

Aracaju, SE
Dezembro, 2021

Secagem solar e extração do caldo do capim-elefante para uso bioenergético da biomassa

Anderson Carlos Marafon
Juarez Campolina Machado

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

7 ENERGIA LIMPA E ACESSÍVEL



Secagem solar e extração do caldo do capim-elefante para uso bioenergético da biomassa¹

A energia renovável tem recebido maior atenção nos últimos anos, como resultado do aumento dos custos dos combustíveis fósseis e de preocupações ambientais, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa e o aquecimento global do planeta. A energia tem sido considerada cada vez mais indutora da economia e, por conseguinte, da sociedade moderna, que depende cada vez mais dela para se manter e progredir. A demanda da sociedade por este é crescente e suas formas de produção são cada vez mais desafiadoras, mesmo havendo várias alternativas para geração (Torquato; Jesus, 2015).

Com a perspectiva de um grande aumento na demanda de energia no Brasil, a diversificação e descentralização da produção deste bem de consumo, especialmente de energias oriundas de fontes limpas e renováveis como a biomassa são opções favoráveis para atender esta crescente demanda. Neste contexto, a utilização da biomassa (residual ou de cultivos) como fonte energética tem grande importância na matriz energética brasileira e mundial e o desenvolvimento de vias de valorização da biomassa pode ser uma alternativa para estimular economias agrícolas rurais e alavancar o desenvolvimento regional. Ao contrário de outras fontes de energia intermitentes, como a solar e eólica, a energia da biomassa pode ser utilizada a qualquer momento (Couto et al., 2012).

Dentre as principais características que influenciam o desempenho energético da biomassa utilizada como combustível sólido podem ser citadas: umidade, densidade, tamanho e forma das partículas, poder calorífico e os teores de cinzas, fibras, lignina e extrativos (Brand; Giesel, 2017). A umidade é a característica de maior importância do combustível sólido uma vez que, em

¹ Anderson Carlos Marafon, Engenheiro-agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP - Rio Largo) da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Rio Largo, AL; Juarez Campolina Machado, Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento Vegetal, pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG.

excesso produz grandes perdas na produção de energia (Jenkins et al., 1998), devido à redução da eficiência energética do combustível, uma vez que na combustão, a água precisa ser evaporada (Fusco et al., 2015) e a energia necessária para esta evaporação é perdida neste processo (Li et al., 2012).

A umidade e a densidade energética dos combustíveis sólidos utilizados como matérias-primas na produção de energia térmica são as principais determinantes da eficiência do processo de combustão da biomassa. A presença de umidade na biomassa acarreta redução do poder calorífico, pois parte do calor gerado é consumido na evaporação da água. Além de aumentar o poder calorífico, a secagem contribui para reduzir emissões de poluentes primários (particulados, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e gases ácidos) gerados na combustão, cujos fluxos podem ser controlados pela regulagem correta do fornecimento de ar primário e secundário da câmara de combustão (Jenkins et al., 1998).

Este manuscrito visa apresentar dois processos com potencial de melhoria da qualidade da biomassa e da eficiência da conversão energética do capim-elefante utilizado como combustível sólido em processos de geração de energia termelétrica. Esta publicação contribui diretamente para o alcance da meta 7.2 do ODS 7 - Energia limpa e acessível da Agenda 2030 da ONU, ao propor soluções inovadoras para compor a matriz energética.

Gramíneas para produção de biomassa energética

O cultivo e uso de gramíneas forrageiras para uso energético é uma alternativa técnica sustentável ao uso de combustíveis fósseis (carvão mineral e derivados do petróleo) por tratar-se de uma fonte renovável, que além de prevenir a extração de madeira em florestas nativas é capaz de atender diversos propósitos energéticos, dentre eles a produção de energia térmica (combustão direta, carvão vegetal, pellets e briquetes) e termelétrica (cogeração, gaseificação e queima de gases) (Violante, 2012). As gramíneas forrageiras possuem elevado potencial de produção de biomassa rica em fibras (celulose e hemiceluloses) e lignina, cujas características são dependentes da espécie. Altos conteúdos de lignina e de celulose da biomassa são desejáveis para sua utilização como combustível sólido no processo de combustão, por duas razões principais: (a) pelo alto poder calorífico em virtude do elevado conteú-

do e carbono na estrutura da lignina e (b) pelo fato de as plantas lignificadas manterem-se viáveis, podendo ser colhidas tardiamente, mesmo com baixo conteúdo de água em seus tecidos. Além disso, a biomassa também deve apresentar alta relação carbono/nitrogênio e baixos teores de umidade, cinzas e nitrogênio (McKendry, 2002).

Existe um crescente interesse no uso de gramíneas forrageiras, no Brasil e no mundo, como fontes de matéria-prima para produção de bioenergia, especialmente de espécies de clima tropical ou subtropical cultivadas em regiões úmidas. Este interesse se deve, principalmente, pelo elevado potencial de produção de biomassa e pela adaptação apresentada por algumas espécies a áreas marginais de outros cultivos agrícolas. Dentre as gramíneas altamente produtoras de biomassa e com excelente adaptação às diferentes condições edafoclimáticas de cultivo, merece grande destaque o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum., sinonímia de *Cenchrus purpureus* (Schum.) Morrone), uma gramínea semiperene de ciclo curto (4 a 6 meses), com mais de 200 espécies, com excelente adaptação às condições edafoclimáticas de todas as regiões do Brasil. Esa gramínea tem sido apontada como um insumo energético promissor, especialmente, devido à alta produção de biomassa (acima de 40 toneladas de matéria seca), à alta eficiência fotossintética (mecanismo C4 de fixação de carbono) e fixação biológica de nitrogênio (Quesada et al., 2004; Fontoura et al., 2015; Rocha et al., 2017). Trabalho realizado por Marafon et al. (2021) encontraram elevados teores médios de celulose (36%), hemiceluloses (30,3%) e lignina (8,8%) e reduzido teor de cinzas (4,74%) ao avaliarem 18 variedades de capim-elefante aos 180 dias após o corte.

A alta umidade e baixa densidade do capim-elefante no seu estado natural (biomassa fresca) impõem dificuldades para o manuseio desta matéria-prima quando destinada ao uso energético, a exemplo do seu uso como combustível sólido no processo de combustão direta para geração de energia termelétrica. Estes dois aspectos (umidade e densidade) podem ser considerados os principais gargalos que limitam uma utilização mais expressiva desta fonte e de outras fontes de biomassa. Dentre as formas de se melhorar a eficiência da conversão energética da biomassa, o pré-tratamento envolvendo a redução da umidade é uma das alternativas que pode apresentar grande viabilidade por envolver custos reduzidos em relação à métodos de secagem.

Nesta circular técnica são apresentadas duas formas de redução do conteúdo de água da biomassa: (1) secagem solar da forragem e (2) extração do caldo de variedades de capim-elefante (desidratação). A diferença entre os procedimentos é que a secagem natural promove a evaporação da água através da exposição da biomassa ao sol, enquanto a extração do caldo é um processo físico de separação realizado por meio de pressão mecânica de rolos em uma moenda.

Desidratação e secagem da biomassa

O processo de desidratação se refere à remoção total ou parcial da umidade contida na biomassa na forma líquida. Já, a secagem é um processo semelhante, diferindo apenas pelo fato de que a umidade é removida na forma de vapor d'água. A secagem da biomassa pode ser realizada de forma natural (secagem solar) ou por meio da secagem induzida (secadores). A secagem solar é, em geral, um processo lento e que depende, sobretudo, das condições climáticas, cujas variáveis ambientais que interferem na desidratação são: radiação solar, temperatura, umidade do ar e velocidade do vento. Já, a secagem induzida é uma etapa importante e desafiadora que depende de parâmetros críticos como integração de calor, controle de emissões e desempenho do secador. A secagem natural é o método de menor custo dentre os métodos tradicionais (secador rotativo, túnel, ciclone e avanço de roscas), podendo ser utilizado como etapa preliminar da secagem induzida.

Dada a importância da umidade no processamento industrial da biomassa e, considerando que os sistemas de cogeração de alta eficiência são, normalmente, projetados para operar em faixas específicas de umidade do material combustível, os processos de secagem e extração do caldo (desidratação) podem auxiliar na obtenção de níveis adequados de umidade de acordo com o tipo de forno ou caldeira a ser utilizado. Alguns gaseificadores, por exemplo, são projetados para operar com umidades entre 10% a 20%. Já, as caldeiras de queima em suspensão, normalmente operam em faixas de umidade mais altas de até 50%, pois o sistema de alimentação já prevê que durante a queda da biomassa se dará o processo de secagem, com a queima ocorrendo ainda em suspensão ou acima da grelha basculante. No caso das caldeiras de grelha utilizadas na indústria de papel e celulose, estas admitem

diferentes níveis de umidade do combustível, mas operam de forma ideal utilizando biomassas entre 30% até 40% de água. Um aumento da umidade além dos limites de operação projetado causa instabilidade no sistema como um todo, devido à diminuição da temperatura da zona de combustão. Isso ocasiona não somente a perda de eficiência dos sistemas de combustão, como também aumento nas emissões ambientais e diminuição da vida útil devido à formação de depósitos de espécies químicas corrosivas em zonas não adequadas (Nakai et al., 2016).

Secagem solar de capim-elefante

Todas as etapas da produção de forragem são importantes para obtenção de uma matéria-prima de boa qualidade. Em se tratando da biomassa do capim-elefante para uso energético, especificamente no caso do seu uso para geração de energia térmica ou termelétrica, as características físico-químicas desejadas diferem daquelas buscadas da biomassa utilizada para fins de alimentação animal. Assim, enquanto no cultivo para fins forrageiros são priorizados altos teores de proteínas e digestibilidade animal, o cultivo dedicado para biomassa energética tem como objetivo a máxima produção de biomassa rica em fibras e lignina, cujos componentes conferem maior poder calorífico ao material.

Na etapa de secagem, a radiação solar é o principal fator ambiental que afeta a perda de água da forragem. Também há influência acentuada de fatores como: temperatura e umidade relativa do ar, evapotranspiração potencial ou déficit de pressão de vapor, incidência de ventos e umidade da superfície de secagem (Rotz et al., 2020).

Como opção para aumentar a eficiência do processo de secagem, pode ser realizada a prática do emurchecimento (pré-secagem), que consiste no corte e na disposição das plantas em leiras ainda na área do cultivo, havendo remoção parcial da água antes do carregamento e do transporte desta biomassa.

A secagem solar (natural) propriamente dita pode ser realizada sobre superfície de chão batido ou em pátio com piso revestido por lama asfáltica ou cimento e consiste na disposição da forragem fresca (ou pré-secada) e triturada (3 - 4 cm) com revolvimento de acordo com a espessura da camada de

ferragem. Do ponto de vista fenológico, o avanço no estágio de desenvolvimento da planta resulta em vantagem para o processo de perda de água, havendo aumento do grau de lignificação, redução nos teores de umidade e da relação folha:colmo (F:C) da planta. Outros aspectos importantes que interferem na perda de umidade da biomassa, e devem ser considerados, dizem respeito à época de corte e ao horário da realização do corte. Recomenda-se que esta operação de colheita seja realizada em períodos de baixa intensidade de chuvas e em horários com maior radiação solar.

Em estudo conduzido na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, Marafon et al. (2020) constataram que a exposição ao sol da biomassa do capim-elefante, sem revolvimento da pilha de ferragem, promoveu a redução de 45% no teor de umidade da biomassa, que passou de 69,3% para 38,1% após a oito dias de secagem solar (Figura 1).

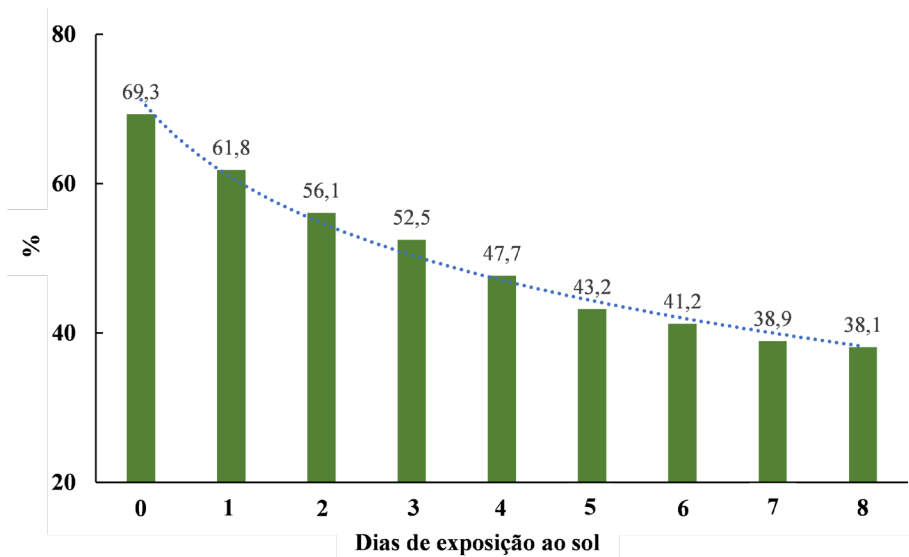


Figura 1. Teor de umidade da ferragem do capim-elefante clone Madeira aos 10 meses após o plantio durante oito dias de exposição ao sol. Rio Largo, AL, 2020.

Paiva (2017) constatou que, durante o verão, nas condições climáticas da Zona da Mata de Alagoas, a umidade da ferragem do capim-elefante foi reduzida de 65% para 13,8% após nove dias de exposição ao sol, com revolvimento da biomassa. A curva de desidratação do capim-elefante apresentou

formato exponencial, de tal forma que, nas primeiras 24 horas ocorreu uma rápida desidratação e, após esta fase, cada ponto percentual de perda de água demandou mais tempo. No processo de secagem da forragem no campo, o topo da leira se desidrata antes do que a base. Desta forma, o revolvimento e o espalhamento aceleram e uniformizam a secagem da forragem, aumentando a evaporação da água e a superfície de contato com o ambiente. McDonald e Clark (1987) observaram taxas de perda de água variando de 0,5 para 1% por hora em forragem não virada, aumentando para 2 a 3% por hora em pilhas submetidas ao revolvimento com ancinhos. Vale ressaltar que, o revolvimento da biomassa com 'ancinhos enleiradores' pode auxiliar significativamente no processo de secagem, principalmente nas primeiras horas após o corte, a fim de reduzir a compactação, proporcionar maior circulação de ar dentro das leiras e, assim, acelerar a transferência de umidade para o ambiente.

A secagem solar pode trazer grandes benefícios em termos energéticos além de ser o método de secagem mais barato dentre os demais métodos utilizados, entretanto, existem outros aspectos a serem considerados. Dado o elevado teor de umidade da biomassa, a secagem solar em escala industrial exige amplas superfícies de secagem ou pátios. Em épocas com registros de maiores índices pluviométricos, a secagem ao sol somente pode ser realizada em pátios com uso de barcaças móveis ou em estufas e galpões cobertos que permitam a penetração da radiação solar e a circulação do ar, além da necessidade de revolvimento da forragem. Como a sazonalidade de produção é uma característica típica das gramíneas forrageiras, no final da estação de crescimento, quando os índices pluviométricos são baixos, o processo de senescência é desencadeado e ocorre a mobilização de reservas nutricionais da parte aérea para as raízes das plantas. Por isso, a colheita realizada neste período resulta em menor extração de nutrientes (Somerville et al., 2010). Portanto, a viabilidade econômica do cultivo do capim-elefante para uso energético irá variar em função das condições agronômicas e do mercado de energia da região de cultivo. Outro aspecto relevante é que, custos diretos atuais para geração de energia a partir da biomassa são frequentemente superiores aqueles envolvidos na geração de energia a partir de gás e outras fontes fósseis, havendo a necessidade de incentivos fiscais e da remuneração dos produtores por serviços ambientais, incluindo a possibilidade de

venda de créditos de carbono, cujas ações podem alavancar o cultivo desta e de outras espécies promissoras.

A composição desejada da biomassa utilizada como combustível sólido nos processos de geração de energia térmica é altamente dependente da época da colheita e da idade da cultura (Lewandowski; Heinz, 2003). Enquanto os teores de fibras aumentam, as concentrações de cinzas minerais, compostos indesejáveis na combustão, diminuem com a idade da planta, estando este fato associado à redução na proporção entre folhas e colmos em estádios avançados de maturidade (Waramit et al., 2011).

Extração do caldo de capim-elefante

A extração do caldo em moendas adequadamente dimensionadas pode ser muito eficiente e apresentar-se econômica e tecnicamente viável por reduzir consideravelmente o tempo e o gasto energético do processo de secagem do bagaço de capim-elefante. Como alternativa ao aprimoramento do processo de secagem do capim-elefante, a desidratação da biomassa por meio da extração do caldo em moendas proporciona expressivas reduções no conteúdo de água e nutrientes minerais (constituintes das cinzas), melhorando a qualidade do combustível sólido (bagaço) por aumentar seu poder calorífico.

Estudo realizado na Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Tabuleiros Costeiros, com auxílio de uma em moenda semi-industrial com rolos de inox, foram extraídos os caldos dos colmos de seis variedades elite de capim-elefante pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Gado de Leite (Figura 2).



Fotos: Anderson Carlos Marafon

Figura 2. Extração do caldo dos colmos de capim-elefante: A - Moenda com rolos de aço inoxidável; e B - Caldo extraído. Rio Largo, AL, 2021.

O rendimento de caldo das variedades variou de 188,5 (Madeira) à 233,3 L Mg^{-1} (T_HE7). O teor médio de umidade da biomassa fresca, que estava em 68,1% antes do processo de extração do caldo passou para um teor médio de 53,7% de umidade após a extração do caldo foi o que correspondeu à uma redução percentual média de 21,2% no teor de umidade do bagaço do capim-elefante (Tabela 1).

Tabela 1. Rendimento de caldo e umidade do bagaço de variedades de capim-elefante aos 6 meses após o plantio. Rio Largo, AL, 2021.

Variedade	Umidade inicial dos colmos (%)	Rendimento de caldo (L Mg ⁻¹)	Teor de sólidos solúveis totais (°Brix)	Umidade final do bagaço (%)
Madeira	66,2	188,5	7,5	53,7
Panamá	69,3	232,0	5,5	53,2
King Grass	68,3	197,9	7,0	54,8
BRS Capiaçú	67,9	189,3	7,5	55,0
T_HE1	68,2	229,0	7,5	52,6
T_HE7	68,9	233,3	7,0	52,8

Estudos anteriores demonstraram ser possível extrair mais de 200 litros de caldo por tonelada ou megagrama de matéria fresca de capim-elefante (Dayton et al., 1999; Sumner; Hellwig, 1988). Dayton et al. (1999) observaram reduções nos teores de cloro (40% a 50%) e potássio (37% a 84%), principais elementos causadores de corrosão e incrustação em fornos e caldeiras, após a extração do caldo do capim-elefante. De acordo com os autores, a lixiviação simples com água é capaz de remover grandes frações de metais alcalinos da biomassa (cerca de 80% do potássio e do sódio e de 90% do cloro).

Em relação ao teor de sólidos solúveis, as variedades T_HE1, Madeira e BRS Capiaçú apresentaram os maiores valores (7,5 °Brix) dentre os demais genótipos. Cunha et al. (2022) constataram que os teores de sólidos solúveis (°Brix) em 32 acessos de capim-elefante, aos 100 dias de crescimento, variaram de 4,08 a 6,98 °Brix, sendo que 35% das variedades apresentaram teores de açúcares considerados adequados para produção de silagem, por fornecerem uma fermentação adequada e evitarem o desenvolvimento de fermentações secundárias indesejáveis (Gourley; Lusk, 1978).

Neste estudo, também foram constatadas excelentes características qualitativas do caldo das variedades de capim-elefante (Tabela 2).

Tabela 2. Análise qualitativa do caldo de variedades de capim-elefante aos 6 meses após o plantio. Rio Largo, AL, 2021.

Variedade	ART (%)	pH	C org (g L ⁻¹)	N total (g L ⁻¹)	P ₂ O ₅ (g L ⁻¹)	K ₂ O (g L ⁻¹)	Ca (g L ⁻¹)	Mg (g L ⁻¹)
Madeira	0,98	5,26	13,36	1,72	0,55	4,13	1,26	0,89
Panamá	0,79	5,22	8,49	1,11	0,16	2,78	1,28	0,39
King Grass	0,94	5,05	12,08	1,09	0,13	4,41	0,63	0,39
BRS Capiaçú	0,91	5,12	9,93	0,73	0,16	3,26	0,72	0,58
T_HE1	0,95	5,05	10,55	1,32	0,27	3,17	0,81	0,58
T_HE7	0,76	5,17	6,91	0,61	0,12	2,20	0,88	0,34

As cadeias de suprimento de biomassa para produção de bioenergia envolvem elementos críticos que influenciam a viabilidade dos investimentos. Tais cadeias devem ser modernizadas e otimizadas para melhorar a competitividade dos projetos de bioenergia. A secagem natural da biomassa deve ser favorecida, tanto quanto possível, para evitar processamento front-end intensivo e dispendioso em energia em plantas industriais (Seebaluck; Leal, 2015).

Considerações finais

A viabilização do sistema de produção do capim-elefante como biomassa energética ainda necessita superar obstáculos, dentre eles a utilização de um maquinário adequado, robusto, acessível e que seja capaz de triturar esse material altamente fibroso.

Por apresentar elevada umidade e baixa densidade, o custo com transporte da forragem do capim-elefante torna-se um fator muito relevante na adoção do cultivo dessa espécie como fonte de biomassa para fins energéticos. Neste sentido, a secagem solar da biomassa e a desidratação dos colmos através da extração do caldo são práticas que podem contribuir para aumentar a viabilidade econômica desta atividade.

A redução da umidade através da secagem ao sol é um processo de baixo custo que aumenta a densidade energética da biomassa, proporcionando a

redução de custos de transporte e estocagem da biomassa e aumentando a eficiência do processo de combustão. O aumento na densidade energética proporcionado pela secagem melhora a rentabilidade econômica da atividade, especialmente pela redução de custos com armazenamento e transporte, visto que os custos envolvidos nas operações de corte, transbordo, transporte e descarregamento respondem por mais de 35% do custo total de produção da biomassa.

A desidratação dos colmos do capim-elefante utilizando moendas é uma excelente alternativa para aumentar a densidade energética da biomassa, com a possibilidade de aproveitamento do caldo resultante do processo de extração, na produção de biometano, como biofertilizante organomineral e/ou outra aplicação.

Referências

- CUNHA, T. B.; PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. S.; DAHER, R. F.; MACHADO, J. C. Sugar content variation in elephant grass germplasm. **Ciência Rural**, v. 52, n. 1, e20200739, 2022.
- COUTO, L. C.; ABRAHÃO, C.P.; FARIA, E.R.; COUTO, L.M.F. Utilizações energéticas da biomassa vegetal. **Biomassa & Energia**, v. 5, n. 1, p. 85-106, 2012.
- DAYTON, D. C.; JENKINS, B. M.; TURN, S. Q.; BAKKER, R. R.; WILLIAMS, R. B.; BELLE-ODRY, D.; HILL, L. M. Release of inorganic constituents from leached biomass during thermal conversion. **Energy & Fuels**, v. 13, p. 860-870, 1999.
- 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.
- FUSCO, L.; JEANMART, H.; BLONDEAU, J. A modelling approach for the assessment of an air-dryer economic feasibility for small-scale biomass steam boilers. **Fuel Processing Technology**, v. 134, p. 251-258, 2015.
- GOURLEY, L. M.; LUSK, J. W. Genetic parameters related to sorghum silage quality. **Journal of Dairy Science**, v. 61, n. 12, p. 1821-1827, 1978.
- JENKINS, B.; BAXTER, L. L.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel processing technology**, v. 54, n. 1, p. 17-46, 1998.
- LEWANDOWSKI, I.; HEINZ, A. Delayed harvest of *Miscanthus* - influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p. 45-63, 2003.
- LI, H.; CHEN, Q.; ZHANG, X.; FINNEY, K. N.; SHARIFI, V. N.; SWITHENBANK, J. Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: A case study. **Applied Thermal Engineering**, v. 35, p. 71-80, 2012.

MARAFON, A. C.; AMARAL, A. F. C.; MACHADO, J. C.; CARNEIRO, J. C.; BIERHALS, A. N.; GUIMARAES, V. S. Chemical composition and calorific value of elephant grass varieties and other feedstocks intended for direct combustion. **Grassland Science**, v. 67, n. 3, p. 241-249, 2021.

MARAFON, A. C.; MACHADO, J. C.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARAES, V. S. Secagem solar da biomassa do capim-elefante para uso em combustão direta. In: FELSEMBURGH, C. A. **A produção do conhecimento na engenharia florestal**. Ponta Grossa: Editora Atena, 2020. p. 156-166.

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

NAKAI, D. K.; MAY, A.; SILVA, M. A.; PARRELLA, R. A. C. **Uso do sorgo biomassa em caldeiras de combustão**: cuidados, precauções e fatores relacionados à qualidade da matéria-prima. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 205).

PAIVA, H. L. **Secagem do capim-elefante visando o aumento da eficiência do processo de conversão térmica. Monografia de Graduação em Agronomia**. 33 f. 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, Alagoas, 2017.

QUESADA, M. D.; 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).

ROTZ, C. A.; SHINNERS, K. J.; DIGMAN, M. Hay Harvest and Storage. In: MOORE, K. J.; COLLINS, M.; NELSON, C. J.; REDFEARN, D. D. **Forages: the science of grassland agriculture**. 7. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2020. v. 2, p. 749-765.

SEEBALUCK, V.; LEAL, M. R. L.V. Feedstock Supply Chains In: SOUZA, G. M.; VICTORIA, R. L.; JOLY, C. A.; VERDADE, L. M. (ed.). **Bioenergy & Sustainability: bridging the gaps**. São Paulo: SCOPE, 2015. (SCOPE, 72) p. 348-373.

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

SUMNER, H. R.; HELLWIG, R. E. Crushing rolls to accelerate napiergrass drying. **Biomass**, v. 15, p. 1-9, 1988.

TORQUATO, S. A.; JESUS, K. R. E. Complementaridade da matriz energética brasileira: o potencial da cana-de-açúcar e seus co-produtos. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 10., 2015, São Paulo. **Meio Urbano, meio rural e desenvolvimento sustentável**: anais, São Paulo: USP, 2015. 11 p. 1-11.

VIOLANTE, M. H. S. R. **Potencial de produção de cana-energia em áreas agrícolas marginais no Brasil**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Fundação Getúlio Vargas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2012.

WARAMIT, N.; MOORE, K. J.; HEGGENSTALLER, A. H. Composition of native warm-season grasses for bioenergy production in response to nitrogen fertilization rate and harvest date. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 655-662, 2011.

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

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

1ª edição

Publicação digital - PDF (2021)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente

Marcelo Ferreira Fernandes

Secretário-Executivo

Ubiratan Piovezan

Membros

*Aldomário Santo Negrisol Júnior, Ana da Silva
Lédo, Angela Puchnick Legat, Elio Cesar
Guzzo, Fabio Enrique Torresan,
Josué Francisco da Silva Junior, Julio Roberto
Araujo de Amorim, Karina Neoob de Carvalho
Castro, Renata da Silva Bomfim Gomes*

Supervisão editorial e editoração eletrônica

Aline Gonçalves Moura

Normalização bibliográfica

Joseete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa

Anderson Carlos Marafon