

Frequência de corte em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos



**OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL**

7 ENERGIA LIMPA
E ACESSÍVEL



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
146**

**Frequência de corte em genótipos
de capim-elefante na produção de
biomassa para fins energéticos**

*Anderson Carlos Marafon
Juarez Campolina Machado
André Felipe Câmara Amaral
Victor dos Santos Guimarães
Jonas Paulino dos Santos*

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2019

Unidade responsável pelo conteúdo e edição: Comitê Local de Publicações da Unidade Responsável

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Avenida Beira Mar, nº 3250
CEP 49025-040, Aracaju, SE
Fone: +55 (79) 4009-1300
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Presidente
Ronaldo Souza Resende

Secretário-Executivo
Ubiratan Piovezan

Membros
Amaury da Silva dos Santos
Ana da Silva Lédo
Anderson Carlos Marafon
Joézio Luiz dos Anjos
Julio Roberto Araujo de Amorim
Lizz Kezzy de Moraes
Luciana Marques de Carvalho
Tânia Valeska Medeiros Dantas
Viviane Talamini

Supervisão editorial
Flaviana Barbosa Sales

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Aline Gonçalves Moura

Foto da capa
Anderson Carlos Marafon

1ª edição
Publicação digitalizada (2019)

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 Tabuleiros Costeiros

Frequência de cortes em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos / Anderson Carlos Marafon... [et al.]. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019.

34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961; 146).

1. Capim-elefante. 2. Gramínea. 3. Biomassa. I. Marafon, Anderson Carlos. II. Machado, Juarez Campolina. III. Amaral, André Felipe Câmara. IV. Guimarães, Víctor dos Santos. V. Santos, Jonas Paulino dos. VI. Série.

CDD 633.2 Ed. 21

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Produção de biomassa da parte aérea	13
Acúmulo de palhada remanescente.....	16
Qualidade energética da biomassa.....	19
Estimativas dos custos de produção do capim-elefante	21
Conclusões.....	31
Referências	32

Frequência de corte em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos

Anderson Carlos Marafon¹

Juarez Campolina Machado²

André Felipe Câmara Amaral³

Victor dos Santos Guimarães⁴

Jonas Paulino dos Santos⁵

Resumo – A biomassa do capim-elefante pode ser uma opção viável de matéria-prima para geração de energia termelétrica, sendo que a frequência de corte é determinante sobre a produtividade e a qualidade da biomassa, além de influenciar diretamente na capacidade de rebrota e a longevidade desta gramínea. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de duas frequências de corte, anual e semestral, de três genótipos de capim-elefante, sobre a produção e a qualidade energética da biomassa, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Foram avaliados três acessos de capim-elefante, sendo uma cultivar BRS Capiaçú e duas variedades: Pasto Panamá e Madeira. Os tratamentos consistiram em três genótipos e duas frequências de corte: (1) um corte anual (março/2019) e (2) dois cortes anuais (setembro/2018 e março/2019). Foram avaliadas as produções de biomassa (fresca e seca) da parte aérea e da palhada remanescente, bem como características de qualidade energética como poder calorífico superior, teores de cinzas, densidade básica e densidade energética. Também foram estimados os custos de produção da biomassa forrageira em cada regime de corte. A frequência de corte afetou a produção anual de biomassa fresca e a qualidade energética

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

³ Químico, mestre em Química Orgânica, analista da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP-Rio Largo), Rio Largo, AL.

⁴ Engenheiro-agrônomo, Maceió, AL.

⁵ Estudante de Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL.

da forragem dos genótipos de capim-elefante. Os genótipos submetidos à apenas um corte apresentam produções anuais de biomassa fresca entre 96,1 t ha⁻¹ e 117,5 t ha⁻¹, enquanto aqueles manejados com dois cortes apresentam produções anuais de 124,4 t ha⁻¹ a 143,1 t ha⁻¹. A frequência de um corte anual proporciona menores teores de cinzas e maior densidade energética à biomassa do capim-elefante. Embora a produção de biomassa obtida com dois cortes anuais seja maior do que com um apenas um corte, os custos de produção são similares.

Termos para indexação: biomassa lignocelulósica, manejo de corte, produtividade, qualidade energética, custos de produção.

Harvest Frequencies and biomass production of elephant grass genotypes at Coastal Tablelands of Alagoas

Abstract – Elephant grass biomass can be a viable option for thermoelectric power generation, and the cutoff frequency is crucial for biomass productivity and quality, as well as directly influencing the regrowth capacity and longevity of this grass. The objective of this work was to evaluate the effects of two cut frequencies (annual and semiannual) on biomass production and energy quality of three elephant grass genotypes grown in the Alagoas Coastal Tablelands region. Three elephant grass genotypes were evaluated: one cultivar BRS Capiaçú and two varieties, Pasto Panamá and Madeira. The treatments consisted in three genotypes and two annual cutoff frequencies: (1) one (March/2019) and (2) two cuts (September/2018 and March/2019). The biomass yields (fresh and dry) of the aerial part and the remaining straw, as well as, energy quality characteristics such as High Heat Value, ash content, basic density and energy density were evaluated. In addition, forage biomass production costs were estimated for each harvest regime. The frequency of cut affected the annual production of fresh biomass and the energetic quality of forage of elephant grass genotypes. Elephant grass genotypes submitted to only one annual cut yield annual fresh biomass yields between 96.1 t ha⁻¹ and 117.5 t ha⁻¹, while genotypes managed with two annual cuttings yield yields between 124.4 ha⁻¹ and 143.1 ha⁻¹. The annual cutting frequency provided lower ash content and higher energy density for elephant grass biomass. Although the production of biomass obtained with two cuts is higher than with an annual cut, production costs are similar.

Index terms: lignocellulosic biomass, cutting management, productivity, energy quality, production costs.

Introdução

A procura por fontes alternativas às energias fósseis tornou-se crucial para o futuro do desenvolvimento econômico mundial. O Brasil, mesmo apresentando uma parcela expressiva da sua oferta interna de energia advinda de fontes renováveis (mais de 45% do total em 2018), tem potencial de aumentar a oferta de energia limpa e renovável (Empresa de Pesquisa Energética, 2019). A presença de importantes bacias hidrográficas, de regimes de ventos e insolação favoráveis e de características edafoclimáticas propícias à produção de biomassa, favorecem a inserção das fontes hidráulica, eólica, solar e biomassa na matriz elétrica nacional (Goldemberg, 2009).

A participação da biomassa na produção de energia termelétrica tem se tornado cada vez mais significativa no Brasil. No ano de 2018, a bioeletricidade respondeu por cerca de 8,5% da oferta interna de energia elétrica do país, com destaque para o setor sucroenergético, que contribuiu com mais de 81% desse total (tanto para consumo próprio quanto para a geração de excedentes elétricos), utilizando o bagaço de cana como fonte matéria-prima. Das 369 usinas a biomassa de cana-de-açúcar em operação em 2018, 200 unidades comercializaram eletricidade. Outro aspecto interessante de ser observado é que, nesse mesmo ano, houve um considerável aumento da participação de outras biomassas (exceto cana) na exportação de energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN), passando de 17% da composição total da energia em 2013 para 19% em 2018. Dentre estas outras biomassas destacaram-se: licor negro, biogás, resíduos florestais, capim-elefante, carvão vegetal, casca de arroz, gás de alto-forno e lenha (Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

A cogeração é de grande interesse para o setor industrial brasileiro, principalmente a agroindústria canavieira, que passa grande parte do ano com toda sua estrutura inoperante. Neste aspecto, cabe aqui ressaltar que a adição de combustíveis sólidos ao bagaço para geração de energia termelétrica pode aumentar a quantidade de energia gerada, bem como a estabilidade do seu fornecimento (Mauad; Ferreira; Trindade, 2017).

A biomassa proveniente de cultivos dedicados de gramíneas energéticas pode servir como fonte de matéria-prima complementar para produção de energia térmica e elétrica (cogeração), proporcionando vantagens econômicas por ampliar o período de exploração industrial das usinas, gerando re-

ceitas adicionais com a comercialização de excedentes elétricos. Dentre as gramíneas tropicais com elevado potencial de rendimento, o capim-elefante se apresenta como uma das mais promissoras fontes incrementais de biomassa (Samson et al., 2005).

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) tem sido apontado por muitos autores como uma alternativa sustentável de biomassa para uso como insumo energético em diferentes aplicações tais como: geração de energia térmica, produção de pellets e briquetes, de biogás e/ou de etanol celulósico (Rocha et al., 2017; Marafon et al., 2016; Fontoura; Brandão; Gomes, 2015; Quesada et al., 2004). Trata-se de uma espécie perene de propagação vegetativa, que apresenta ciclo curto (5 e 7 meses), alto índice de perfilhamento, rápido crescimento e expansão foliar nos primeiros meses após o plantio ou corte. Segundo Hanna et al. (2004), o capim-elefante apresenta uma rápida expansão foliar nos primeiros meses após o plantio, desenvolvendo-se melhor em áreas com precipitações acima de 1000 mm anuais e temperatura variando de 30 °C a 35 °C. Suas rebrotas são capazes de se manterem viáveis por mais de 5 anos, dependendo do manejo agrônomico e das condições edafoclimáticas de cada região (Lira et al., 2010).

No Brasil, o capim-elefante é cultivado em todo o território nacional, sendo tradicionalmente explorado para fins de alimentação animal, onde se busca alta produção de forragem rica em proteína e baixos conteúdos de fibras e lignina. Ao contrário, nos cultivos destinados à produção de biomassa energética buscaram-se elevadas proporções de fibras e lignina (Marafon et al., 2016). Conforme constataram Na et al. (2016), a biomassa do capim-elefante apresenta elevada concentração de lignina, da ordem de 204 mg g⁻¹ a 291 mg g⁻¹, o que lhe confere elevado poder calorífico.

A frequência de corte afeta a produtividade e a persistência de gramíneas cultivadas, por isso, o manejo adequado é preponderante para garantir maiores rendimentos e o sucesso do seu cultivo. No caso da exploração do capim-elefante para fins de alimentação animal, podem ser realizados de 3 a 4 cortes ao ano (Lira et al., 2010). Já, no cultivo para finalidades energéticas, admite-se que o corte deva ser realizado com frequência mínima semestral, sendo necessário definir a melhor época do ano, levando-se em conta o regime de chuvas de cada região, bem como a viabilidade do uso da irrigação suplementar, com vistas a garantir elevadas produções de biomassa e a lon-

gevidade das socarias, sem perda de vigor das rebrotas. Neste sentido, cabe salientar que a sazonalidade de produção, decorrente da restrição hídrica ou das baixas temperaturas, é um fator característico marcante nas áreas de cultivo, e que afeta a produção e a longevidade das capineiras.

Tendo em vista que os dados que descrevem os efeitos da frequência de corte sobre a produtividade e a persistência do capim-elefante cultivado para fins energéticos são limitados, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de duas frequências de corte (anual e semestral) de três genótipos de capim-elefante sobre a produção e a qualidade energética da biomassa nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

Dessa forma, esta pesquisa contribui para o Brasil alcançar a meta que visa “assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis a serviços de energia”, prevista no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 — Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia, para todos — da Agenda 2030 da ONU.

Material e Métodos

O experimento foi implantado no início do mês de abril de 2018 em área pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (Ceca) da Universidade Federal de Alagoas (Ufal), situado no município de Rio Largo, estado de Alagoas, cujas coordenadas geográficas são: 9°28'29"S (Latitude), 35°49'43,6"W (Longitude) e altitude média 130 m (Figura 1).



Foto: Anderson C. Marafon

Figura 1. Implantação do experimento na área do Ceca/Ufal. Rio Largo, AL, 2018.

As condições climáticas ocorridas em cada fase de avaliação durante o período experimental encontram-se descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados climatológicos durante o período experimental. Rio Largo, AL, 2019.

Período	Temperatura atmosférica (° C)	Umidade relativa do ar (%)	Radiação solar global (MJ m ² dia ⁻¹)	Precipitação pluviométrica (mm)
Abr./18 a Set./18	23,4	81,1	16,7	811,6
Set./18 a Mar./19	25,7	76,4	21	396,1
Total Anual	24,5	78,8	18,9	1.207,7

Dados: Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA) – Ceca/Ufal.

Com base na análise do solo (Tabela 2) foi efetuada a adubação da área, diretamente nos sulcos de cultivo, mediante a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de fertilizante NPK na formulação 08-22-20.

Tabela 2. Análise química do solo da área experimental. Rio Largo, AL, 2019.

Camada do perfil	Nutrientes minerais				Atributos químicos			
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		%			
	K	P	Ca	Mg	CTC ⁽¹⁾	M ⁽²⁾	V ⁽³⁾	MO ⁽⁴⁾
0 cm-20 cm	36	4	1,8	1,6	5,96	0	59,7	2,65
20 cm-40 cm	36	4	1,1	1,1	4,46	0	52,9	2,25

⁽¹⁾ CTC = capacidade de troca de cátions, ⁽²⁾ M = índice de saturação de alumínio, ⁽³⁾ V = saturação por bases e ⁽⁴⁾ MO = matéria orgânica.

Foram avaliados três acessos de capim-elefante, sendo uma cultivar BRS Capiacú (RNV n. 33503) e duas variedades: Pasto Panamá (BAGCE 91) e Madeira (BAGCE 145), pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante (BAGCE) da Embrapa Gado de Leite. O delineamento experimental foi conduzido em blocos ao acaso, sob arranjo fatorial 3 x 2, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em três acessos e duas frequências de corte anual: (1) um corte (março/2019) e (2) dois cortes (setembro/2018 e março/2019). A parcela experimental foi representada por 5 linhas de 10 m (50 m²), espaçadas por 1,00 m entre si.

Foram avaliadas as produções de biomassa (fresca e seca) da parte aérea e da palhada remanescente na área de cultivo, em megagrama por hectare por ano (Mg ha⁻¹ ano⁻¹). A produção de biomassa da parte aérea foi efetuada mediante corte e pesagem de plantas colhidas nas três linhas centrais de cada parcela. A produção de biomassa de palhada depositada sobre o solo foi determinada a partir do recolhimento do material em 2 m² de cada parcela. As produções de biomassa seca foram calculadas com base no teor de umidade, após secagem de subamostras em estufa (105 °C por 48h). As amostras secas foram trituradas em moinho tipo Willey (peneira de 35 mesh). As características de qualidade energética avaliadas foram: poder calorífico superior (PCS), teores de cinzas (%), densidade básica (Db) e densidade energética (De). Também foram estimados de produção da biomassa do capim-elefante submetidos ao corte semestral ou anual, com base em informações de empresas e de técnicos de usinas sucroenergéticas, considerando-se um horizonte de 5 anos de cultivo.

As análises para determinação do PCS foram realizadas em um Calorímetro modelo C 2000 (IKA®), de acordo com a norma MB-2850

(Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1990) e os valores expressos em quilocalorias por quilograma (Kcal Kg^{-1}). A determinação dos teores de cinzas (%) foi efetuada de acordo com a NBR 8112 (Associação..., 1986), utilizando-se 1 g de amostra isenta de umidade em um cadinho sem tampa, seco e tarado, o qual foi colocado em mufla previamente aquecida a $600 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para que ocorresse a queima total da amostra. A densidade básica (Db) foi determinada utilizando-se o método do máximo teor de umidade NBR 11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003) e expressa em quilogramas por metro cúbico (Kg m^{-3}). A densidade energética (De) foi calculada através da equação $De = Db \times PCS$, sendo expressa em megacalorias por metro cúbico (Mcal m^{-3}). Os dados foram submetidos à análise da variância e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), programa Sisvar (Ferreira, 2011).

Resultados e Discussão

Os resultados abaixo descrevem o potencial de produção e a qualidade energética da biomassa do capim-elefante submetido ao corte semestral (2 cortes ano^{-1}) e anual (1 corte a ano^{-1}), além de quantificar o acúmulo de biomassa de palhada remanescente em cada área. Também é apresentada uma estimativa dos custos de produção da biomassa desta gramínea manejada sob os dois regimes de corte, na tentativa de se estimar a viabilidade econômica do cultivo para fins energéticos.

Produção de biomassa da parte aérea

Os dados de produção anual de biomassa fresca apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em relação às frequências de corte para todos os três genótipos avaliados (Tabela 3).

Tabela 3. Produção de biomassa da parte aérea em genótipos de capim-elefante sob diferentes frequências de corte. Rio Largo, AL, 2019.

Genótipo	Cortes anuais	Biomassa Fresca (Mg ha ⁻¹)			Umidade (%)		Biomassa Seca (Mg ha ⁻¹)		
		Set./18	Mar./19	Total	Set./18	Mar./19	Set./18	Mar./19	Total
Madeira (BAGCE 145)	1	-	117,5	117,5 b	-	67,1	-	38,7	38,7 a
	2	85,4	57,7	143,1 a	73,1	69,7	23,0	17,5	40,5 a
BRS Capiaçú (RNV. 33503)	1	-	96,1	96,1 b	-	67,6	-	31,1	31,1 a
	2	78,8	47,6	126,4 a	72,5	69,9	21,7	14,3	36,0 a
Pasto Panamá (BAGCE 91)	1	-	102,2	102,2 b	-	66,8	-	33,9	33,9 a
	2	75,6	48,6	124,2 a	74,6	69,6	19,2	14,8	34,0 a

*médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nota-se que, a produção total de biomassa seca acumulada no período de um ano não apresentou diferenças significativas entre os regimes de corte semestral e anual (Figura 2), tendo em vista que, no primeiro corte do regime semestral, os teores de umidade observados foram elevados em decorrência do maior acúmulo de chuvas durante esse período.



Foto: Anderson C. Marafon

Figura 2. Capim-elefante cultivado para fins energéticos com idades de 6 (esquerda) e 12 meses (direita). Rio Largo, AL, 2019.

Conforme podemos observar na tabela acima, a realização de apenas um corte anual proporciona a obtenção de uma matéria-prima com reduzida umidade quando comparada com a umidade média dos genótipos submetidos a dois cortes por ano. Esse aspecto é de extrema relevância já que, em termos práticos, só é possível queimar materiais com até 50% de água em fornos e caldeiras e que a necessidade de redução da umidade da biomassa implica custos quando se pretende utilizá-la como fonte de matéria-prima para combustão direta (Cortez; Lora; Gomez, 2008).

A definição da frequência de cortes deve levar em consideração o regime pluviométrico da região, o que vai definir a viabilidade ou não do uso de irrigação suplementar na época de menor ocorrência de chuvas. Cabe salientar que, quanto maior a frequência de cortes maior o pisoteio pelo tráfego de máquinas e maior a remoção de nutrientes da área de cultivo com conseqüente aumento de despesas com adubação. Woodard e Prine (1991) verificaram que as produções de biomassa seca do capim-elefante submetido a duas ou três colheitas anuais por ano foram reduzidas em 19% e 33%, respectivamente, quando comparados à uma única colheita na região Norte da Flórida, nos Estados Unidos.

Na et al. (2015) mostraram que na Florida a frequência da colheita (1 vs. 2 cortes/ano) não afetou a produção de biomassa durante os primeiros dois anos de vida útil da capineira. No entanto, no 3º ano de cultivo, as áreas com frequência semestral de corte produziram apenas 50% da biomassa obtida nas áreas manejadas com frequência de corte anual.

Uma das características que tornam as gramíneas perenes atraentes para a produção de bioenergia, além do potencial de produção de biomassa e da longevidade, é a possibilidade de se efetuar cortes em diferentes fases do desenvolvimento das plantas, permitindo que permaneçam armazenadas no campo 'em pé', com baixos teores de água (Sanderson; Adler, 2008).

O potencial de produção de biomassa do capim-elefante resulta da combinação de fatores como: eficiência na interceptação da luz solar, reduzido índice de florescimento, eficiência fotossintética, alta capacidade de rebrota e perfilhamento, armazenamento de reservas nas raízes e eficiência no uso da água e nutrientes (Lira et al., 2010; Hanna et al., 2004).

Woodard; Prine e Bachrein (1993) atribuíram o alto potencial de rendimento do capim-elefante à sua longa fase de crescimento, com elevada capacidade de manutenção da área foliar verde, sendo capaz de interceptar cerca de 80% da radiação fotossinteticamente ativa. Essa fase de crescimento prolongada ocorre porque os perfilhos permanecem funcionais, com os meristemas apicais em contínuo crescimento vegetativo durante a maior parte do ano, desde que haja condições climáticas favoráveis.

Em condições de sequeiro, nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, o corte anual demonstrou ser tão eficiente quanto o corte semestral em termos do total de quantidade de biomassa seca produzida, além de apresentar como vantagens a diminuição de custos com operações de colheita, a menor demanda com a reposição de nutrientes e o menor pisoteio das socarias, favorável à longevidade da capineira. Dessa forma, para se garantir a longevidade do capim-elefante cultivado para fins energéticos em áreas de sequeiro recomenda-se que se efetue apenas um corte anual no final da estação seca, o que irá assegurar a retomada do crescimento das rebrotas a partir do início da estação chuvosa.

No final da estação de crescimento, quando índices pluviométricos tornam-se baixos, gramíneas forrageiras como capim-elefante, desencadeiam o processo de senescência foliar, com mobilização das reservas nutricionais da parte aérea para as raízes. Por isso, a colheita realizada nesse período resulta na vantagem de haver menor extração de nutrientes, além de se obter uma biomassa com maior teor de lignina e menores teores de umidade e cinzas (Somerville et al., 2010).

Acúmulo de palhada remanescente

O acúmulo de biomassa de palhada não apresentou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em função da frequência de corte (Tabela 4).

Tabela 4. Acúmulo de biomassa de palhada em genótipos de capim-elefante sob diferentes frequências de corte. Rio Largo, AL, 2019.

Genótipo	Cortes anuais	Biomassa Fresca (Mg ha ⁻¹)			Umidade (%)		Biomassa Seca (Mg ha ⁻¹)		
		Set./18	Mar./19	Total	Set./18	Mar./19	Set./18	Mar./19	Total
Madeira (BAGCE 145)	1	-	15,40	15,40 a	-	48,4	-	7,94	7,94 a
	2	7,88	6,51	14,39 a	48,3	46,5	4,07	3,48	7,55 a
BRS Capiaçú (RNV. 33503)	1	-	11,25	11,25 a	-	45,6	-	6,12	6,12 a
	2	6,53	6,24	12,77 a	44,6	47,1	3,62	3,30	6,92 a
Pasto Panamá (BAGCE 91)	1	-	10,18	10,18 a	-	43,8	-	5,72	5,72 a
	2	6,82	5,92	12,74 a	46,5	45,4	3,65	3,22	6,87 a

*médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A grande quantidade de palhada remanescente nas áreas com corte anual se equivaleram ao somatório das áreas com frequência semestral, o que resultou na maior disponibilidade deste material depositado sobre o solo após a colheita (Figura 3).



Foto: Anderson C. Marafon

Figura 3. Palhada remanescente do corte anual do capim-elefante. Rio Largo, AL, 2019.

Como a quantidade de palhada depositada sobre o solo no regime de frequência de corte anual é maior, espera-se que o tempo de proteção deste solo contra a erosão também seja ampliado. As gramíneas sequestram e armazenam grandes quantidades de carbono atmosférico para seu crescimento, sendo que as frações da biomassa incorporada pelas raízes e aquela da palha remanescente que permanecem na área de cultivo e são incorporadas ao solo após sua decomposição.

O fechamento completo do dossel vegetativo do capim-elefante ocorre dentro de 3 semanas após o corte, enquanto que, a cana-de-açúcar e a cana-energia requerem entre 6 a 8 semanas. Esse fato é particularmente importante para a produção potencial de biomassa em solos marginais propensos à erosão (Samson et al., 2001). Além disso, este rápido crescimento viabiliza o plantio e/ou corte do capim-elefante no início da época chuvosa, sem necessidade de irrigação suplementar.

Conceitualmente, na cultura da cana-de-açúcar, a palhada (ou palhiço) é composta por folhas secas, folhas verdes e ponteiros das plantas, que permanecem na área de cultivo após a colheita. A quantidade de palhada remanescente após a colheita de cana-de-açúcar pode variar entre 8 Mg ha⁻¹ e 30 Mg ha⁻¹, e sua produção oscila de acordo com a variedade, o estágio de desenvolvimento, as condições edafoclimáticas, as práticas de manejo e a idade do canavial (Carvalho et al., 2017). No caso do capim-elefante, observou-se no presente experimento que a maior parte da palhada correspondia à fração de folhas secas que, após a senescência se desprenderam dos colmos.

Cabe ressaltar que os custos de colheita e transporte da biomassa nas áreas colhidas duas vezes por ano são mais elevados do que naquelas com apenas um corte, além do que, o pisoteio nas socarias em decorrência do tráfego de máquinas também é maior, prejudicando com isso rebrota e a longevidade da capineira. De acordo com Woodard e Prine (1991), múltiplas colheitas por ano podem reduzir a persistência em espécies perenes, além de haver maior exportação de nutrientes na biomassa colhida, o que por sua vez irá aumentar a demanda por fertilizantes.

Na et al. (2015) afirmam que no cultivo do capim-elefante com finalidade energética, o manejo com uma única colheita por ano (no final do período de menor pluviosidade), proporciona maior viabilidade econômica ao produtor

do que duas colheitas anuais, favorecendo a persistência das plantas e a longevidade da capineira.

Knoll et al. (2015) afirmam que, para maximizar a produtividade e manter a persistência das rebrotas no sistema de produção de biomassa do capim-elefante, deve-se efetuar uma única colheita anual cultivado para fins energéticos. Cabe ressaltar que a espécie requer condições edafoclimáticas favoráveis, dentre elas, uma pluviosidade anual de pelo menos 800 mm.

Qualidade energética da biomassa

Quanto às avaliações da qualidade energética da biomassa, foram constatadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em função da frequência de corte nos resultados da densidade básica (Db) e na densidade energética (De) dos genótipos Madeira e BRS Capiaçú, onde o material colhido apenas uma vez ao ano apresentou valores superiores aquele colhido duas vezes. A biomassa do capim-elefante colhido semestralmente apresentou teor de cinzas significativamente superior ao da biomassa oriunda das áreas colhidas apenas uma vez no ano para todos os genótipos (Tabela 5).

Tabela 5. Características de qualidade energética da biomassa seca da parte aérea de genótipos de capim-elefante cultivados sob diferentes frequências de corte. Rio Largo, AL, 2019.

Genótipo	Cortes anuais	Densidade Básica (Kg m ⁻³)	PCS (Kcal Kg ⁻¹)	Cinzas (%)	Densidade Energética (Mcal m ⁻³)
Madeira (BAGCE 145)	1	240,4 a	4419 a	3,91 b	1063 a
	2	208,4 b	4375 a	5,01 a	912 b
BRS Capiaçú (RNV. 33503)	1	263,3 a	4518 a	2,41 a	1190 a
	2	212,3 b	4455 a	3,15 a	946 b
Pasto Panamá (BAGCE 91)	1	234,6 a	4474 a	3,57 b	1050 a
	2	227,5 a	4435 a	5,28 a	1002 a

*médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A composição química da biomassa é altamente influenciada pela época de colheita e a idade da planta. Vidal et al. (2017) constataram aumentos lineares no acúmulo de matéria seca e no teor de lignina de genótipos de capim-elefante colhidos mensalmente, com diferentes idades entre dois e 6 meses. Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com aqueles obtidos por Na et al. (2016), que também avaliaram três genótipos de capim-elefante (L 79-1002, Merkeron e UF1) e verificaram que a biomassa obtida de áreas submetidas ao corte semestral apresentou maior teor de cinzas (4,65%) do que aquela proveniente das áreas com um corte anual (2,95%).

Um fator importante que afeta as diferenças de concentração de cinzas é a relação folha: colmo, tendo em vista que as folhas, geralmente, contêm maiores proporções de nitrogênio, fósforo e cinzas do que os colmos (Fedenko; Erickson; Woodard, 2013). Na et al. (2015) verificaram que, nas áreas colhidas apenas uma vez por ano, a relação folha: colmo é menor, ou seja, há predominância de colmos em relação às folhas. Isto explica porque, nas áreas colhidas apenas uma vez ao ano, o teor de cinzas da biomassa foi inferior ao teor de cinzas da biomassa oriunda das áreas colhidas semestralmente.

Pode-se afirmar que a biomassa do capim-elefante proveniente de áreas submetidas ao corte anual é mais adequada para a combustão direta do que aquela oriunda de áreas sob cortes semestrais, por possuir menor teor de cinzas e maiores teores de fibras e lignina. Além disso, gramíneas colhidas uma vez por ano, no final do período de seca, apresentam reduzidos teores de potássio e cloro, e uma menor umidade do que quando colhidas com maior frequência (Sanderson; Adler, 2008).

Em comparação com a madeira (lenha), a biomassa das gramíneas apresenta maiores teores de cinzas e de cloro, aumentando a tendência à problemas de incrustação e/ou corrosão em fornos e caldeiras. A biomassa do capim-elefante apresenta características similares às do bagaço de cana. No entanto, por não passar pelos processos de extração do caldo e lavagem, apresenta níveis relativamente altos de metais alcalinos e cloro, que podem causar problemas de corrosão (Samson et al., 2001). Por isso, a extração do caldo do capim-elefante apresenta como principais vantagens a redução da umidade e aumento do poder calorífico da biomassa e a possibilidade de uso do caldo para a produção de biogás e biofertilizante.

Estimativas dos custos de produção do capim-elefante

O que determina a utilização de determinada como matéria-prima para a geração de energia é seu custo de produção, ou seja, o quanto é investido versus o potencial energético do material obtido. Os custos da produção de biomassa são determinantes na exploração de determinado cultivo, estando intimamente ligados com a eficiência da produção agrícola. Sendo assim, otimizar o uso de recursos naturais (sol, água e nutrientes) adequando o manejo de plantio e corte para épocas adequadas ao ciclo de crescimento da espécie é determinante para maximizar a produção de biomassa com redução de custos.

Na Tabela 6, abaixo, são apresentados os custos de produção do capim-elefante cultivado com manejo de apenas um corte anual (12 meses). Os dados referem-se ao período de vida útil média da capineira de 5 anos.

Tabela 6. Custos estimados de produção da biomassa do capim-elefante com frequência de corte anual durante 5 anos de cultivo (405 t). Rio Largo, AL, 2019.

Itens de Custo	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Implantação		ANO 1 1º corte 100 t/ha		ANO 2 2º corte 95 t/ha		ANO 3 3º corte 90 t/ha		ANO 4 4º corte 85 t/ha		ANO 5 5º corte 80 t/ha	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Insumos														
Mudas (Plantio)	t	200	6	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calcário	t	115	2	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fertilizante NPK	kg	1,4	500	700	250	350	250	350	250	350	250	350	-	-
Herbicidas	L	70	5	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inseticidas	L	75	2	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sub-total Insumos	R\$	-	2.630,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	350,00	-	-
Serviços														
Subsolagem superficial	h/M	150	2	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gradagem niveladora	h/M	150	0,8	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continua...

Itens de Custo	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Implantação		ANO 1 1º corte 100 t/ha		ANO 2 2º corte 95 t/ha		ANO 3 3º corte 90 t/ha		ANO 4 4º corte 85 t/ha		ANO 5 5º corte 80 t/ha	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Serviços														
Distribuição de calcário	h/M	150	0,3	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aplicação prod. fitos-sanitários	h/M	150	0,3	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulcamento e adubação	h/M	150	2	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corte e preparo das mudas	d/H	70	5	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte de mudas	h/M	100	1	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Distribuição de mudas	d/H	70	5	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobertura dos sulcos	h/M	150	0,7	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adubação de cobertura	h/M	150	1	150	0,5	75	0,5	75	0,5	75	0,5	75	0,5	37,5
Irrigação suplementar	R\$/mm	10	50	500	50	500	50	500	50	500	50	500	50	500

Continua...

Itens de Custo	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Implantação		ANO 1 1º corte 100 t/ha		ANO 2 2º corte 95 t/ha		ANO 3 3º corte 90 t/ha		ANO 4 4º corte 85 t/ha		ANO 5 5º corte 80 t/ha	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Serviços														
Colheita (mecanizada)	h/M	350	-	-	5	1750	4,8	1662,5	4,5	1575	4,3	1487,5	4	1400
Transbordo	Diária	350	2	700	1	350	1	350	1	350	1	350	1	350
Sub-total Serviços	R\$		3.065,00		2.675,00		2.587,50		2.500,00		2.412,50		1.787,50	
Total geral	R\$		5.695,00		3.025,00		2.937,50		2.850,00		2.762,50		1.787,50	
Custo de implantação	R\$/ha						5.795,00							
Custo Operacional Efetivo***	R\$/ha													
Custo da biomassa****	R\$/t													

* 50 mm semestre chuvoso e 100 mm semestre seco. ** rendimento de 20 t/ha. *** COE = 5 anos **** biomassa fresca (70% de umidade) com 10% de perdas.

O que determina a viabilidade econômica do uso de determinada biomassa (proveniente de cultivos dedicados) para geração de energia são o potencial produtivo da cultura, o potencial energético da matéria-prima e o seu custo de produção, associado com a eficiência da produção agrícola.

Nas Filipinas, Samson et al. (2001) avaliaram os custos de produção da biomassa do capim-elefante transportada a 26% de umidade, mediante secagem da biomassa ao sol entre 1 e 2 duas semanas de secagem após o corte, constatando ser uma atividade economicamente atraente às usinas sucroenergéticas daquela região, como substituto do óleo diesel. Esses autores estimaram que o custo de produção da biomassa do capim-elefante foi 7% superior ao custo de recolhimento e transporte da palha de cana-de-açúcar. De acordo com os autores, esse custo foi superior devido aos altos custos de arrendamento da terra na região onde foi desenvolvido este estudo.

Na Tabela 7, abaixo, são apresentados os custos de produção do capim-elefante cultivado com manejo de cortes semestrais (6 meses). Os dados referem-se ao período de vida útil média da capineira de 5 anos.

Tabela 7. Custos estimados de produção da biomassa do capim-elefante com frequência de corte semestral durante 5 anos de cultivo (630 t). Rio Largo, AL, 2019.

Itens de Custo	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Implantação		ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Insumos														
Mudas (Plantio)	t	200	6	1200	-	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Calcário	t	115	2	230	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0
Fertilizante NPK	kg	1,4	500	700	500	700	500	700	500	700	500	700	250	350
Herbicidas	L	70	5	350	-	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Inseticidas	L	75	2	150	-	0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0
Sub-total Insumos	R\$	2630,0		700,0		700,0		700,0		700,0		700,0		350,0
Serviços														
Subsolagem superficial	h/M	150	2	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gradagem niveladora	h/M	150	0,8	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Continua...

Itens de Custo	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Implantação		ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Serviços														
Distribuição de calcário	h/M	150	0,3	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aplicação prod. fitos-sanitários	h/M	150	0,3	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulcamento e adubação	h/M	150	2	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Corte e preparo das mudas	d/H	70	5	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte de mudas	h/M	100	1	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Distribuição de mudas	d/H	70	5	350	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cobertura dos sulcos	h/M	150	0,7	105	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Adubação de cobertura	h/M	150	1	150	1	150	1	150	1	150	1	150	1	150
Irrigação suplementar*	R\$/mm	10	50	500	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000

Continua...

Itens de Custo	Unidade	Valor Unitário (R\$)	Implantação		ANO 1		ANO 2		ANO 3		ANO 4		ANO 5	
			Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor	Quant.	Valor
Serviços														
Colheita mecanizada**	h/M	350	-	-	8	2800	7,5	2625	7	2450	6,5	2275	6	2100
Transbordo	Diária	350	2	700	2	700	2	700	2	700	2	700	2	700
Sub-total Serviços	R\$		3.065,00		4.650,00	4.475,00	4.300,00	4.125,00	3.950,00					
Total geral	R\$		5.695,00		5.300,00	5.175,00	5.000,00	4.825,00	4.650,00					
Custo de implantação	R\$/ha					5.695,00		5.695,00						
Custo Operacional Efetivo***	R\$/ha							30.345,00						
Custo da biomassa****	R\$/t							48,17						

* 50 mm semestre chuvoso e 100 mm semestre seco. ** rendimento de 20 t/ha. *** COE = 5 anos **** biomassa fresca (70% de umidade) com 10% de perdas.

O cultivo de espécies dedicadas à produção de biomassa configura-se como opção favorável à diversificação das fontes de matéria-prima atualmente utilizadas nos processos de geração de energia. O capim-elefante é, reconhecidamente, uma das gramíneas forrageiras de mais alto potencial produtivo, adaptando-se muito bem às condições de clima e solo de praticamente todo o Brasil.

A inserção do capim-elefante como fonte complementar de matéria-prima para o setor sucroenergético mostra-se uma alternativa tecnicamente viável tendo em vista a alta produção de biomassa e boa adaptação da espécie a ambientes produtivos mais restritivos, o que pode significar redução de custos de produção e geração de um impacto socioeconômico positivo em toda a cadeia produtiva vinculada, promovendo o desenvolvimento regional, com incremento na geração de postos de trabalho e na redução da sazonalidade de mão-de-obra.

Dentre os principais entraves encontrados para a utilização do capim-elefante como fonte de matéria-prima para combustão direta estão: (1) a dificuldade de colheita do material por se tratar de uma capineira com alto teor de fibras e (2) a necessidade de secagem da biomassa, tendo em vista que, em termos práticos, no caso de usinas sucroenergéticas, só é possível queimar materiais com até 50% de água (Cortez, Lora; Gomez, 2008).

Diferentemente da cana-de-açúcar, que tem uma sazonalidade bem definida, e conseqüentemente uma variação elevada da energia exportada para o grid, a geração proveniente da biomassa do capim-elefante é mais controlável e determinística, devido, principalmente, à possibilidade de estocagem do combustível sólido, seja no pátio junto com o bagaço de cana, seja no campo “armazenado em pé”. Note-se que este é um atributo importante para o setor elétrico, contribuindo para o aumento da segurança energética e confiabilidade sistêmica, em um momento de grandes desafios e mudanças estruturais que vêm ocorrendo no parque gerador (Empresa de Pesquisa Energética, 2019).

A frequência e a época de corte provavelmente são as práticas mais importantes de manejo nos sistemas de produção de biomassa de capim-elefante. Em termos agrônômicos, apesar do corte semestral proporcionar maior quantidade anual de biomassa fresca (alto teor de água), o corte anual apresenta produção anual equivalente em termos de matéria seca.

Enquanto a frequência semestral pode proporcionar maiores rendimentos de biomassa fresca (que pode ser ainda maior dependendo do uso de irrigação suplementar), a frequência anual pode ser usada em áreas de sequeiro para estender o fornecimento de matéria-prima no final da safra da cana-de-açúcar. Cabe novamente salientar que, o corte semestral pode reduzir a persistência das rebrotas e aumentar a demanda de nutrientes, devido a uma maior remoção destes na biomassa colhida.

Embora haja uma tendência de que a realização de duas colheitas anuais possa afetar negativamente a produção de biomassa após o segundo ano de cultivo em condições de sequeiro, esta constatação não é necessariamente válida para áreas que venham a receber irrigação suplementar. Pelo contrário, mediante o uso de irrigação e com a devida reposição de nutrientes minerais, além de tornar-se mais produtiva, a capineira pode tornar-se mais longínqua. Desta forma, podemos afirmar que a execução de dois cortes anuais no capim-elefante cultivado na região dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste é possível, entretanto, a execução da colheita no final do período de inverno resulta em maior remoção e/ou exportação de nutrientes e maior teor de umidade da biomassa. Além disso, ocorre o enfraquecimento das rebrotas, tendo em vista que o novo ciclo de crescimento irá coincidir com o período seco, havendo redução nos índices de crescimento, com menor perfilhamento e perda considerável de vigor das socarias e redução da longevidade da capineira.

A biomassa do capim-elefante pode servir como fonte de matéria-prima economicamente e ambientalmente apropriada para a geração de energia, principalmente em áreas rurais isoladas, podendo ser cultivadas em áreas marginais para a produção agrícola de cultivos tradicionais. O uso da biomassa do capim-elefante pode ser uma ferramenta estratégica de descentralização da produção de energia, possibilitando a geração de eletricidade e a produção de biocombustíveis em locais onde a construção de hidrelétricas ou o cultivo de biomassas tradicionais não seja possível.

A cogeração de energia por meio da biomassa de gramíneas como o capim-elefante apresenta-se como oportunidade para empresas que pretendem aumentar sua disponibilidade de matéria-prima. Para tanto, estas empresas devem considerar dois aspectos: (1) localização do cultivo próximo da fonte geradora e (2) logística de colheita, manuseio e estocagem da biomassa, que

considere a necessidade de redução de umidade, a sazonalidade da produção e o uso implementos e instalações adequados.

A experiência mais emblemática e inovadora de utilização do capim-elefante para fins energéticos no Brasil é o da empresa Sykué Bioenergia, situada no município de São Desidério, na região Oeste da Bahia, onde cultiva mais de cinco mil hectares desta gramínea e possui uma usina termelétrica com capacidade instalada de 30 MW, sendo capaz de gerar e exportar energia para o SIN de forma competitiva (Dias et al., 2017).

Dentre os principais desafios para a viabilização do uso do capim-elefante para fins energéticos podem ser citados: a definição dos genótipos mais adaptados (Lira et al., 2010), a frequência de cortes mais adequada à cada região (Flores, 2009), o desenvolvimento de colhedoras de forragem com plataformas adaptadas à colheita desta biomassa com elevado teor de fibras e a de técnicas para redução da umidade da forragem, que podem ser via secagem induzida por secadores ou exposição direta ao sol, mas também mediante a extração do caldo para a produção de biogás e biofertilizante, permitindo o aproveitamento integral da biomassa (Marafon et al., 2017).

Conclusões

A produção de biomassa fresca dos genótipos de capim-elefante submetidos à frequência de dois anuais (semestrais) é superior à de apenas um corte (anual), no entanto, a produção de biomassa seca não difere entre as duas frequências de corte. Os genótipos de capim-elefante submetidos ao corte anual apresentam produções de biomassa fresca entre 102,2 (Pasto Panamá) e 117,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Madeira), enquanto que, aqueles submetidos a dois cortes por ano apresentam produções de biomassa fresca entre 124,2 ha⁻¹ ano⁻¹ (Pasto Panamá) e 133,15 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Madeira). O corte anual do capim-elefante proporciona a obtenção de uma biomassa forrageira com menor teor de cinzas e maior densidade energética quando comparada com a biomassa obtida dos genótipos submetidos ao corte semestral.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941 madeira**: determinação da densidade. Rio de Janeiro, 2003. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 2850 Coque**: determinação do poder calorífico superior. Rio de Janeiro, 1990. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112 Carvão vegetal**: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.
- CARVALHO, J. L. N.; NOGUEIROL, R. C.; MENANDRO, L. M. S.; BORDONAL, R. O. BORGES, C. D.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H. J. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **GCB Bioenergy**, v. 9, p. 1181-1195, 2017.
- CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GOMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. São Paulo: Editora da UNICAMP, 2008. 734 p.
- DIAS, E. O.; BRITO, D. L. L.; DÜRR, G. C.; BASTOS, P. R. F. M.; UCHOAA. O. **Bahia Análise e Dados**, v. 27, n. 1, p. 312-335, 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise de conjuntura dos biocombustíveis ano 2018**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, 2019. 77 p.
- FEDENKO, J. R.; ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R. Biomass production and composition of perennial grasses grown for bioenergy in a subtropical climate across Florida, USA. **Bioenergy Research**, v. 6, p. 1082–1093, 2013.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FLORES, R. A. **Produção de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) para fins energéticos no cerrado: resposta a adubação nitrogenada e idade de corte**. 2009. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- FONTOURA, C. F.; BRANDÃO, L. E.; GOMES, L. L. Elephant grass biorefineries: towards a cleaner Brazilian energy matrix? **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 85-93, 2015.
- GOLDEMBERG, J. Biomassa e Energia. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.
- HANNA, W. W.; CHAPARRO, C. J.; MATHEWS, B. W.; BURNS, J. C.; SOLLENBERGER, L. E. Perennial Pennisetums. In: MOSER, L. E.; BURSON, B. L.; SOLLENBERGER, L. E. (Ed.).

Warm-Season (C4) Grasses. Madison, WI: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America, 2004. p. 503-535.

KNOLL, J. E.; JOHNSON, J. M.; HUANG, P. R.; LEE, D.; ANDERSON, W. F. Effects of delayed winter harvest on biomass yield and quality of napiergrass and energycane. **Biomass and Bioenergy**, v. 80, p. 330-337, 2015.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX, J. C. B.; MELLO, J. C. L. MELLO, A. C. L. **Capim-elefante: fundamentos e perspectivas.** Recife: IPA/UFRPE, 2010. 229 p.

MARAFON, A. C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARÃES, V. S. **Poder calorífico do capim-elefante para a geração de energia térmica.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016. 28 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 115).

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. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 132).

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. C.; TRINDADE, T. C. G. **Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras.** São Carlos: EESC/USP, 2017. 349 p.

NA, C.; FEDENKO, J. R.; SOLLENBERGER, L. E.; ERICKSON, J. E. Harvest management affects biomass composition responses of C4 perennial bioenergy grasses in the humid subtropical USA. **GCB Bioenergy**, v. 8, p. 1150-1161, 2016.

NA, C.; SOLLENBERGER, L. E.; ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; SILVEIRA, M. L. Management of perennial warm-season bioenergy grasses. I. Biomass harvested, nutrient removal, and persistence responses of elephantgrass and energycane to harvest frequency and timing. **Bioenergy Research**, v. 8, p. 581-589, 2015.

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. (Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 8).

ROCHA, J. R. A. S. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. C.; RESENDE, M. D. V.; LEDO, F. J. S.; CARNEIRO, J. E. S. Bioenergetic potential and genetic diversity of elephantgrass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 485-492, 2017.

SAMSON, R.; HELWIG, T.; STOHL, D.; MAIO, A. de; DUXBURY, P.; MENDOZA, T.; ELEPANO, A. **Strategies for Enhancing Biomass Energy Utilization in the Philippines**. NREL/SR-510-30813. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2001. 226 p. Disponível em: <http://www.reap-canada.com/online_library/IntDev/id_eco_sugarcane/>

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.

SANDERSON, M. A.; ADLER, P. R. Perennial forages as second generation bioenergy crops. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 9, p. 768-788, 2008.

SOMERVILLE, C.; YOUNGS, H.; TAYLOR, C.; DAVIS, S. C.; LONG, S. P. Feedstocks of lignocellulosic biofuels. **Science**, v. 329, p. 790-792, 2010.

VIDAL, A. K. F.; BARBÉ, T. C.; DAHER, R. F.; FILHO, J. E. A.; LIMA, R. S. N. de; FREITAS, R. S.; ROSSI, D. A.; OLIVEIRA, E. S.; MENEZES, B. R. S.; ENTRINGER, G. C.; PEIXOTO, W. F. S.; CASSARO, S. Production potential and chemical composition of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) at different ages for energy purposes. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 25, p. 1428-1433, 2017.

WOODARD, K. R.; PRINE, G. M.; BACHREIN, S. Solar energy recovery by elephant grass, energycane, and elephant millet canopies. **Crop Science**, v. 33, p. 824-830, 1993.

WOODARD, K. R.; PRINE, G. M. Forage yield and nutritive value of elephant grass as affected by harvest frequency and genotype. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 541-546, 1991.



Tabuleiros Costeiros