da taxa de 6% sobre a soma do custeio operacional, com o custo da terra e as despesas administrativas. Os custos estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7. Custos totais para produção de sorgo biomassa pelos sistemas de preparo convencional na safra 2014/2015.

Operação	Plantio convencional	Quantidade
	R\$/ha	%
Preparo do solo	625,67	7,89
Plantio	921,71	11,63
Tratos culturais	771,56	9,74
Colheita e transporte	2.344,00	29,58
Industrial	1.771,95	22,36
Custo operacional total	6.434,89	81,19
Remuneração da terra	655,75	8,27
Custo administrativo	386,09	4,87
Remuneração do capital	448,60	5,66
Custo total	7.925,33	100,00

No preparo convencional, o custo de produção total no valor de R\$ 7.925,33 por hectare foi estimado para a produção de 58,6 t de matéria seca com 60% de umidade, enquanto o custo operacional total foi de R\$ 6.434,89.

Considerando que, na média, 1 kg de massa seca de sorgo biomassa com 60% de umidade gera 1.300 kcal, os referidos custos de produção no preparo convencional relacionam-se à produção de 46.800.000 kcal/ha. Com base na taxa de conversão de 0,000001163 MWh/kcal, as 58,6 t de sorgo biomassa são capazes de produzir 88,60 MWh de energia. Assim, analisando a produção de energia por hectare plantado de sorgo e os custos de produção apresentados, o negócio passa a pagar os custos operacionais de produção a partir de R\$ 72,63/MWh, e os custos totais (que já incorporam um lucro básico com a remuneração da terra e do capital) com o valor da energia de R\$ 89,45/MWh, a partir do qual são obtidos lucros extraordinários (acima da média do mercado).

Uma das características do mercado atacadista de energia é a variabilidade temporal e regional dos preços, que podem prejudicar a rentabilidade, ou mesmo inviabilizar o negócio, dependendo da região e da época. Para ilustrar essa ideia, o limite superior dos preços da energia *spot* no Brasil no início de 2012 chegou a R\$ 12,20, o que não pagaria os custos agrícolas do sorgo biomassa em 2015, em ambos os cenários. Entretanto, esse preço limite de energia *spot* no Brasil nos primeiros cinco meses de 2015 foi de R\$ 388,48/MWh (a exceção é a região Norte), que, mantendo-se as demais variáveis constantes, configurou investimento que não somente pagou os custos agrícolas e também os industriais, mas também gerou resultado positivo. Vale lembrar que, em 2014, o valor do MWh chegou a ultrapassar a casa dos R\$ 800,00 em todas as regiões do País.

Capim-elefante para fins energéticos

A despeito do potencial de uso do capim-elefante, existem desafios a serem solucionados, os principais relacionados ao quadro agrícola, haja vista que: i) não existem cultivares de capim-elefante específicas para produção de energia; e ii) não existe modelo agrônomico (espaçamento, adubação, colheita, armazenamento da biomassa, etc.) definido com foco no uso energético do capim-elefante, sobretudo considerando seu plantio em larga escala.

Considerando esses desafios, ações de pré-melhoramento, como caracterização, avaliação e exploração da variabilidade disponível no germoplasma do capim-elefante, foram executadas por

Shimoya et al. (2002), Azevedo et al. (2012) e Rocha et al. (2017a), tanto no aspecto fenotípico quanto genotípico. Todos esses estudos verificaram a existência de variabilidade genética no capim-elefante, e esta é a premissa básica para o início de qualquer programa de melhoramento genético.

A Embrapa é o principal desenvolvedor de cultivares para o melhoramento genético de capim-elefante, e é referência mundial nas ações de pesquisa com a espécie. Os principais avanços desse programa de pesquisa foram o desenvolvimento de populações e clones com foco no uso forrageiro, que estão em fase final de registro e proteção, além do lançamento das cultivares Pioneiro, BRS Canará, BRS Kurumi e BRS Capiaçú, desenvolvidas para alimentação animal.

A Embrapa também é pioneira nos esforços de desenvolvimento de genótipos específicos para uso energético, e possibilitou a obtenção de híbridos de capim-elefante e incorporação de alelos de interesse para uso energético em genótipos de elite. Contudo, é necessário ampliar os esforços de desenvolvimento e adaptação de cultivares específicas aos diferentes usos energéticos e às diferentes condições ambientais brasileiras.

O conhecimento da composição específica dos componentes macromoleculares e das características físicas e químicas de cada biomassa são os fatores que irão direcionar os processos de conversão energética e aperfeiçoar a tecnologia de produção de biocombustíveis (McKendry, 2002; Nogueira; Lora, 2003). Nos processos de geração e cogeração de energia (combustão, gaseificação e pirólise) devem ser levados em consideração: análise imediata (umidade, cinzas, matéria volátil e carbono fixo); análise elementar (carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio); presença de enxofre e cloro; e poder calorífico superior e inferior (Pronobis, 2006).

Para produção de biometano e etanol celulósico, deve-se caracterizar as macromoléculas de celulose, hemicelulose e lignina presentes na biomassa, além do potencial de produção do biocombustível, haja vista a influência direta desses componentes na eficiência do processo de produção de biocombustíveis (McKendry, 2002). Vale destacar que o ideótipo de planta para esses usos assemelha-se aos desejados para alimentação animal.

Em relação à implantação e ao estabelecimento da cultura, o capim-elefante pode ser propagado por propágulos sexuais (sementes) ou propágulos vegetativos, e esta última é a forma mais usual. Como forrageira, o cultivo do capim-elefante sempre foi praticado em áreas restritas (capineiras), nas quais a propagação vegetativa não constitui dificuldade relevante. Contudo, há grandes limitações ao seu cultivo em áreas extensivas, haja vista o volume de material propagativo necessário, o elevado custo de transporte e a dificuldade de armazenamento visando esperar o momento ideal de plantio. Da mesma forma, para consolidar a produção comercial dessa cultura em larga escala, ainda existe carência de tecnologias no que diz respeito ao manejo agrônomo, como espaçamento e adubação, e aos processos de colheita, armazenamento e processamento da biomassa.

Os principais resultados de pesquisa relacionados ao uso do capim-elefante para fins energéticos serão apresentados buscando um paralelo com a oportunidade de cultivo no estado de Roraima. Nesse sentido, a avaliação de clones do Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante indicou produtividade média de 27 t/ha/ano de biomassa seca (BS). As maiores produtividades foram observadas nas cultivares BRS Capiaçú (47 t/ha/ano de BS) e BAGCE 2 (42 t/ha/ano de BS). Nos ensaios da rede de avaliação de acessos e clones de capim-elefante têm destaque as cultivares BRS Capiaçú, com potencial produtivo de até 84 t/ha/ano de BS, Madeira, com 81 t/ha/ano de BS, e Cameroon Piracicaba, com 67 t/ha/ano de BS. Em relação ao estado de Roraima, apenas um estudo foi encontrado na literatura (Braga, 2002) para as condições de Boa Vista (Campo Experimental

Água Boa), com produtividade média de 19 t/ha/ano de BS e destaque para o acesso Guaçu (22 t/ha/ano de BS), um ponto de partida para aumentos de produtividade.

Quanto ao potencial de produção de metano a partir da biomassa do capim-elefante, os resultados obtidos experimentalmente indicam que é possível obter um inóculo mesofílico anaeróbico que atenda as normas técnicas de produção de metano a partir de amostras de capim-elefante. As cultivares BRS Capiáçu e BAGCE 57 são as que apresentam maior potencial de uso como matéria-prima para produção de biogás: resultados preliminares indicam produção de biogás na matéria seca de 607,4 m³/t, considerando amostra da planta, e de 530,6 m³/t na silagem da cultivar BRS Capiáçu.

Gramíneas nativas de Roraima como fonte de energia renovável

O estado de Roraima tem área de 224.300 km², dos quais em torno de 40.000 km² são cobertos por vegetação de cerrado, onde predomina uma cobertura de gramíneas. A mais comum é a espécie *Trachypogon plumosus*, que ocorre nas áreas não inundáveis e planas. Essas áreas são predominantemente utilizadas na pecuária extensiva, com baixos índices zootécnicos em razão do baixo valor nutritivo do capim nativo.

Em geral, as áreas de cerrado apresentam um período de chuvas bem definido e relativamente curto, da segunda quinzena de abril até o mês de agosto. A partir de setembro, as chuvas normalmente são esparsas e em volume bem menor, de forma que o capim, após esse período de chuva, inicia um processo de perda de umidade contínuo, que se acentua nos meses de janeiro, fevereiro e março, em razão da ocorrência de ventos fortes e constantes.

Devido à baixa umidade desse capim, a ocorrência de incêndios é frequente no período de dezembro e janeiro até o início do período das chuvas, o que é agravado pelos fortes ventos que ajudam a propagar o fogo e dificultam o seu controle.

O corte e a utilização desse capim nos meses de outubro, novembro e dezembro poderiam diminuir a ocorrência de incêndios, evitando prejuízos ambientais, principalmente à fauna da região. Em vista disso, procurou-se fazer um levantamento de informações que auxiliem na avaliação do potencial do capim *T. plumosus* para a geração de energia. Vale enfatizar que não foi verificada a questão da legislação vigente no País, o que teria de ser feito antes de qualquer iniciativa nesse sentido.

O uso do capim nativo para fins energéticos apresenta pontos positivos e negativos. O principal ponto positivo seria a possível redução do problema de fogo nos cerrados de Roraima, uma vez que a massa seca disponível para queima seria consideravelmente reduzida. Isso traria benefícios para a flora e fauna da região e evitaria o lançamento, na atmosfera, de grande quantidade de gases de efeito estufa. O principal ponto negativo seria o enfraquecimento contínuo, provavelmente em ritmo mais acelerado do que o provocado pelo fogo, dos solos dos cerrados, uma vez que nutrientes estariam sendo retirados do solo, na forma do capim cortado, e não estariam sendo repostos. O esgotamento do solo poderia ocorrer em ritmo mais acelerado. Entretanto, esse inconveniente poderia ser contornado com o uso de adubações de manutenção, com a finalidade de repor os nutrientes exportados pela retirada do capim.

Estudos conduzidos por Costa et al. (2013) verificaram que, nos meses de chuva, após 62 dias do corte ou pastejo, a produção de *T. plumosus* é de aproximadamente 1.200 kg de matéria seca por hectare. Considerando o mesmo poder calorífico do sorgo biomassa, ou seja, em torno de 1.300 kcal/kg, e considerando a taxa de conversão de 0,000001163 MWh/kcal (Miranda; May, 2016), seria

possível gerar 1,8 MWh a partir do capim colhido em 1 ha. Para garantir a geração de 40 MW de energia seriam necessários em torno de 534 ha de capim nativo diariamente. Considerando que uma mesma área somente seria cortada novamente após 62 dias e que o corte seria feito ao longo de todo o ano, seriam necessários, no mínimo, 33.108 ha de cerrado. Considerando que o corte seria feito apenas uma vez por ano em cada área, seriam necessários 194.910 ha.

O uso, por exemplo, de uma cultivar de última geração de sorgo energia, poderia produzir 45 t de matéria seca por hectare, de forma que seria necessário, para a mesma produção de biomassa, o corte diário de apenas 14,3 ha. Considerando apenas um corte por área durante o ano, seriam necessários 5.219 ha para produzir a quantidade de matéria seca necessária para o ano todo.

Apesar de o capim nativo ser uma matéria-prima abundante e disponível em Roraima, as grandes distâncias que deveriam ser percorridas para sua utilização com fins energéticos poderiam inviabilizar o seu uso para essa finalidade. No entanto, o capim nativo poderia ser usado na formação de um estoque regulador.

Apesar da dificuldade no setor de energia, uma vez que Roraima ainda não está interligado ao sistema nacional, o estado apresenta potencial para a produção de grãos em função de vários fatores, entre os quais o período no qual a produção ocorre (entressafra das demais regiões produtoras do País), as possibilidades de escoamento da produção por meio de portos na Guiana e na Venezuela, o baixo preço da terra no estado, a facilidade de abertura de área para cultivo nas regiões de lavrado (vegetação arbustiva de baixa densidade) e os incentivos fiscais oferecidos na região.

Gargalos também se apresentam: o custo dos insumos, trazidos de fora do estado; a titulação das terras, que ainda não está totalmente solucionada; e a questão energética, uma vez que Roraima ainda não está interligada ao Sistema Interligado Nacional de energia elétrica. Com segurança energética e aumento da área plantada, fornecendo matéria-prima mais abundante, novas indústrias seriam instaladas na capital Boa Vista, com o fim de agregar valor à produção local, e proporcionariam crescimento econômico e social substancial para a região.

Considerações finais

Esta publicação é fruto de um esforço conjunto de um grupo diverso de estudiosos do estado de Roraima, de culturas agrícolas potenciais para uso energético, de processos biotecnológicos e de aspectos de infraestrutura e condições climáticas. Grande parte dos temas tratados aqui pode ser considerada em outros estados ou regiões do País. Assim, pretende-se oferecer ao público uma abordagem multidisciplinar na área de energia renovável, com grande apelo de desenvolvimento regional e rural.

Ainda é inicial o debate sobre a produção agrícola exclusiva destinada à produção de biogás e biofertilizante no Brasil. Esse tema deve aumentar de importância à medida que novos projetos surjam e também em face da necessidade de aumento de geração de energia descentralizada. É mais uma oportunidade para a agricultura e a pecuária comporem novas cadeias produtivas com a agroindústria e a geração de energia.

Referências

- AGÊNCIA BRASIL. **MME abre consulta pública para leilão de energia em Roraima**. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-10/mme-abre-consulta-publica-para-leilao-de-energia-em-roraima>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). **Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015**. Disponível em: <<http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/janeiro&item=ranp-8--2015>>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Atualizada até a Resolução Normativa nº 725 de 7 de junho de 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876406/2016_ResolucaoNormativa4142010.pdf/5b1de1cd-d36f-4009-852a-8def3eeb0a4e>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL acompanha geração continuada de térmicas em Roraima**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-acompanha-geracao-continuada-de-termicas-em-roraima/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 15 out. 2018.
- ASSOCIATION FOR TECHNOLOGY AND STRUCTURES IN AGRICULTURE (KTBL). **The Online European Feedstock Atlas basis version**. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Disponível em: <<https://daten.ktbl.de/euagrobiogasbasis/startSeite.do;jsessionid=BED98A3788D14852802BBEC18BA35F52>>. Acesso em: 30 mar. 2019.
- AZEVEDO, A. L. S.; COSTA, P. P.; MACHADO, J. C.; MACHADO, M. A.; PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. S. Cross-species amplification of *Pennisetum glaucum* microsatellite markers in *Pennisetum purpureum* and genetic diversity of Napier grass accessions. **Crop Science**, v. 52, p. 1776-1785, 2012.
- BACOVSKY, D.; LUDWICZEK, N.; OGNISSANTO, M.; WÖRGETTER, M. Status of advanced biofuels demonstration facilities in 2012. **IEA Bioenergy**, n. T39-P1b, mar. 2013. (A Report to IEA Bioenergy Task, 39).
- BAÊTA, B.; LIMA, D.; ADARME, O.; GURGEL, L.; AQUINO, S. Optimization of sugarcane bagasse autohydrolysis for methane production from hemicellulose hydrolyzates in a biorefinery concept. **Bioresource Technology**, v. 200, p. 2016, 137–146, 2016a.
- BAÊTA, B.; LIMA, D.; FILHO, J.; ADARME, O.; GURGEL, L.; AQUINO, S. (2016b). Evaluation of hydrogen and methane production from sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysates by two-stage anaerobic digestion process. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 2016, 436–446, 2016b.
- BOZELL, J.; HOLLADAY, J.; WHITE, J.; MANHEIN, A. **Top Value Added Chemicals from Biomass**. Volume II - Results of Screening for Potential Candidates from biorefinery lignin. Tennessee: Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) and National Renewable Energy Laboratory (NREL). U.S. Department of Energy, 2007. 79 p.
- BRAGA, R. M. **Manejo e variedades de capim elefante para Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2002. 4 p. 2002. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 17).
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agropecuária puxa o PIB de 2017**. Disponível em: <agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>. Acesso em: 9 abr. 2018.
- BUCKLEY, P. **IEA Bioenergy**. Annual Report. IEA Bioenergy, 2017. Disponível em: <<http://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/04/IEA-Bioenergy-Annual-Report-2017.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.
- CARVALHO, F. B. P. **Pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar por autohidrólise, com ênfase na reutilização de água**. 2018. 74 f. Dissertação de (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Tecnologias Química e Biológica, Universidade de Brasília, DF.
- CASTRO, G. S. A.; MAGALHÃES, L. A.; FONSECA, M. F.; HOMMA, A. K. O.; DE MIRANDA, E. E. Inteligência territorial para o desenvolvimento agropecuário de Roraima. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, v. 45 n. 3, p.76-94, set./dez. 2016.
- CGEE. Centro de Gestão e Estudo Estratégicos. **Second-generation sugarcane bioenergy & biochemicals: advanced low-carbon fuels for transport and industry**. Brasília – DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017.

COSTA, N. DE L.; MORAES, A. DE; CARVALHO, P. C. DE F.; MONTEIRO, A. L. G.; SILVA, A. L. P.; OLIVEIRA, R. A. de. Produtividade de forragem e morfogênese de *Trachypogon plumosus* nos cerrados de Roraima. **Amazônia: Ciência e Desenvolvimento**, Belém, v. 8, n. 16, p. 65-80, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sistema de Informações Geográficas da Mineração SIGMINE**. Disponível em: <<http://sigmine.dnrm.gov.br/webmap/>>. Acesso em: 14 maio 2015.

E4TECH; RE-CORD; WUR. **From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals**: final report for the European Commission Directorate-General Energy. European Commission, ap. 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018. 292 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2017**: ano base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

GAO, Y.; XU, J.; ZHANG, Y.; YU, Q.; YUAN, Z.; LIU, Y. Effects of different pretreatment methods on chemical composition of sugarcane bagasse and enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 144, p. 396-400, 2013.

GUIMARAES, D. P.; LANDAU, E. C. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil em 2013**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 40 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 106).

GÜTSCH, J. S.; NOUSIAINEN, T.; SIXTA, H. Comparative evaluation of autohydrolysis and acid-catalyzed hydrolysis of *Eucalyptus globulus* wood. **Bioresource Technology**, v. 109, p. 77-85, 2012.

HONGDAN, Z.; SHAOHUA, X.; SHUBIN, W. Enhancement of enzymatic saccharification of sugarcane bagasse by liquid hot water pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 143, p. 391-396, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 04 abr. 2019a.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 15 mar. 2019b.

IBGE. **Produção Pecuária Municipal (PPM)**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>>. Acesso em: 15 mar. 2019c.

JANKE, L.; LEITE, A.; NIKOLAUSZ, M.; SCHMIDT, T.; LIEBETRAU, J.; NELLES, M.; STINNER, W. Biogas Production from Sugarcane Waste: assessment on Kinetic Challenges for Process Designing. **International Journal of Molecular Science**, v. 16, p. 20685-20703, 2015.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; MACHADO, J. C.; GUIMARÃES, V. S.; **Produção de biomassa em gramíneas tropicais com potencial energético**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 19 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 132).

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; SANTOS, E. G. D.; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. S. Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, Cairo, v. 1, p. 1-13, 2014.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, n. 1, v. 83, p. 37-46, 2002.

MIRANDA, R. A. DE; MAY, A. **Análise dos custos de produção do sorgo biomassa para a geração de energia elétrica e sorgo sacarino para a produção de etanol e energia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 12 p. (Circular Técnica, 216).

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia**: fundamentos e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 p.

PARAHYBA, R. E. **Calcário agrícola**. 2009. Disponível em: <<http://www.simineral.org.br/arquivos/EconomiaMineraldoBrasil2009CalcarioDNPM.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2016.

PRONOBIS, M. The influence of biomass co-combustion on boiler fouling and efficiency. **Fuel**, v. 85, n. 4, p. 474-480, 2006.

QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 4 p. (Circular Técnica, 8).

- RIBEIRO, F.; PASSOS, F.; GURGEL, L.; BAËTA, B.; DE AQUINO, S. Anaerobic digestion of hemicellulose hydrolysate produced after hydrothermal pretreatment of sugarcane bagasse in UASB reactor. **Science of the Total Environment**, v. 584, p. 1108–1113, 2017.
- ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; PEREIRA, A. V.; CARNEIRO, J. E. S. Elephant grass ecotypes for bioenergy production via direct combustion of biomass. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 27-32, 2017.
- SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HOLEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Chicago, v. 24, p. 461-495, 2005.
- SHIMOYA, A.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, R. P.; PEREIRA, A. V.; CARNEIRO, P. C. S. Divergência genética entre acessos de um banco de germoplasma de capim elefante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n.7, p. 971-980, 2002.
- SIMO, W. S. F.; JONG, E. N.; KAPSEU, C. (2016). Improving biogas production of sugarcane bagasse by hydrothermal pretreatment. **Chemical and Biomolecular Engineering**, n. 1, v. 1, p. 21–25, 2016.
- SOUZA, F. H. D.; SILVEIRA, G. C. A palhada residual da produção de sementes de capins tropicais no Brasil. In: SOUZA, F. H. D.; POTT, E. B.; PRIMAVERSI, O.; BERNARDI, A. C. de C.; RODRIGUES, A. de A. (Ed.). **Usos alternativos da palhada residual da produção de sementes de pastagens**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. p. 13-28.
- SPATH, P. L.; DAYTON, D. C. **Preliminary Screening** — Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas. Colorado, US: Technical Report NREL, 2003.
- TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum spp.*) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. New York: Springer, 2008. cap. 9, p. 249-272.
- VALLEJOS, M. E.; ZAMBON, M. D.; AREA, M. C.; CURVELO, A. A. S. Low liquid–solid ratio (LSR) hot water pretreatment of sugarcane bagasse. **Green Chemistry**, v. 14, p. 1982-1989, 2012.
- VARGAS, F.; DOMÍNGUEZ, E.; VILA, C.; RODRÍGUEZ, A.; GARROTE, G. (2015). Agricultural residue valorization using a hydrothermal process for second generation bioethanol and oligosaccharides production. **Bioresource Technology**, v. 191, p. 263–270, 2015.
- VAZ JÚNIOR, S. (Ed.). **Biomass and Green Chemistry**: – Building a renewable pathway. Springer International Publishing, 2018.
- VIOLANTE, M. H. S. R. **Potencial de produção de cana-energia em áreas agrícolas marginais no Brasil**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Fundação Getúlio Vargas, Escola de Economia de São Paulo.
- WERPY, T.; PETERSEN, G. **Top Value Added Chemicals from Biomass**. Volume I - Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas. Tennessee: U.S. Department of Energy, 2004. 76 p.
- YU, Q.; ZHUANG, X.; LV, S.; HE, M.; ZHANG, Y.; YUAN, Z.; QI, W.; WANG, Q.; WANG, W.; TAN, X. Liquid hot water pretreatment of sugarcane bagasse and its comparison with chemical pretreatment methods for the sugar recovery and structural changes. **Bioresource Technology**, v. 129, p. 592–598, 2013.
- ZHU, M. Q.; WEN, J. L.; SU, Y. Q.; WEI, Q.; SUN, R. C. Effect of structural changes of lignin during the autohydrolysis and organosolv pretreatment on *Eucommia ulmoides* Oliver for an effective enzymatic hydrolysis. **Bioresource Technology**, v. 185, p. 378-385, 2015.

