

QUALIDADE DA BIOMASSA CULTIVADA NA REGIÃO SUL DA BAHIA E SEU IMPACTO NO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO

João Vitor Morais da Silva¹; Dalton Longue Júnior²; Mara Lucia Agostini Valle³; Rafaella Dias Ramos⁴; Henrique Rocha Lima⁵

¹Mestrando em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (joaomoraisart@gmail.com); ² Professor Titular, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (dalton@uesb.edu.br); ³Professora, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, BA (maraagostini@ufsb.edu.br); ⁴Mestranda, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (ra.fadias@gmail.com); ⁵ Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA (henlima18@gmail.com)

RESUMO

A demanda e crescente uso de fontes de energia renováveis e sustentáveis tem desencadeado possibilidades viáveis na substituição de materiais oriundos de fontes fósseis. Entre essas possibilidades, o uso de resíduos florestais tem ganhado destaque como uma alternativa promissora. A carbonização desses resíduos lignocelulósicos pode acumular energia em forma de carvão vegetal, e a qualidade desse material influencia diretamente no desempenho da cadeia produtiva. Com isso, o objetivo desta pesquisa foi determinar a densidade básica de materiais lignocelulósicos *Theobroma cacao* (galhos e troncos), *Erythrina poeppigiana*, *Cordia trichotoma* e *Eucalyptus spp.*, espécies oriundas dos sistemas de cultivo de cacau na região do sul da Bahia, e seu grau de influência nos rendimentos dos processos de carbonização. A densidade básica variou de 292 a 429 kg/m³, onde o cacau - galho apresentou o maior valor. Os valores de rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentaram uma variação de 30,4% a 33,1%, onde a *E. poeppigiana* apresentou o maior resultado. Por meios comparativos, foi possível constatar que a densidade influencia positivamente no rendimento gravimétrico do carvão vegetal e em gases não condensáveis, contudo, negativamente no rendimento de gases condensáveis (licor pirolenhoso).

Palavras-chave: Densidade básica; licor pirolenhoso; gases não condensáveis; rendimento.

INTRODUÇÃO

Diante a atual crise ambiental e das graves consequências que o planeta vem enfrentando devido ao uso predominante de combustíveis fósseis, a busca por novas fontes alternativas de energia e combustíveis mais limpos tem ganhado visibilidade mundialmente. Existe uma grande expectativa de que nos próximos anos seja possível promover o desenvolvimento econômico sem comprometer o meio ambiente e as necessidades humanas atuais e futuras, base do desenvolvimento sustentável. Uma alternativa para superar esse desafio é promover o uso da biomassa como fonte primária de energia, possibilitando a sustentabilidade ambiental e o atendimento das necessidades energéticas da sociedade.

As fontes de energias renováveis correspondem a aproximadamente 15% da matriz energética mundial, e o Brasil se destaca como líder na utilização dessa energia, totalizando 47,4%, quase metade da energia consumida em todo o país (BEN, 2023). O consumo e uso de recursos energéticos oriundos de lenha e carvão vegetal no país corresponde a 8,4% (EPE, 2023).

As fontes de energias não renováveis seguem sendo como as maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa, efetivas nas mudanças climáticas, correspondendo a 85,3% do consumo mundial (EPE, 2023). Neste contexto, uma das alternativas viáveis é a geração de energia a partir da utilização e aproveitamento de resíduos provenientes da biomassa florestal. Segundo a resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023), uma parte da biomassa é classificada como recurso energético, que abrange a biomassa florestal e agrícola, que incluem as culturas destinadas à produção de energia, bem como seus resíduos.

A utilização de resíduos agroflorestais visa uma prática relevante para sustentabilidade e economia circular, em que cerca de 88% dos resíduos gerados pelas indústrias são destinados para geração de energia, e incluem cascas, galhos, folhas, cavacos, serragem e licor preto (IBA, 2023).

O conhecimento dos materiais lignocelulósicos a serem utilizados no processo de carbonização é de suma importância, visando técnicas produtivas mais eficientes e econômicas. Fatores como densidade básica, teor de lignina e umidade exercem influência significativa no rendimento gravimétrico em carvão vegetal, licor pirolenhoso e alcatrão. Sendo assim, são necessárias investigações mais detalhadas a respeito das características e qualidade do carvão vegetal, visando sua melhor aplicação e destinação (TELEKEN et al., 2022; FORTALEZA et al., 2019), bem como avaliação dos processos de carbonização desses materiais.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos materiais lignocelulósicos oriundos de cultivos de *Theobroma cacao* (galhos e troncos), *Erythrina poeppigiana*, *Cordia trichotoma* e *Eucalyptus spp*, localizados na região Sul da Bahia e seu impacto no processo de carbonização.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo e amostragem da madeira

O material utilizado na pesquisa, foi coletado nas áreas experimentais da CEPLAC/UFSB (Universidade Federal do Sul da Bahia), que está localizada em Ilhéus-BA (coordenadas geográficas: 14°47'6,84" S, 39°12'53.26" O). O clima na área de pesquisa é caracterizado como Af, tropical-úmido, com uma média anual de precipitação de 1.830 mm, umidade relativa do ar de 80% e temperatura média anual variando entre 21,5 e 25,5 °C (CARVALHO et al., 2018).

O estudo consistiu na avaliação de cinco materiais lenhosos: cacau (*Theobroma cacao*) cacau galho, claraíba (*Cordia trichotoma*), eritrina (*Erythrina poeppigiana*) e eucalipto (*Eucalyptus spp*). Os materiais foram cortados em discos, divididos ao meio perpendicularmente à base, sendo metade transformada em cunhas para a determinação da densidade básica da madeira, enquanto a outra metade foi convertida em fragmentos de aproximadamente 6,4 cm para carbonização.

Determinação da densidade básica da madeira

A densidade básica da madeira das cunhas foi determinada de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (2003), que teve como base o método de imersão em água (balança hidrostática) descrito por Vital (1984), determinado pela correlação entre a massa seca e o volume saturado da madeira (Equação 1).

$$DB = \frac{Ms}{V_{sat}} * 1000 \quad \text{Equação 1}$$

Em que: DB = densidade básica da madeira (kg/m³); Ms = massa seca (g); V_{sat} = volume saturado (cm³).

Determinação dos rendimentos da carbonização

Os processos de carbonização da madeira foram avaliados pelo rendimento gravimétrico em carvão (RCV), conforme Equação 2; rendimento em gases condensáveis (RGC), conforme Equação 3; e rendimento em gases não condensáveis (RGNC), conforme Equação 4.

$$RCV = \frac{M_c}{M_m} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

Sendo: RCV = rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%); M_c = massa do carvão (g); M_m = massa da madeira seca (g).

$$RGC = \frac{M_l}{M_m} * 100 \quad \text{Equação 3}$$

Sendo: RGC = rendimento gravimétrico em gases condensáveis (%); M_l = massa de gases condensáveis – licor pirolenhoso (g); M_m = massa da madeira seca (g).

$$RGNC = 100 - (RCV + RGC) \quad \text{Equação 4}$$

Sendo: RGNC = rendimento gravimétrico de gases não condensáveis (%); RCV = rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%); RGC = rendimento gravimétrico em gases condensáveis (%).

Análise estatística

A análise estatística dos dados foi realizada por meio da estatística descritiva, utilizando gráficos de correlação entre as variáveis, linhas de tendência e coeficiente de determinação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de densidade básica dos materiais avaliados variaram entre 292 a 429 kg/m³, onde a variação do cacau galho apresentou os maiores valores em relação as demais (429 kg/m³), enquanto a eritrina apresentou a menor densidade básica (292 kg/m³). De acordo com Silva et al. (2015), espécies florestais que apresentam densidade básica inferior a 550 kg/m³ são classificadas como espécies de baixa densidade. Essa variabilidade da densidade básica ocorre devido aos diferentes tipos de materiais lignocelulósicos avaliados.

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentou uma variação de 30,4% (cacau tronco) e 33,1% (eritrina). Segundo Trugilho *et al.* (2001), a densidade da madeira desempenha papel crucial na produção de carvão vegetal, pois quanto maior a densidade da madeira, maior será o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, com base no volume de madeira utilizado.

Foi possível observar que existe uma influência negativa entre a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico do carvão, com um grau de correlação entre essas variáveis elevado, de 70,8%, devido os materiais cacau galho e eritrina terem apresentado comportamento divergente a linha de tendência apresentada (Figura 1). De acordo com Santos *et al.* (2011) e Souza *et al.* (2021), a densidade básica da madeira desempenha grande influência na fabricação do carvão vegetal, onde durante o processo de degradação térmica da madeira, aproximadamente 60% da sua massa é perdida, ao utilizar madeiras com alta densidade básica, é possível obter um rendimento gravimétrico maior em carvão vegetal a partir do mesmo volume de madeira.

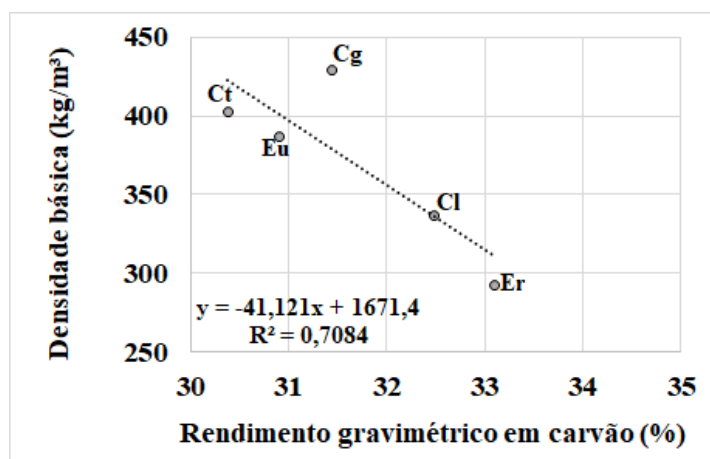


Figura 1 – Relação entre a densidade básica e rendimento gravimétrico em carvão vegetal de cinco materiais lignocelulósicos cultivados na região Sul da Bahia.

Em que: Ct (cacau tronco), Cg (cacau galho), Cl (claraíba), Er (eritrina), Eu (eucalipto).

Embora a literatura geralmente aponte uma relação positiva entre a densidade básica do material e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, os dados desta pesquisa revelaram uma correlação inversa. Ou seja, materiais lignocelulósicos com maior densidade básica apresentaram menores rendimentos em carvão. Uma possível explicação para essa divergência pode estar na composição química dos materiais analisados. Madeiras com maiores frações de carboidratos, como hemiceluloses, e extrativos voláteis, tendem a sofrer maior perda de massa durante a decomposição térmica e menor retração volumétrica, resultando em menor densidade do carvão. Além disso, madeiras com baixos teores de carbono fixo podem apresentar maior degradação e menor redução volumétrica durante o processo.

Conforme ilustrado na Figura 2, foi possível observar uma regular correlação positiva entre a densidade básica da madeira e o rendimento em gases condensáveis ($R^2 = 30,8\%$). Os materiais cacau galho e eritrina foram os que mais colaboraram para esse menor valor. Essa correlação é complexa e depende de vários fatores, como a composição e estrutura do material lenhoso, além das condições do processamento, tais como a temperatura e o tempo de pirólise. Compreender as interações entre a densidade básica e o rendimento de gases condensáveis é fundamental para a otimização do processo de carbonização, uma vez que esses fatores influenciam diretamente a eficiência e a qualidade dos produtos gerados (COSTA *et al.*, 2020).

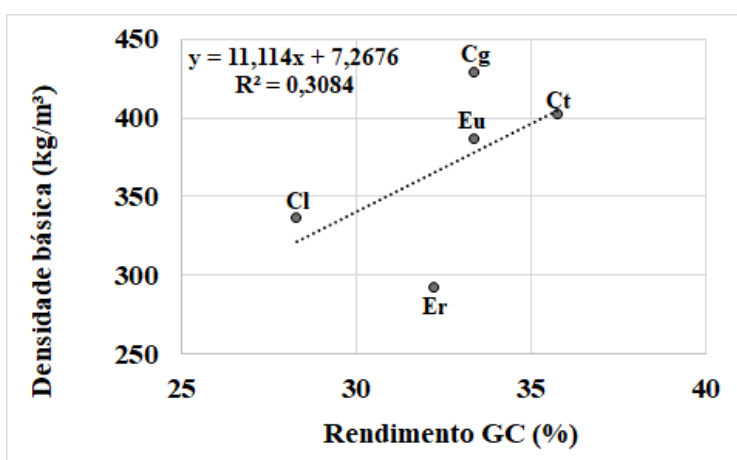


Figura 2 - Relação entre a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico em gases condensáveis de cinco materiais lignocelulósicos cultivados na região Sul da Bahia.

Em que: Ct (cacau tronco), Cg (cacau galho), Cl (claraíba), Er (eritrina), Eu (eucalipto).

Como mostrado na Figura 3, foi possível observar uma influência negativa entre a densidade básica da madeira e o rendimento de gases não condensáveis, ou seja, materiais com maiores densidade básica da madeira apresentaram menores rendimentos em gases não condensáveis. Entretanto, o grau de correlação entre essas variáveis foi mediano, de 7,7%, devidos os materiais cacau galho e eritrina terem apresentado comportamento diferente a tendência apresentada.

Em estudos com diferentes resíduos de madeira da silvicultura urbana, Meire *et al.* (2021) encontrou uma correlação entre os diversos fatores influentes no processo de decomposição térmica da madeira, onde a densidade básica da madeira apresentou correlação positiva com rendimento em carvão vegetal, em contra partida correlação negativa com o rendimento de líquido pirolenhoso e gases não condensáveis, estes influenciados pelo teor de umidade.

Madeiras de menor densidade básica tendem a apresentar maior rendimento em gases não condensáveis, enquanto madeiras de maior densidade produzem mais massa de carvão vegetal e menor massa de gases não condensáveis. Essa relação depende da composição química da madeira e do processo de decomposição térmica utilizado. De acordo com os estudos de Uddin *et al.* (2013), o rendimento em licor pirolenhoso e gases não condensáveis sofrem influência direta de diversos fatores, dentre eles a composição da biomassa utilizada e teor de umidade existente nela.

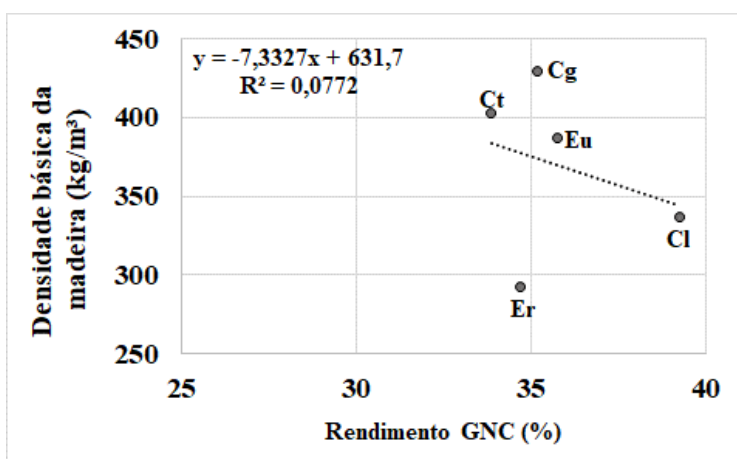


Figura 3 - Relação entre a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico em gases não condensáveis de cinco materiais lignocelulósicos cultivados na região Sul da Bahia.

Em que: Ct (cacau tronco), Cg (cacau galho), Cl (claraíba), Er (eritrina), Eu (eucalipto).

CONCLUSÃO

Em conclusão aos resultados apresentados, a densidade básica das espécies avaliadas, apresenta interferência significativa no rendimento gravimétrico do carvão vegetal. Todavia, em relação aos rendimentos em líquido pirolenhoso e gases não condensáveis, sua influência foi pouco significativa. Com isso, novos estudos acerca dos parâmetros avaliados são necessários, a fim de obter mais informações e maior precisão correlativa entre os parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA -ANEEL. **Setor elétrico no caminho da inovação. Revista pesquisa e desenvolvimento da ANEEL.** Brasília, nº3, 2009. Acesso em: 24 de maio de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-11941: Madeira – Determinação da densidade básica.** Rio de Janeiro, 2013.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN, 2023.

COSTA, Júlia Melo Franco Neves et al. **Influência da temperatura de pirólise nas emissões gasosas, rendimentos e densidade do carvão vegetal.** Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science), v. 11, n. 1, 2020.

DA SILVA, Carlos José; DO VALE, Ailton Teixeira; MIGUEL, Eder Pereira. **Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins.** Pesquisa Florestal Brasileira, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.

DE CARVALHO, Perla Silva Matos et al. **VARIABILIDADE ESPACIAL DA FERTILIDADE DE UM SOLO CULTIVADO COM CACAUEIRO 1.** Revista Engenharia na Agricultura, v. 26, n. 2, p. 178-189, 2018.

DE MEIRA, Ana Maria et al. **Insights into the reuse of urban forestry wood waste for charcoal production.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 23, p. 2777-2787, 2021.

DE SOUSA JÚNIOR, Wagner Patrício. **Densidade básica da madeira e propriedades do carvão vegetal do híbrido Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla sob influência dos espaçamentos de plantio.**

DOS SANTOS¹, Rosimeire Cavalcante et al. **Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto** Correlation of quality parameters of wood and charcoal of clones of eucalyptus. 2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Matriz energética e elétrica (governo federal).** 2023.

FORTALEZA, Amanda Pinheiro et al. **Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal.** Ciência Florestal, v. 29, p. 1436-1451, 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório anual 2023.**

TELEKEN, Joel Gustavo et al. **Produção de carvão vegetal de uso siderúrgico a partir de resíduos da exploração florestal.** In: OPEN SCIENCE RESEARCH VIII. Editora Científica Digital, 2022. p. 154-172.

TRUGILHO, Paulo Fernando; DA SILVA, Dimas Agostinho. **Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (Himenea courbaril L.).** Scientia Agraria, v. 2, n. 1, p. 45-53, 2001.

UDDIN, Md Nasir; DAUD, WMA Wan; ABBAS, Hazim F. **Potential hydrogen and non-condensable gases production from biomass pyrolysis: insights into the process variables.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 27, p. 204-224, 2013.

VITAL, Benedito Rocha. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, MG: SIF, v. 501, 1984.