

Qualidade de resíduos madeireiros estocados em serrarias na Amazônia para fins energéticos

Wesley Wilker Corrêa Morais¹, José Otávio Brito², Artur Queiroz Lana², Carlos Rogério Andrade³, Ananias Francisco Dias Júnior⁴, Janice Bittencourt Facco Morais¹

¹Universidade Estadual de Roraima, Campus Rorainópolis, UERR, Av. Senador Helio Campos SN, Centro, Rorainópolis, RR - Brasil

²Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba, SP, Brasil.

³Universidade Federal de Jataí, UFJ, Campus Cidade Universitária, BR 364, km 195, nº 3800, GO, Brasil.

⁴Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Av. Governador Lindemberg, nº 316, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil.

Original Article

*Corresponding author:
wesley_eng@yahoo.com.br

Palavras-chave:
Armazenamento de resíduos
a céu aberto

Seções das pilhas

Efeitos da estocagem

Keywords:
Storage of wood waste
exposed to atmosphere

Parts of wood pile

Effects of storage

Received in
2023/04/10

Accepted on
2024/01/25

Published in
2024/03/31



DOI:
[http://dx.doi.org/
10.34062/afs.v11i1.16403](http://dx.doi.org/10.34062/afs.v11i1.16403)

RESUMO: A estocagem ao ar livre pode alterar qualidade dos Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM). Nesse sentido, objetivou-se avaliar as características físicas, químicas e energéticas de RFDM amazônicos das diferentes seções das pilhas preexistentes estocadas em serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis, Roraima. Foram realizados ensaios de granulometria, umidade na base úmida, pH, solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, densidade à granel, extrativos totais, lignina, holocelulose, materiais voláteis, cinza, carbono fixo e poder calorífico superior (PCS). As seções das pilhas apresentaram comportamentos estatisticamente distintos para a maioria das características físicas, químicas e energéticas. As seções da base e meio das pilhas obtiveram comportamentos similares e distintos do topo das pilhas, as exceções foram os ensaios de pH, solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, extrativos da madeira e cinza. Com base nos resultados obtidos, pode-se comprovar que os RFDM sofreram alterações químicas e energéticas durante o processo de estocagem. Além disso, a estocagem contribuiu para o aumento do PCS na base e no meio das pilhas, devido ao maior percentual de lignina presente nas amostras. Os RFDM das distintas seções das pilhas possuem potencial inicial para a produção energética.

Quality of wood waste stored in sawmills in the Amazon for energy purposes

ABSTRACT: Storage of wood waste exposed to atmosphere may alter the quality of the Fine Wastes of Sawed Wood (RFDM). Thus, the objective was to evaluate the physical, chemical and energetic characteristics of Amazonian RFDM from the different sections of the different sections of the preexisting piles stored at sawmills in the Rorainópolis Timber Hub, state of Roraima, Brazil. The tests were granulometry, moisture (wet basis), hydrogen potential, solubility of the wood in 1% sodium hydroxide solution, bulk density, extractives of wood, lignin, holocellulose, volatile materials, ash, fixed carbon and higher heating value (PCS). The sections of the piles presented statistically different behaviors for most of the physical, chemical and energetic characteristics. The sections of the base and middle of the piles obtained similar and distinct behaviors from the top of the piles, exceptions were the tests of hydrogen potential, solubility of the wood in 1% sodium hydroxide solution, extractives of wood and ash. Based on the results obtained, the RFDM underwent chemical and energetic changes during the storage process. In addition, storage contributed to the increase of PCS at the base and in the middle of the piles, due to the higher percentage of lignin present in the samples. Based on the results obtained, the RFDM of the different sections of the piles have initial potential for energy production.

Introdução

O pólo madeireiro de Rorainópolis iniciou suas atividades durante a década de 80, e desde então, exerce papel importante na absorção de mão de obra local e na geração de receitas no estado de Roraima, Brasil (Morais, 2018). Inclusive, o pólo destaca-se em nível nacional devido ao volume de toras desdobradas de espécies nativas da Amazônia. Contudo, em decorrência do baixo aproveitamento das toras, a atividade madeireira produz um volume expressivo de resíduos, principalmente, os Resíduos Finos de Desdobro da Madeira (RFDM).

Os RFDM são constituídos por maravalhas, serragens e pó (Morais, 2018). Em geral, os RFDM produzidos no pólo são estocados em pilhas ao ar livre, que além de ocuparem amplos espaços nos pátios das serrarias, causam impactos ambientais, sanções financeiras e administrativas. A estocagem dos resíduos como alternativa de destinação final é resultado do desconhecimento técnico dos responsáveis pelos empreendimentos e da falta de alternativas adequadas à realidade amazônica.

Para a escolha de alternativas do uso desses resíduos submetidos a estocagem, é essencial ter o conhecimento de suas características físicas, químicas e energéticas nas distintas seções (base, meio e topo) das pilhas. É consenso que os resíduos recém produzidos possuem características distintas dos resíduos estocados, por não apresentarem influências de fatores edafoclimáticos do local de estocagem (Bjorheden e Eriksson, 1990; Brand et al., 2005).

Além das características dos resíduos, deve-se considerar as necessidades preexistentes nos locais de geração dos RFDM. No caso específico de Roraima, há deficiências na geração e distribuição de energia elétrica. O estado possui sistemas elétricos isolados, sem interligação ao sistema nacional. Boa parte da energia consumida na capital do estado, Boa Vista, e em grande parte dos municípios, inclusive no pólo madeireiro de Rorainópolis, é oriundo do complexo de Guri, situado na Venezuela, e de termoelétricas brasileiras a diesel.

Com a crise financeira e os períodos de estiagens na Venezuela, as regiões abrangidas por este sistema em Roraima não são atendidas de forma eficiente, já que sofrem com constantes apagões e variações de tensão. Esses problemas, geralmente, não são solucionados de forma satisfatória pela usina termoelétrica, localizada em Boa Vista, que representa um custo mensal de 26 milhões, independente da necessidade de sua utilização (Folhabv, 2018).

Em razão desses problemas, parte das serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis investiram em geradores a diesel, de baixa autonomia, poluentes e que só conseguem suprir a falta de energia por curtos períodos. Entretanto, a falta de energia, normalmente, perdura por períodos

superiores ao tempo de autonomia dos geradores. Em consequência disso, e por falta de alternativas, as serrarias interrompem suas atividades até a normalização da transmissão de energia elétrica. Logicamente, a paralisação forçada gera prejuízos ao pólo madeireiro e a todo sistema econômico do estado.

Uma alternativa que pode contribuir para suprir as necessidades energéticas locais, desde que seja comprovado seu potencial, é o aproveitamento dos RFDM. Ao aproveitar estes resíduos estocados em pilhas para fins energéticos é proporcionada uma correta destinação final, conforme preconizado nas políticas públicas sobre o gerenciamento de resíduos sólidos.

Além disso, pesquisas que avaliem a viabilidade de uso da biomassa madeireira estocada no pólo de Rorainópolis poderiam servir como subsídio para o uso em termoelétricas de biomassa, que contribuiriam para a geração de energia. Ressalta-se que o pólo termoelétrico a diesel de Boa Vista, que supre a demanda energética do município de Rorainópolis, em casos de emergências, está localizado a aproximadamente 300 km de distância. Por conta desta distância, a distribuição de energia tende a apresentar perdas energéticas, o que favorece a ocorrência de oscilações na rede elétrica. Para mitigar as perdas torna-se necessário o maior número de unidades geradoras no sistema de distribuição elétrica. Observa-se que o uso da biomassa em detrimento ao diesel está em linha com os objetivos do desenvolvimento sustentável da ONU, além de mitigar a emissão dos gases de efeito estufa advindos da queima de combustíveis fósseis.

Neste sentido, objetivou-se avaliar as características físicas, químicas e energéticas de resíduos finos do desdobro madeireiro amazônicos das diferentes seções das pilhas preexistentes estocadas em serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis, Roraima.

Material e Métodos

Foram coletadas amostras de RFDM estocados a céu aberto em uma pilha de cada uma das três de serrarias visitadas no pólo madeireiro de Rorainópolis, situado no estado de Roraima. A coleta foi realizada nas três seções (base, meio e topo) das pilhas, conforme preconizado pela NBR 10.007 (ABNT, 2004). Foram coletadas oito alíquotas em cada seção por pilha (Figura 1) utilizando-se trado calador inclinado a 45° da superfície da alíquota.

Em cada alíquota das seções das pilhas foram coletadas, aproximadamente, amostras de um quilo de RFDM, à umidade de equilíbrio. As alíquotas da mesma pilha e seção foram misturadas utilizando-se betoneira a 1750 rpm por 5 minutos, para homogeneização das amostras. Após este processo,

foram retiradas amostras de 250 gramas por seção e pilha para a caracterização química a unidade de equilíbrio. Os RFDM restantes foram identificados por pilha e seção e, em seguida, foram submetidos à secagem em estufa a 100°C até massa constante para o transporte até o Laboratório de Química, Celulose e Energia – ESALQ/USP em Piracicaba, SP.

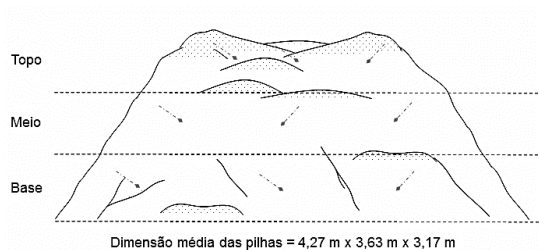


Figura 1. Alíquotas para retirada de amostras das pilhas de RFDM nas distintas seções (base, meio e topo) em serrarias localizadas na Amazônia.

Foi realizado o levantamento das condições meteorológicas médias da região, no período de agosto a novembro (mês da coleta) de 2016, por meio do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022).

Para a realização dos ensaios físicos, granulometria (ABNT, 1987), umidade base úmida (ABNT, 1997), pH (Morais et al., 2021), densidade granel (ABNT, 1981), químicos, material solúvel em hidróxido de sódio (NaOH) a 1% (ABNT, 2010), extrativos totais (TAPPI T-12 os-75), lignina (T222 om-02) e holocelulose (calculada por diferença entre 100% e a soma das porcentagens de lignina e extrativos totais) e energéticos, materiais voláteis, cinza, carbono fixo, conforme a norma NBR 8.112 (ABNT, 1984), poder calorífico superior (ABNT, 1984b) dos RFDM.

As informações obtidas foram processadas e analisadas a partir da construção de um banco de dados utilizando o programa Excel 365. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, formado por três seções das pilhas com três repetições cada. Foi realizada a análise de variância, seguido do teste de Tukey, quando significativo, para distinção das médias entre as seções no Excel 365.

Resultados e Discussão

A média obtida para os fatores climáticos no período de agosto a novembro em 2016, foi de 28,3°C (com máxima de 33,7°C), 82,3% de umidade relativa, 3,7 mm de precipitação e em 60 dias não houve registro de precipitação. Essas informações indicam que as coletas nas pilhas foram realizadas durante o período estiagem na região.

O tempo de estocagem dos RFDM nas pilhas analisadas, segundo os responsáveis pelas serrarias, foram superiores a seis meses, sem a deposição de novos resíduos e não houve revolvimento nas pilhas.

Desse modo, não houve mistura das seções (base, meio e topo) durante a estocagem. Foi verificado que as pilhas de RFDM são constituídas, em sua maioria, por RFDM de maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev.).

Ao comparar as porcentagens de RFDM retidas nas peneiras (Tabela 1) nota-se que no topo da pilha a granulometria foi menor que as demais seções (base e meio). O comportamento granulométrico é explicado devido as serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis, assim como ocorre em grande parte das serrarias amazônicas, conduzem os resíduos produzidos pela serra fita (granulometria menor) por esteira, sem contato com o solo, até a caixa de coleta. A caixa de coleta quando cheia é transportada por trator equipado com garras para o descarregamento no topo pilha de estocagem, durante a preparação da próxima tora a ser desdobrada.

Tabela 1. Distribuição granulométrica dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias localizadas na Amazônia.

| Seções | Porcentagem retida na peneira | | | | |
|--------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|
| | > 4000 mm | 4000 - 0,600 mm | 0,600 - 0,600 mm | 0,600 - 0,600 mm | < 0,600 mm |
| Topo | 1,1ns (0,3) | 33,7ns (2,2) | 22,7B (1,0) | 25,0ns (0,4) | 17,5A (1,6) |
| Meio | 1,7ns (0,9) | 43,9ns (1,1) | 28,0AB (4,4) | 17,5ns (1,3) | 9,0B (3,7) |
| Base | 3,3ns (1,7) | 35,6ns (8,5) | 32,2A (2,9) | 22,6ns (6,2) | 6,2ns (3,1) |

Legenda: ns: indica que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas; ambas ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em %.

Por outro lado, os resíduos produzidos pelas serras circulares, em sua maioria, são transportados com o auxílio de carrinho de mão, limitando o acesso as seções superiores das pilhas. Além disso, as serras circulares produzem resíduos de maiores granulometria. Segundo Rocha (2002), a explicação para a diferença entre a granulometria do resíduo gerado pelas serras fitas e a disco, consiste, entre outros aspectos, ao perfil mais esbelto da fita de serra, resultando em menor perda de material durante a operação.

Na Tabela 2, nota-se que os topos das pilhas apresentaram os menores valores de umidade distinguindo-se das demais seções. O comportamento da umidade na pilha foi o esperado, menor no topo, resultado da exposição ao sol, e maior na base, devido à proximidade com o solo (mais úmido) e ao processo de lixiviação de substâncias solúveis em água.

Tabela 2. Umidade, pH, solubilidade em hidróxido de sódio e densidade à granel dos RFDm estocados em pilhas preexistentes em serrarias localizadas na Amazônia.

| Seções | UBU (%) | pH | Sol. NaOH (%) | Densidade à granel (kg/m ³) |
|--------|------------------|------------------|-----------------|---|
| Topo | 20,66B (2,0) | 4,89B (0,41) | 21,0A (0,9) | 302,8ns (14,5) |
| Meio | 48,02A (5,31) | 5,69AB (0,39) | 19,6AB (0,3) | 285,7ns (17,3) |
| Base | 48,61A (3,78) | 5,90A (0,34) | 17,8B (1,3) | 286,6ns (6,2) |

Legenda: UBU: Umidade Base Úmida; pH: Potencial hidrogeniônico; Sol. NaOH: Solubilidade em hidróxido de sódio a 1%; ns: indica que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas; ambas ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão na unidade em que cada ensaio foi realizado.

Além disso, segundo Thörnqvist (1985), a estocagem de resíduos madeireiros em pilhas a céu aberto promove a redistribuição da umidade, que varia de acordo com as condições climáticas. Conforme mencionado anteriormente, o período que antecedeu a realização da coleta foi de estiagem, portanto, a superfície e os topos das pilhas estavam mais secos e a umidade concentrou-se nas seções do meio e da base, conforme observado na Tabela 2.

De acordo com Ceragioli (2013), valores de umidade, na base úmida, acima de 30% reduzem o potencial energético das biomassas madeireiras. Ao observar os valores obtidos para umidade, nota-se que apenas os RFDm coletados no topo das pilhas conservariam o potencial energético. Portanto, para a eficiência energética, os resíduos madeireiros do meio e da base precisariam de algum procedimento de secagem, por exemplo, o manejo das pilhas.

Os pHs das distintas seções foram classificados como de baixa acidez. O valor de pH do topo (4,89) foi o menor quando comparadas as outras seções. Já a solubilidade em NaOH teve o comportamento oposto, ou seja, a maior solubilidade ocorreu no topo. Segundo Pandey (2005), os extrativos presentes na madeira são altamente absorvedores de radiação solar. Além disso, existe a maior exposição desta seção ao intemperismo, causado principalmente, pela incidência da fração ultravioleta da radiação solar, que altera as propriedades físicas e químicas dos RFDm (Feist e Hon, 1984). Outro fator importante, é que o pólo madeireiro de Rorainópolis é localizado próximo à linha do Equador, portanto, os raios solares incidem perpendicularmente, o que contribui para a maior degradação dos RFDm. De posse destas informações, e ao observar os valores obtidos para a

solubilidade em NaOH, constata-se que a degradação foi maior no topo do que nas demais seções das pilhas.

As seções das pilhas não apresentaram diferenças significativas estatisticamente para a densidade à granel (Tabela 2). Entretanto, o maior valor observado para a densidade à granel foi no topo, devido a maior concentração de resíduos < 0,250 mm (Tabela 1). Sabe-se que resíduos de menor granulometria compactam mais, quando comparados aos de maior granulometria, portanto, há o aumento do valor da densidade à granel.

As seções das pilhas diferenciaram entre si para os extrativos totais, 2,1%, 4,6% e 8,3%, para base, meio e topo, respectivamente (Tabela 3). Os baixos valores de extrativos totais obtidos nas bases das pilhas evidenciam o efeito da lixiviação de compostos solúveis em água para o solo. Brand et al. (2014) justificam que o ataque de fungos e bactérias causam o aumento da higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, há o aumento da umidade (verificado na Tabela 2), e com isso, ao longo do tempo de estocagem, a perda de extrativos é favorecida.

O menor valor de lignina foi observado nos topos das pilhas e distinguiu-se estatisticamente das demais seções. Este comportamento é resultado da fotodegradação dos RFDm, pois segundo Pastore et al. (2004), a lignina é o primeiro componente principal a ser decomposto pela ação da radiação e corresponde por 80% a 95% da absorção de radiação ultravioleta da madeira.

Tabela 3. Extrativos totais, lignina e holocelulose dos RFDm estocados em pilhas preexistentes em serrarias localizadas na Amazônia.

| Seções | ET (%) | Lignina (%) | Holocelulose (%) |
|--------|---------------|----------------|------------------|
| Topo | 8,3A (0,4) | 32,3B (0,5) | 59,4B (0,7) |
| Meio | 4,6B (0,3) | 34,0A (0,8) | 61,4A (0,8) |
| Base | 2,1C (0,7) | 34,9A (0,5) | 63,0B (0,7) |

Legenda: ET: Extrativos totais; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em %.

Ao observar a Tabela 3 e os dados obtidos por Morais et al. (2021), nota-se que os valores de lignina da base (34,9%) e do meio (34,0%) das pilhas foram superiores ao obtido pela maçaranduba (33,8%), espécie que segundo os responsáveis das serrarias, representa a maior porcentagem de resíduos na pilha. Ao comparar a base e o meio das pilhas com a maçaranduba, verifica-se que houve o aumento máximo de 1,1% dos valores de lignina. Conforme Brand e Muñiz (2012), o aumento de lignina é resultado da provável decomposição dos

RFDM por fungos de podridão parda, que deterioraram apenas a celulose e hemicelulose. Além disso, as autoras relatam o aumento do poder calorífico superior na base das pilhas.

Os maiores valores de holocelulose foram obtidos pelas seções da base (63,0%) e do meio (61,4%) distinguindo-se do topo (59,4%). A distinção para o valor de holocelulose resultante no topo foi causada, principalmente, devido aos baixos valores de extrativos totais obtidos nas seções da base e meio das pilhas.

As posições de coleta das pilhas não se diferenciaram estatisticamente para os materiais voláteis (Tabela 4). De acordo com a literatura, durante a estocagem de resíduos madeireiros ocorrem emissões de gases que resultam em perdas consideráveis de matéria seca da biomassa (He et al., 2014). Os gases emitidos geralmente são representados por CO₂, CO, CH₄ e outros compostos orgânicos voláteis, provenientes da oxidação térmica e da biodegradação aeróbica ou anaeróbica ocorridos nos resíduos madeireiros (He et al., 2012). As emissões de gases podem explicar a redução dos materiais voláteis nas seções da base e no meio da pilha, já que boa parte destas emissões provêm da parte central da pilha, região com maior umidade (Kuang et al., 2009; He et al., 2012).

Tabela 4. Materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e útil dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias localizadas na Amazônia.

| Seções | MV (%) | CZ (%) | CF (%) | PCS (kcal/kg) |
|--------|-----------------|---------------|-----------------|--------------------|
| Topo | 81,1ns (0,7) | 0,6B (0,1) | 18,4ns (0,6) | 4.426ns (178,9) |
| Meio | 80,7ns (0,6) | 0,9B (0,2) | 18,4ns (0,5) | 4.579ns (169,6) |
| Base | 80,7ns (1,9) | 1,8A (0,2) | 17,5ns (1,7) | 4.674ns (127,3) |

Legenda: MV: Materiais voláteis; CZ: Cinza; CF: Carbono fixo; PCS: Poder calorífico superior; ns: indica que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística entre as seções das pilhas; ambas ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão na unidade em que cada ensaio foi realizado.

As posições coletadas das pilhas proporcionaram diferenças significativas estatisticamente entre si, nota-se que a concentração de cinza diminuiu da base ao topo. O aumento da porcentagem de materiais inorgânicos na amostra é explicado pelo processo de degradação biológica dos RFDM, no qual os materiais inorgânicos presentes permanecem intactos (Thörnqvist, 1985). Inclusive, o mesmo autor cita que a decomposição é maior durante os primeiros quatro meses de estocagem em pilhas formadas por resíduos madeireiros particulados. Acrescenta-se que a umidade da base

foi superior as demais seções, segundo Park e Colato (2022), a umidade é um fator essencial para que ocorra a decomposição biológica. Além disso, os baixos valores de cinza obtidos pelas distintas seções comprovam que as pilhas não foram revolvidas durante o período de estocagem.

A base da pilha não se diferenciou estatisticamente dos demais pontos de coleta, entretanto, apresentou o menor valor de carbono fixo (17,5%). Este fato é resultado da ação de degradação biológica do RFDM na base da pilha. Inclusive, durante a coleta, foi observada a mudança de cor dos RFDM para tons escuros próximos ao preto.

O PCS variou de 4.426 kcal/kg (topo) a 4.674 kcal/kg (base) para as distintas seções (Tabela 4). Ao comparar com o PCS obtido por Morais et al. (2021) para 16 espécies amazônicas distintas verificou-se de 4.317 kcal/kg (*Bagassa guianensis*, tatajuba) a 4.939 kcal/kg (*Handroanthus* sp., ipê), intervalo pertencente aos valores obtidos. A média da base das pilhas apresentou acréscimo de aproximadamente 5% em relação ao valor obtido pelo topo.

De acordo com a Tabela 4, nota-se que o valor médio PCS aumentou do topo para a base, resultado do aumento nas porcentagens de lignina. Este comportamento também foi observado por Brand e Muñiz (2012). Deve ser ressaltado que o PCS expressa a quantidade de energia máxima liberada no processo de combustão, portanto, para a obtenção deste valor a amostra deverá estar seca (0% de umidade). Para que haja a obtenção da maior quantidade de energia oriunda da combustão, consequentemente, os RDFM devem ser submetidos a secagem.

Conclusões

A base apresentou similaridade estatística com o meio da pilha, quando houve significância no teste de Tukey, as exceções foram os ensaios de pH, solubilidade em hidróxido de sódio a 1%, extrativos totais e cinza.

Com base nos resultados obtidos, pode-se comprovar que os RFDM apresentaram alterações químicas durante o processo de estocagem. Além disso, a estocagem contribuiu para o incremento dos valores obtidos para o PCS na base e no meio em relação ao topo das pilhas, devido ao maior percentual de lignina presente nas amostras.

A base e o meio das pilhas apresentaram maior potencial energético, entretanto, recomenda-se a adoção do procedimento de secagem destas seções para facilitar a ignição e diminuir as perdas de energia dos RFDM estocados.

Referências

- ABNT Associação brasileira de normas técnicas. 1981. *NBR 6.922/81: Determinação da massa específica (densidade à granel)*. Rio de Janeiro: ABNT, 2p.
- ABNT Associação brasileira de normas técnicas. 1984a. *NBR 8.112/84. Carvão vegetal - Análise Imediata*. Rio de Janeiro: ABNT, 5p.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1984b. *NBR 8.633/84: Carvão Vegetal - Determinação do poder calorífico*. Rio de Janeiro: ABNT, 12p.
- ABNT Associação brasileira de normas técnicas. 1987. *NBR 7.217/87. Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 3p.
- ABNT Associação brasileira de normas técnicas. 1997. *NBR 7.190/97. Projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro: ABNT, 107p.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. *NBR 10.007/04: Amostragem de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT, 25p.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2010. *NBR 7.990/10: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%*. Rio de Janeiro: ABNT, 8p.
- ASTM American Society for Testing and Materials. 2021. *D1105-21. Standard Test Method for Preparation of Extractive-Free Wood*. West Conshohocken, USA: 1p.
- Bjorheden R, Eriksson LO (1990) The effects of operational planning of changes in energy content of stored wood fuels. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5(1-5): 255-261. doi: 10.1080/02827589009382610
- Brand MA, Costa VJ, Durigon A (2005) Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. In: *III Congresso de inovação tecnológica em energia elétrica*, Florianópolis.
- Brand MA (2014) Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. *Revista Árvore*, 38(1):175-183. doi: 10.1590/S0100-67622014000100017
- Brand MA, Muñiz GIB (2012) Influência da Época de Colheita e da Estocagem na Composição Química da Biomassa Florestal. *Floresta e Ambiente*, 19(1): 66-78. doi: 10.4322/loram.2012.008
- Ceragioli NS (2013) *Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos*. Dissertação, Universidade Estadual Paulista, 46p.
- Feist WC, HON DNS (1984) Chemistry of weathering e protection. In: ROWELL RM (Ed) *The chemistry of solid wood*. American Chemical Society, p. 401-454.
- Folhabv (2018) *Termelétricas ganham R\$ 26 milhões por mês, mas não atendem a demanda*. Disponível em: <<https://folhabv.com.br/noticia/cidades/capital/term-eletricas-ganham-r-26-milhoes-por-mes--mas-nao-atendem-a-demanda/37642>>. Acesso em: 25 fev. 2018.
- He X, Lau AK, Sokhansanj S, Lim CJ, Bi XT, Melin S (2012) Dry matter losses in combination with gaseous emissions during the storage of forest residues. *Fuel*, 95: 662-664. doi: 10.1016/j.fuel.2011.12.027
- He X, Lau AK, Sokhansanj S, Lim CJ, Bi XT, Melin S (2014) Investigating gas emissions and dry matter loss from stored biomass residues. *Fuel*, 134: 159-165. doi. 10.1016/j.fuel.2014.05.061
- INMET Instituto Nacional de Meteorologia (2021) *Rede de Estações Climatológicas. Instituto Nacional de Meteorologia*. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br>>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- Kuang X, Shankar TJ, Sokhansanj S, Lim C Jim, Bi XT, Melin S (2009) Effects of headspace and oxygen level on off-gas emissions from wood pellets in storage. *Annals of Occupational Hygiene*, 53(8):807-813. doi: 10.1093/annhyg/mep071
- Morais WWC, Brito JO, Lana AQ, Dias Júnior AF, Morais JBF (2021) Investigating waste generated from logging in the Amazon for energy use. *Scientia Forestalis*, 49(132):e3712. doi: 10.18671/scifor.v49n132.15
- MORAIS WWC (2018) Potencial de resíduos madeiros gerados em Roraima para a produção de energia e carvão vegetal. Tese, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz, Piracicaba. 111p.
- Pandey KK (2005) Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer Degradation and Stability*, 90(1): 9-20. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2005.02.009

Park KJ, Colato G (2022) Análises de Materiais Biológicos. Versão Digital. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/16289290-Analises-de-materiais-biologicos.html>>. Acesso em: 03 fev. 2022

Pastore TCM, Rubim KOS, Rubim JC (2004) A spectrometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. *Bioresource Technology*, 93(1):37-42. doi: 10.1016/j.biortech.2003.10.035

Rocha MP (2002) *Técnicas de planejamento em serrarias*. Série Didática 02/01. Curitiba: FUPEF, 121p.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 2006. *Standard T222 om-02. Acid-insoluble lignin in wood and pulp*, Atlanta, USA: 14p.

Thörnqvist T (1985) Drying and storage of forest residues for energy production. *Biomass*, 7(1):125-134. doi: 10.1016/0144-4565(85)90038-1