

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Potencial de resíduos madeireiros gerados em Roraima para a produção de
energia e carvão vegetal

Wesley Wilker Corrêa Moraes

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2018

Wesley Wilker Corrêa Morais
Engenheiro Florestal

**Potencial de resíduos madeireiros gerados em Roraima para a produção de energia e
carvão vegetal**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ OTÁVIO BRITO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Morais, Wesley Wilker Corrêa

Potencial de resíduos madeireiros gerados em Roraima para a produção de energia e carvão vegetal / Wesley Wilker Corrêa Moraes. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -Piracicaba, 2018.

105 p.

Tese (doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Pólo madeireiro 2. Serrarias 3 Gerenciamento de resíduos 4. Biomassa energética 5. Produtos da carbonização I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico à minha esposa, Janice Bittencourt Facco Moraes, que desde o início desta jornada sempre me incentivou e comprou boa parte desta batalha. Você sempre estará no meu coração.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por colocar pessoas exemplares no meu caminho.

Ao meu orientador, prof. Dr. José Otávio Brito, que me cativou pela sua simpatia, respeito, disponibilidade, incentivos, conselhos e por todas as oportunidades que foram propiciadas durante a realização deste estudo.

As professoras, Luciana Duque Silva, Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli e Ticiane Rossi Fiaschitello, por aceitarem participar da banca de qualificação e pelas contribuições que foram primordiais para engrandecer o presente estudo.

Aos professores, Ana Lúcia Piedade Sodero Martins Pincelli, Carlos Rogério Andrade e Francides Gomes da Silva Junior, por terem atendido ao convite, por todas as contribuições, tempo e conhecimento disponibilizado para analisar este trabalho.

Aos meus pais, irmã, esposa e sogros que propiciaram momentos familiares únicos e intensos. Nos momentos de cansaço, vocês foram os grandes incentivadores para as minhas conquistas.

À Universidade Estadual de Roraima (UERR) pela licença para realização do presente estudo e por ser o local onde eu realizei o sonho de ser professor e contribuir para a realização dos sonhos de outrem.

Aos professores, alunos, em especial do curso de Bacharelado em Engenharia Florestal, e técnicos administrativos da UERR pelo incentivo e desejo de sucesso nesta jornada.

Aos professores da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, que contribuíram para agregar mais conhecimento à minha vida profissional.

Aos técnicos laboratoriais, Udemilson Luis Ceribelli, Maria Aparecida R. C. Bermudez e Aparecido Candido Siqueira, pela amizade, simpatia e pelas contribuições para a realização deste estudo.

Aos grandes amigos, integrantes do SMT e do glorioso BMFC, que mesmo de forma singela, acompanharam e contribuíram para a quebra de gelo durante momentos de incerteza e angústia.

Aos amigos e amigas que muito me ajudaram diretamente ou indiretamente neste trabalho, seja com ajuda nos ensaios, incentivos, ideias, questionamentos e esclarecimentos.

Aos leitores e leitoras que poderão usufruir de um legado realizado em equipe. Desejamos que este estudo sirva de incentivo às novas pesquisas em áreas relacionadas.

EPIGRAFE

*I've loved, I've laughed, and cried
I've had my fail, my share of losing
And now, as tears subside
I find it all so amusing*

(My way - Paul Anka / Jacques Reveaux / Claude François)

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | 9 |
| ABSTRACT | 10 |
| LISTA DE FIGURAS | 11 |
| LISTA DE TABELAS | 12 |
| INTRODUÇÃO GERAL | 15 |
| OBJETIVO GERAL | 18 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 18 |
| REVISÃO DE LITERATURA | 20 |
| CONTEXTUALIZAÇÃO DO ESTADO E PÓLO MADEIREIRO DE RORAINÓPOLIS | 20 |
| DIFICULDADES E OPORTUNIDADES PARA RORAIMA ADVINDAS DO SETOR MADEIREIRO | 28 |
| CONTEXTUALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO E CONSUMO DE CARVÃO VEGETAL..... | 31 |
| CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS OBTIDOS DA PIRÓLISE | 33 |
| CARVÃO | 33 |
| GASES CONDENSÁVEIS..... | 34 |
| GASES NÃO CONDENSÁVEIS | 35 |
| REFERÊNCIAS | 36 |
| 1. CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES COMO SUBSÍDIO À CRIAÇÃO DE AGRUPAMENTOS | 45 |
| 1.1. INTRODUÇÃO..... | 46 |
| 1.2. MATERIAL E MÉTODO | 48 |
| 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 50 |
| 1.4. CONCLUSÃO | 64 |
| REFERÊNCIAS | 64 |
| 2. PIRÓLISE DE RESÍDUOS FINOS DO DESDOBRO MADEIREIRO DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS | 70 |
| 2.1. INTRODUÇÃO..... | 71 |
| 2.2. MATERIAL E MÉTODO | 73 |
| 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 76 |
| 2.4. CONCLUSÃO | 89 |
| REFERÊNCIAS | 90 |
| 3. PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ENERGÉTICAS DE RESÍDUOS MADEIREIROS ESTOCADOS EM SERRARIAS DO PÓLO DE RORAINÓPOLIS, RORAIMA | 93 |
| 3.1. INTRODUÇÃO..... | 94 |
| 3.2. MATERIAL E MÉTODO | 95 |
| 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 97 |
| 3.4. CONCLUSÃO | 102 |
| REFERÊNCIAS | 102 |

CONCLUSÃO GERAL 105

RESUMO

Potencial de resíduos madeireiros gerados em Roraima para a produção de energia e carvão vegetal

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS, a destinação de resíduos industriais é de responsabilidade do seu gerador. Serrarias do estado de Roraima enfrentam uma série de dificuldades para cumprimento desta norma, principalmente, pela falta de informações e ausência de estudos que comprovem alternativas viáveis específicas para a região. Sabe-se, contudo, que de uma forma ampla e genérica, alternativas poderiam ser propostas. Dentre elas, a conversão direta dos resíduos para geração de energia e a pirólise visando a produção de carvão vegetal e seus co-produtos. Neste sentido, o objetivo geral deste estudo foi identificar, caracterizar e realizar análises a isto vinculadas, considerando os resíduos madeireiros gerados nas serrarias localizadas no pólo de Rorainópolis, Roraima, Brasil. Foram realizadas aferições da granulometria, umidade, composição química, densidade e poder calorífico do material *in natura* (CAPÍTULO 1). Ainda sobre este material foram realizadas carbonizações à temperatura de 450°C e 650°C e avaliação do carvão vegetal e gases do processo (CAPÍTULO 2). Além disso, foram avaliadas as características físicas, químicas, energéticas dos resíduos obtidos em diferentes seções das pilhas preexistentes nas serrarias (CAPÍTULO 3).

Palavras-chave: Pólo madeireiro; Serrarias; Gerenciamento de resíduos; Biomassa energética; Produtos da carbonização

ABSTRACT

Potential of wood residues generated in Roraima for the production of energy and charcoal

According to the National Solid Waste Plan - PNRS, a destination of industrial solid waste is responsibility of its generator. Roraima's sawmills face a series of difficulties to comply with this standard, mainly for lack of studies proving feasible alternatives specific to the region. It is known, however, that broad and generic forms can be applied as alternatives. Among them, the direct conversion of the waste to the generation of energy and pyrolysis for the production of charcoal and co-products. In this sense, the general objective of this study was to identify, characterize and carry out related analyses, considering the wood residues generated at sawmills located at the Rorainópolis Timber Hub, state of Roraima, Brazil. The granulometry, moisture, chemical composition, density and calorific value of the in natura material were measured (CHAPTER 1). Carbonisations were also carried out at 450°C and 650°C and charcoal and process gases were evaluated (CHAPTER 2). In addition, the physical, chemical and energetic characteristics of residues obtained in different sections of the pre-existing piles in the sawmills were evaluated (CHAPTER 3).

Keywords: Timber pole; Sawmills; Waste management; Energy biomass; Carbonization products

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Território Federal do Rio Branco e seus municípios, Boa Vista e Catrimani. | 20 |
| Figura 2. Rodovias federais presentes no estado de Roraima e suas interligações. | 21 |
| Figura 3. Distribuição geográfica das tipologias vegetais e dos municípios de Roraima. | 23 |
| Figura 4. Distribuição geográfica dos municípios de Roraima, anterior a criação do município Rorainópolis. | 25 |
| Figura 5. Mapa de logística disponível no estado de Roraima com seus respectivos municípios. | 26 |
| Figura 6. Participação na balança comercial de exportações dos produtos produzidos em Roraima. | 27 |
| Figura 7. Valores anuais arrecadados das exportações de produtos madeireiros. | 27 |
| Figura 8. Linha de transmissão de Tucuruí e localização da reserva Waimiri-Atroari | 30 |
| Figura 9. Volume da produção de carvão vegetal no Brasil entre 1994 e 2015 em florestas nativas e plantadas. | 31 |
| Figura 10. Agrupamentos formados considerando o potencial energético das espécies. | 63 |
| Figura 11. Alíquotas de retirada de amostras das pilhas de RFDM nas distintas seções (base, meio e topo), em serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis. | 96 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1. Espécies amazônicas com seus respectivos nomes vernaculares e locais de coleta. | 52 |
| Tabela 2. Distribuição granulométrica média dos resíduos madeireiros produzidos por serrarias em Roraima. | 53 |
| Tabela 3. Valores médios obtidos para umidade, pH, densidade básica da madeira e à granel dos resíduos produzidos por serrarias em Roraima e do <i>Eucalyptus grandis</i> | 55 |
| Tabela 4. Valores médios obtidos para extrativos totais, lignina e holocelulose dos resíduos madeireiros produzidos por serrarias em Roraima e do <i>Eucalyptus grandis</i> | 58 |
| Tabela 5. Valores médios obtidos para materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e útil dos resíduos produzidos por serrarias em Roraima e do <i>Eucalyptus grandis</i> | 60 |
| Tabela 6. Espécies referentes a cada sigla, com seus respectivos nomes vernaculares e densidades básica das madeiras. | 74 |
| Tabela 7. Valores médios obtidos para os rendimentos gravimétricos em carvão, extrato pirolenhoso e gases não condensáveis dos RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes temperaturas finais de carbonização. | 78 |
| Tabela 8. Valores médios obtidos para densidade à granel do carvão, pH do carvão e do extrato pirolenhoso dos RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes temperaturas finais de carbonização. | 82 |
| Tabela 9. Valores médios obtidos para materiais voláteis, cinza e carbono fixo do carvão de RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes temperaturas finais de carbonização. | 85 |
| Tabela 10. Valores médios obtidos para o poder calorífico superior e útil do carvão de RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de <i>Eucalyptus grandis</i> em diferentes temperaturas finais de carbonização. | 88 |
| Tabela 11. Distribuição granulométrica dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis. | 97 |
| Tabela 12. Umidade, pH, solubilidade em hidróxido de sódio e densidade à granel dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do polo madeireiro de Rorainópolis. | 98 |
| Tabela 13. Extrativos totais, lignina e holocelulose dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do polo madeireiro de Rorainópolis. | 100 |

Tabela 14. Materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e útil dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do polo madeireiro de Rorainópolis.101

INTRODUÇÃO GERAL

A deposição inadequada de resíduos madeireiros gerados pelas serrarias na região amazônica é um dos desafios a serem enfrentados no contexto técnico ambiental. Tal situação tem levado à contaminação dos lençóis freáticos por lixiviação de extrativos, alterações das características físicas e químicas do solo, entre outros. Ressalta-se que, em alguns casos, os materiais ficam expostos por vários anos agravando os efeitos supracitados.

Como forma de evitar a aplicação de sanções financeiras e jurídicas, algumas serrarias na região Amazônica têm usado como alternativa a doação dos resíduos madeireiros, contudo, a demanda é inferior a oferta. Outras serrarias, visando solucionar o problema do acúmulo nos pátios, tomam decisões arbitrárias, como a queima de resíduos a céu aberto de forma fracionada, para evitar a formação de nuvens de fumaça e facilitar o controle das chamas, e o aterro, misturando os resíduos ao solo. Para exemplificar o quanto a prática da queima de resíduos e desmatamento são comuns, em apenas uma operação de fiscalização na região Amazônica foi aplicado R\$ 1.174.000,00 em multas, além de seis termos de embargo e interdição (BRASILECONÔMICO, 2016).

O volume de resíduos gerados é enorme. Para se ter uma ideia, em um levantamento referente a produção madeireira no ano de 2009 publicado pelo Serviço Florestal Brasileiro e Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, o volume estimado de resíduos madeireiros para a Amazônia Legal, excetuando o Tocantins, foi de 8,3 milhões de metros cúbicos, dos quais 2,1 milhões de metros cúbicos foram abandonados ou queimados (HUMMEL et al., 2010).

Paixão et al. (2014) afirmam que, em parte, a quantidade produzida de resíduos pode ser explicada pela variabilidade das toras e o baixo grau de tecnologia das serrarias, que resultam em baixos rendimentos volumétricos de madeira serrada. Pesquisas realizadas na Amazônia observaram valores de 27% (LIMA et al., 2005) a 42% (DUTRA e NASCIMENTO, 2005) para os rendimentos volumétricos de madeira serrada. Tal fato motivou a proposta de atualização da Resolução Conama 411/2009, que instituiu a redução do rendimento volumétrico de madeira serrada de 45% para 35% apresentada na 121ª Reunião Ordinária do Conama no ano de 2016. A redução proposta pode desestimular a adoção de medidas técnicas para maior aproveitamento

das toras, pois as serrarias poderão aumentar em 10% a geração de resíduos madeireiros. Estas realidades também são constatadas em Roraima.

Como alternativa, o volume de resíduo produzido poderia ser utilizado para a geração de energia elétrica. Isto se justifica pelo fato de Roraima ser o único estado brasileiro que não está interligado ao Sistema Interligado Nacional (SIN) de energia, ou seja, a rede do estado é isolada. Acrescenta-se que a energia utilizada no estado é gerada no complexo hidrelétrico venezuelano de Guri, fornecedora de 200 MW de potência e, em casos emergenciais, é utilizada uma termoelétrica com potência de 62 MW (ELETRONORTE, 2017).

Logicamente, por conta da disparidade de potência elétrica, o interior do estado, normalmente, é prejudicado pelas oscilações e quedas de energia. São frequentes os registros de problemas com a energia no estado, a exemplo notícias da Folhabv (2014, 2016a e 2017a), nos quais a falta de energia é registrado desde alguns minutos até mais de 20 horas. Essa situação poderia ser amenizada ou resolvida com a utilização dos resíduos madeireiros para a geração de eletricidade.

Para comprovar a eficiência energética ou não dos resíduos madeireiros, torna-se primordial a confirmação da identidade das madeiras, individualmente estudadas, e avaliar algumas de suas características. Os dados obtidos podem ser usados para a criação de agrupamentos de espécies, de acordo com seus potenciais para a geração de energia.

Outra alternativa de aproveitamento dos resíduos madeireiros seria a carbonização da madeira, que se destaca devido ao baixo nível de investimento exigido para a produção de carvão artesanal (CARVALHO et al., 2005). Vale ressaltar que o Brasil foi um dos maiores produtores de carvão vegetal do mundo (PORTO et al., 2007; AMS, 2013). Entretanto, a maior parte da tecnologia utilizada é rudimentar e o controle operacional dos fornos é pequeno, principalmente, no extremo norte do Brasil (MELO et al., 2012), no qual não se aplica controle qualitativo e quantitativo da produção (MEIRA et al., 2005). Além disso, Brito (1990a), Silva et al. (2006) e Nobre (2013) relatam que as instalações carvoeiras projetadas sem o aproveitamento dos gases produzidos representam alto grau de poluição ambiental, desperdício econômico e energético. Porém, com maiores investimentos, as serrarias poderiam utilizar retortas que contemplam as produções do carvão vegetal, gases condensáveis e não condensáveis pelo processo de destilação seca da madeira (CAMPOS, 2007).

Nesta vertente, há possibilidade da utilização de sistemas de cogeração, no qual poderiam ser produzidos carvão vegetal e energia elétrica, porém, essa alternativa demanda maiores investimentos e estudos que comprovem sua eficiência em serrarias na região Amazônica. Neste contexto, pode-se citar o estudo de Leão (2015) que constatou a viabilidade energética da cogeração do carvão e energia por meio da utilização dos gases condensáveis e não condensáveis.

Independentemente das alternativas escolhidas, a caracterização da matéria-prima, dos produtos da pirólise da madeira e o controle do processo são importantes, pois contribuem para qualidade, quantidade e conseqüentemente na utilização do carvão vegetal, extrato pirolenhoso e dos gases não condensáveis.

OBJETIVO GERAL

Identificar as espécies de origem e caracterizar física, química e energeticamente os resíduos madeireiros, individualmente processados e estocados em pilhas, em serrarias no estado de Roraima, e avaliar os comportamentos das espécies no processo de pirólise.

Objetivos específicos

- a) Identificar as espécies de madeira e avaliar individualmente suas características físicas, químicas e energéticas, como subsídio para a criação de agrupamentos.
- b) Avaliar o comportamento dos Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM) frente ao processo de pirólise, a distintas temperaturas (450°C e 650°C), considerando a obtenção de carvão vegetal e gases gerados.
- c) Avaliar as características físicas, químicas, energéticas de RFDM obtidos em diferentes seções das pilhas preexistentes nas serrarias.

REVISÃO DE LITERATURA

Contextualização do estado e pólo madeireiro de Rorainópolis

A criação do estado de Roraima inicia-se a partir do desmembramento do Amazonas em 1943. A área desmembrada foi denominada Território Federal do Rio Branco, formado por apenas dois municípios, Boa Vista e Catrimani (FIGURA 1), conforme as Leis nº 5.812, de 13 de setembro de 1943 e nº 6.550, de 31 de maio de 1944. Essa denominação gerou confusões, pois o nome do território era idêntico ao nome da capital do Acre, Rio Branco.



Figura 1. Território Federal do Rio Branco e seus municípios, Boa Vista e Catrimani.
Fonte: Oliveira (2006)

Por isso, houve clamor da população para a alteração deste nome por Território Federal de Roraima, Lei nº 4.182, de 13 de dezembro de 1962 (IBGE, 2018). Segundo Silva (2007), os territórios federais foram criados como forma de realizar a ocupação populacional nas fronteiras amazônicas, com o intuito de manter o território nacional, principalmente, nos locais que já haviam ocorrido invasões de países europeus e, conseqüentemente, realizar a exploração dos recursos naturais da região.

Entretanto, houve dificuldades para a ocupação da região, devido ao alto custo de vida, justificado, principalmente, pelo uso do transporte hidroviário, em decorrência da falta de interligação terrestre com os demais estados brasileiros (CORDEIRO, 2012).

Como estratégia para amenizar os custos e realizar a interligação do território por via terrestre, entre as décadas de 1970 e 1980, foram iniciadas as obras das rodovias BR 174 (OLIVEIRA, 2000), sentido Norte/Sul, para interligar Manaus a Boa Vista, e a BR 210 (OLIVEIRA NETO, 2015), sentido Oeste/Leste, interligando Roraima aos estados do Pará e Amapá (FIGURA 2).

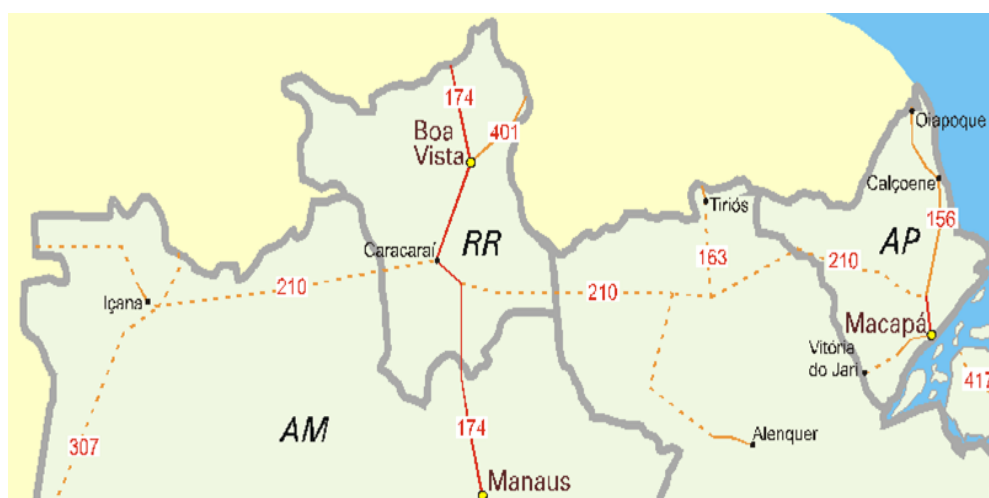


Figura 2. Rodovias federais presentes no estado de Roraima e suas interligações. Fonte: adaptada de Brasil (2000)

A história da rodovia BR 174 é cercada de ações e fatos que, praticamente, revelam uma guerra entre os militares e os povos indígenas que habitavam a região. Segundo o 1º relatório do Comitê Estadual da Verdade do Estado do Amazonas (2012), pode-se considerar que a guerra foi um genocídio de indígenas. Há relatos no documento que várias tribos foram dizimadas, acredita-se que em 10 anos desapareceram mais de 2.000 indígenas. Os indígenas foram vítimas de ataques

aéreos e terrestres mediante o uso de bombas e armas de fogo. Além disso, houve o surgimento e a propagação de doenças consideradas “estranhas” para os indígenas trazidas pelos militares, como, por exemplo, o sarampo (AMAZONAS, 2018). Por conta de todos estes acontecimentos, a primeira pavimentação da BR 174 foi realizada somente no ano de 1997 (OLIVEIRA, 2000).

Em 2017, a Justiça Federal do Amazonas determinou, em caráter liminar, a favor do Ministério Público do Amazonas (MPA) e dos indígenas, que empreendimentos capazes de causar grande impacto na terra indígena não podem ser realizados sem que haja consentimento prévio dos indígenas Waimiri-Atroari. Além disso, o MPA, na mesma ação, exigiu R\$ 50 milhões de indenização, pedido oficial de desculpas aos indígenas, inclusão do estudo das violações sofridas pelos indígenas nos currículos escolares e garantias de direitos, para evitar que acontecimentos semelhantes se repitam (ACRITICA, 2018).

A rodovia BR 210 (Perimetral Norte) fazia parte de um plano de integração da região norte com países da América do Sul, porém, o projeto em Roraima só recebeu sua primeira pavimentação em 1994, e apenas em 2014 iniciou-se uma nova pavimentação com estimativa de término das obras em 2018 (FOLHABV, 2017b).

Na década de 1980, houve uma explosão demográfica na região (DINIZ e SANTOS, 2006), explicada pela diversidade de recursos naturais disponíveis para a exploração, com destaque para a prática do garimpo de ouro, diamante e a exploração madeireira de espécies nativas. Apenas com a promulgação da Constituição Federal de 1988, no dia 5 de outubro, o Território Federal de Roraima transformou-se em Estado Federado, sendo mantidos os limites geográficos preestabelecidos.

A exploração de pedras preciosas em Roraima ao longo dos anos tem diminuído sua importância para a balança comercial estadual, principalmente, devido à dificuldade de acesso às jazidas e por, normalmente, localizar-se em terras indígenas. Boa parte dos garimpeiros, frente às dificuldades para exercício da atividade, têm migrado para a Venezuela e Guiana Inglesa. Entretanto, há garimpeiros que tentam explorar as jazidas nas terras indígenas e esta ação provoca conflitos armados, que resulta em mortes de garimpeiros e indígenas, principalmente, da etnia Yanomami (FOLHABV, 2016b).

Conforme exposto anteriormente, além da diversidade de recursos naturais disponíveis em Roraima, as tipologias vegetais da região reforçam a vocação para a exploração madeireira de espécies nativas, principalmente, na região sudeste do

estado, onde há ocorrência de Floresta Ombrófila, nas proximidades do município de Rorainópolis (FIGURA 3).

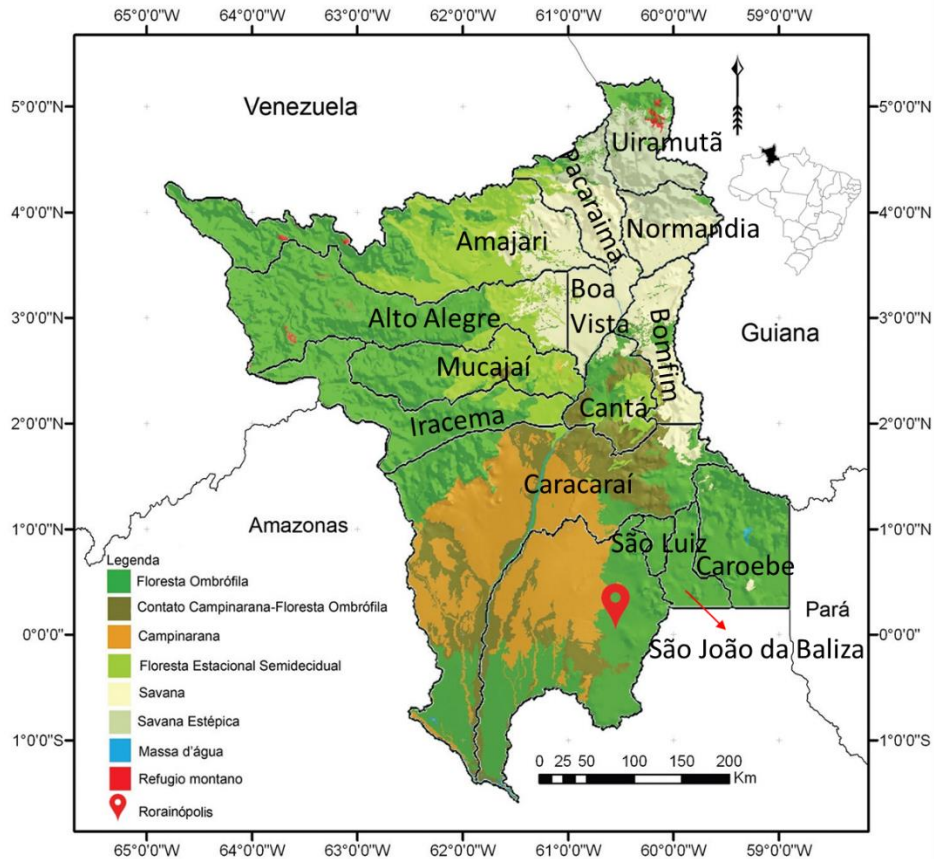


Figura 3. Distribuição geográfica das tipologias vegetais e dos municípios de Roraima.

Fonte: adaptada de Barbosa et al. (2010)

Com base em documentos históricos, o setor secundário da economia de Roraima em 1975 resumia-se em apenas 19 indústrias de transformação, sendo 6 panificadoras, 5 olarias, 3 carpintarias, 2 gráficas, 2 serrarias e 1 torrefação de café (II PND para o TFR, 1975, p.52). Portanto, de posse destas informações, as primeiras serrarias em Roraima, provavelmente, foram instaladas durante a década de 70.

A expansão da atividade madeireira em Roraima ocorreu no ano de 1999, segundo o Guia Turístico Roraima (2009), resultado da autorização para a exploração de 46.000 m³ de madeira cedida pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) majoritariamente para os municípios de Cantá, Alto Alegre (ambos na região norte do estado) e Rorainópolis (região sul do estado). Os municípios de Cantá e Alto Alegre (FIGURA 3), eram considerados promissores para a produção madeireira devido à

proximidade com o município de Boa Vista. Conforme Barbosa (1990), basicamente, a produção era para suprir a demanda por madeira na capital do estado. Mesmo com a proximidade da capital, a exploração madeireira de espécies nativas entrou em declínio nos municípios de Cantá e Alto Alegre. A explicação para tal fato, pode ser observada na Figura 3, na qual percebe-se pequenas áreas de floresta ombrófila próximas ao município de Boa Vista, ou seja, houve falta de matéria-prima para suprir a demanda das serrarias.

Com a decadência da produção e comercialização de madeira serrada na região norte do estado, a região sul sobressaiu para as indústrias madeireiras, principalmente, ao considerar a disponibilidade de matéria-prima. Segundo Barbosa (1990), as serrarias na região sul se instalaram nos municípios de Caracaraí, São Luiz e São João da Baliza. Ressalta-se que, o maior empecilho para as serrarias eram a impossibilidade de transporte durante as épocas das chuvas e a distância até o maior mercado consumidor da época (década de 80), Boa Vista. Durante a metade da década de 80, os empresários madeireiros conseguiram atender os novos e promissores mercados, com destaque para o estado do Amazonas, que em 1988 adquiriu 69% do total da madeira serrada produzida por 26 serrarias na região sul de Roraima (BARBOSA, 1990).

É importante salientar que, na década de 80, o município de Rorainópolis não existia, por isso a ausência na relação dos municípios onde foram instaladas as serrarias. O município de Rorainópolis foi criado pela Lei Estadual n.º 100, de 17 de outubro de 1995 (RORAIMA, 1995), resultado do desmembramento de áreas dos municípios de São Luiz e São João da Baliza (FIGURA 4). Compreende-se, portanto, que as atividades do pólo madeireiro de Rorainópolis iniciaram anteriormente a criação do município.



Figura 4. Distribuição geográfica dos municípios de Roraima, anterior a criação do município Rorainópolis.

Fonte: Oliveira (2006)

Com a criação de Rorainópolis, houve a redução no número de serrarias em São Luiz, São João da Baliza e Caroebe. Pois, a BR 210, normalmente, apresentava piores condições de trafegabilidade quando comparada à BR 174 (FIGURA 5), tornando-se as madeiras serradas nestes municípios, São Luiz, São João da Baliza e Caroebe, pouco competitiva em relação as madeiras serradas em Rorainópolis.



Figura 5. Mapa de logística disponível no estado de Roraima com seus respectivos municípios.

Fonte: Salles Neto (2012)

A importância da produção madeireira se sobressai aos demais produtos exportados pelo estado, ao analisar a contribuição para a balança comercial de exportações de Roraima, no período de 1980 a 2000, o percentual arrecadado com produtos madeireiros correspondia a mais de 60% do total exportado (ROCHA, 1999; SISCOMEX, 2018).

Na Figura 6, nota-se que após este período houve redução percentual dos produtos madeireiros na participação da balança comercial de exportações do estado. Apesar disto, entre os anos de 2001 e 2013, excetuando 2007, os produtos madeireiros mantiveram posição de destaque na balança comercial de exportações de Roraima, representando 80% do valor total oriundo das exportações em 2001.

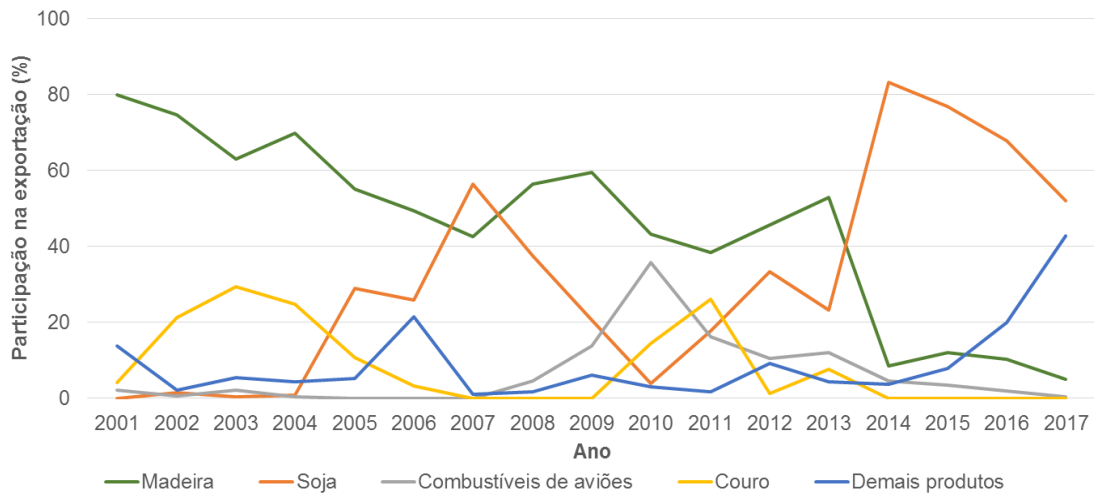


Figura 6. Participação na balança comercial de exportações dos produtos produzidos em Roraima.

Fonte: adaptada de MDIC (2016)

Na Figura 6, é possível verificar que em 2007, os produtos madeireiros perderam a posição de destaque para produtos agrícolas, no caso, a soja. A explicação para este fato pode ser observada na Figura 7, pois o montante exportado de madeira em 2006 foi de 8,1 milhões de dólares e em 2007 foi de 7,1 milhões de dólares, redução de 1,0 milhão de dólares. Além disso, em 2007, o montante exportado de soja foi de 9,5 milhões de dólares, o maior valor observado entre os anos de 2002 e 2013 (MDIC, 2016).

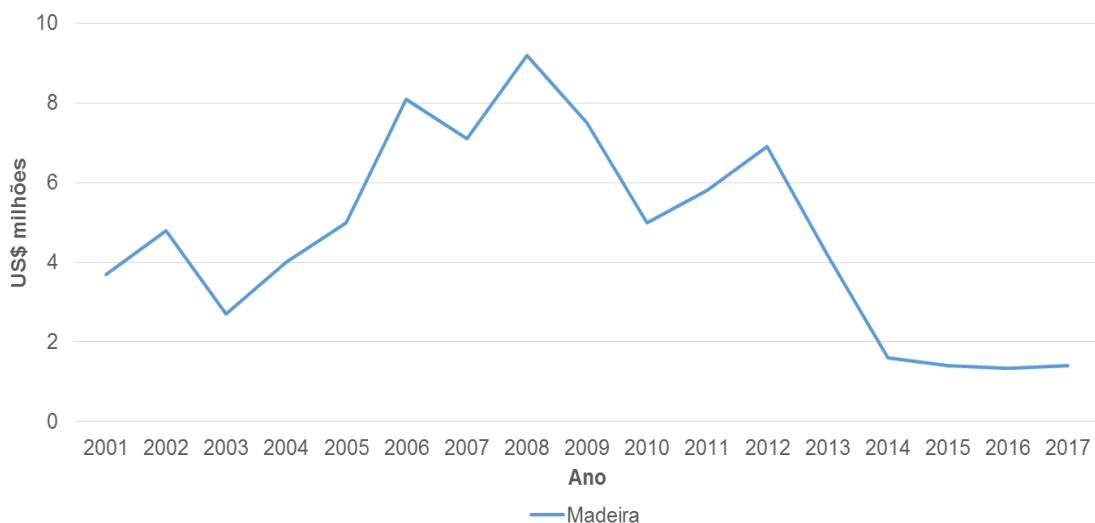


Figura 7. Valores anuais arrecadados das exportações de produtos madeireiros.

Fonte: adaptada de MDIC (2016)

Ao observar as Figuras 6 e 7, em 2013 houve redução nos valores arrecadados pelas exportações de produtos madeireiros e, conseqüentemente, na participação da balança de exportações. A retração nas vendas dos produtos madeireiros está relacionada à crise internacional, principalmente, aos efeitos causados na Venezuela, responsável pela maior parte das exportações de produtos oriundos do estado de Roraima. Acrescenta-se que, para a exportação de produtos madeireiros, a maioria dos países de destino exigem documentações, por exemplo, a apresentação da certificação florestal, o selo de manejo sustentável, entre outros. Com isso, parte dos empresários madeireiros desistiram das exportações, fato que contribuiu para redução nos valores obtidos com a exportação dos produtos madeireiros.

Entretanto, com a redução das exportações dos produtos madeireiros, houve, assim como na década de 80, maior atenção dos empresários ao mercado consumidor interno. Este fato foi observado por Crivelli et al. (2017) em entrevista com 9 empresários do ramo madeireiro do município de Rorainópolis, na qual apenas 1 dos empresários continuava a exportar os produtos madeireiros para a Venezuela, enquanto o restante comercializava apenas com empresários de outros estados brasileiros.

Dificuldades e oportunidades para Roraima advindas do setor madeireiro

As principais dificuldades encontradas pelos empresários madeireiros roraimenses estão relacionadas à obtenção dos licenciamentos, em alguns casos pode ser necessário anos para a aprovação dos projetos, a escassez de mão de obra qualificada, tecnologia utilizada no processo de desdobro inadequada, que resulta no baixo aproveitamento das toras, dificuldades de logística para o mercado nacional e a falta de energia elétrica.

Além destas dificuldades, há o problema da reposição florestal, que no estado é realizado apenas por uma empresa. Durante um processo de vistoria realizada pela Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - FEMARH (FOLHABV, 2015) foi verificado que das 47 fazendas de reposição florestal da empresa, apenas 5 possuíam plantios florestais. Esta constatação, culminou na suspensão de novas licenças ambientais, com isso, parte das serrarias utilizaram as madeiras estocadas nos pátios e outras encerraram as suas atividades.

Outro fator preocupante é o uso de *Acácia mangium*, espécie exótica, com valor comercial madeireiro inferior quando comparado às espécies nativas desdobradas. Além disso, os plantios de Acácias são realizados em locais distantes do pólo madeireiro de Rorainópolis. Este fato, no futuro, irá causar a insustentabilidade do pólo madeireiro pela falta de oferta de matéria-prima, e conseqüentemente, irá resultar em um impacto significativo na economia municipal e estadual. Apesar dos prováveis impactos ambientais e sociais, o Código Florestal (Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012) avaliza este procedimento, no artigo 33, que trata sobre a origem das matérias-primas florestais para pessoas físicas ou jurídicas, em seu parágrafo 4º, estabelece que a reposição florestal deverá ser efetivada no Estado de origem da matéria-prima utilizada, mediante o plantio de espécies preferencialmente nativas.

Além destes fatores, há a morosidade nos processos de licenciamento ambiental, que pode incentivar a produção e a comercialização de madeira serrada ilegal. Recentemente, houve uma operação realizada pela Polícia Federal nos portos de Manaus, estado do Amazonas, que resultou na apreensão de 444 contêineres, carregados com produtos madeireiros de espécies nativas oriundas dos estados de Roraima, Rondônia e Amazonas. Nesta operação, foi verificado que 70% da madeira apreendida era oriunda do estado de Roraima (G1, 2018a; G1, 2018b).

Uma semana após a apreensão dos contêineres, houve inspeção em serrarias do município de Rorainópolis, e foi constatada empresas funcionando de forma irregular, principalmente, devido à presença de madeira sem origem legal nos pátios de estocagem. As serrarias irregulares foram fechadas e os trabalhadores foram dispensados. Como consequência, no dia 24 de janeiro de 2018, os trabalhadores do setor madeireiro organizaram um protesto com a interrupção do tráfego na rodovia BR 174, com o uso de caminhões e toras de madeira (AMAZÔNIA, 2018).

Acrescenta-se ainda, que o fechamento das serrarias gerou impactos sociais e econômicos, como aumento da criminalidade e a redução nas vendas observadas pelos comerciantes locais. Vale ressaltar, que o pólo madeireiro de Rorainópolis gera, aproximadamente, 1,5 mil empregos diretos e indiretos (RORAIMAEMTEMPO, 2018).

A distribuição, oscilação e a falta de energia elétrica, são fatores preponderantes para justificar o baixo número de indústrias em Roraima. Aliado a isso, o preço médio da energia foi de R\$ 484,60/MWH representando, em 2016, a 19ª tarifa mais alta do Brasil. Para fins de comparação, o estado do Amazonas, possui o segundo preço médio de energia mais barato do Brasil, R\$ 363,00/MWH (PORTAL

DA INDÚSTRIA, 2016). A diferença, em parte, pode ser explicada pela interligação do Amazonas ao Sistema Interligado Nacional de energia pela Linha de Transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus, enquanto em Roraima, a maior parte da energia é importada da Venezuela.

A dependência energética da Venezuela poderia ser resolvida com a expansão da Linha de Transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus. Vale ressaltar que o plano para a construção desta linha foi elaborado em duas etapas (FIGURA 8): A primeira etapa foi a interligação entre Tucuruí - Amapá, finalizado em 2014 (G1, 2014), Tucuruí - Manaus, finalizado em 2013 (BRASIL ECONÔMICO, 2013) e a segunda etapa, entre Manaus - Boa Vista, com obras suspensas a 4 anos, devido à falta de aval dos indígenas Waimiri-Atroari (G1, 2017).



Figura 8. Linha de transmissão de Tucuruí e localização da reserva Waimiri-Atroari
Fonte: adaptada de ALVARENGA (2017)

Diante de todas as dificuldades apontadas, o uso dos resíduos madeireiros produzidos pelas serrarias poderia se tornar oportunidade para amenizar ou até mesmo resolver parte dos problemas citados anteriormente. Por exemplo, os resíduos madeireiros do desdobro, que são considerados empecilhos pelos empresários, por serem alvos de autuações e multas dos órgãos ambientais, devido à estocagem inadequada ou queima à céu aberto, poderiam ser utilizados como matéria-prima para a geração de energia/calor e a produção de carvão.

Entretanto, ressalta-se que, devido à heterogeneidade do material produzido nas serrarias localizadas na região amazônica, torna-se necessária a avaliação

separadamente das distintas espécies desdobradas, como forma de verificar os comportamentos destes materiais para a geração de energia/calor e a produção de carvão. E ainda, analisar o potencial energético dos resíduos estocados em pilhas preexistentes nos pátios das serrarias.

Contextualização da produção e consumo de carvão vegetal

O Brasil ocupa posição de destaque na produção de carvão vegetal, oriundo de florestas nativas e plantadas. Na Figura 9, foram plotados os dados dos volumes de carvão oriundos de florestas nativas e plantadas entre 1994 e 2015, obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), órgão responsável pelo levantamento anual sobre a produção, extração vegetal e silvicultura em todo território brasileiro, adaptado pelo Serviço Florestal Brasileiro em 2016 (SFB).

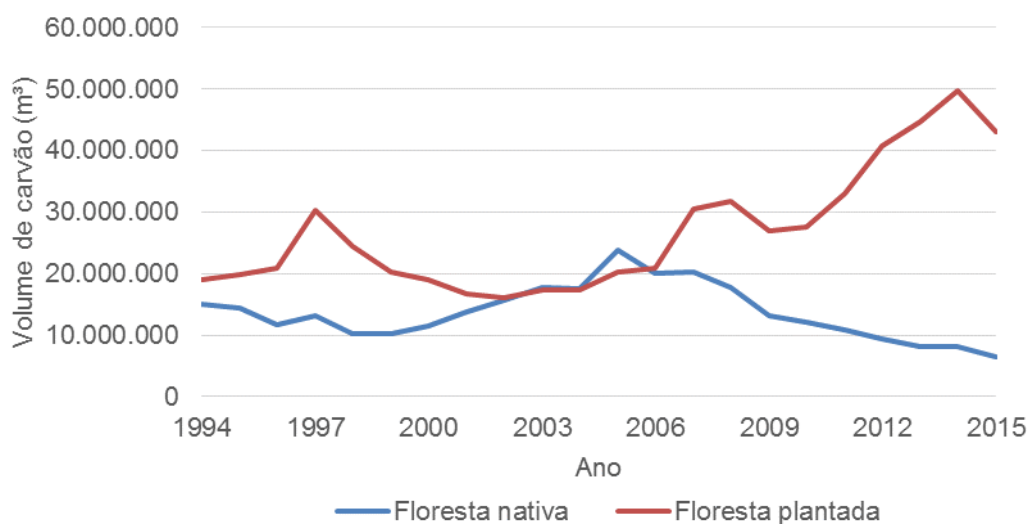


Figura 9. Volume da produção de carvão vegetal no Brasil entre 1994 e 2015 em florestas nativas e plantadas.

Fonte: IBGE adaptado SFB (2016)

Na Figura 9, nota-se que entre 1994 e 1996 houve redução na produção volumétrica de carvão vegetal de florestas nativas seguido de um aumento em 1997. Segundo Uhlig et al. (2008), o aumento na produção de carvão vegetal de florestas nativas observado em 1997 foi resultado do incremento na produção de carvão na região norte do Brasil. Apenas no período entre 2004 e 2005, a produção de carvão de florestas nativas foi superior ao carvão de florestas plantadas. De acordo com Campos (2008),

uma das explicações para o aumento da produção de carvão proveniente de florestas nativas foi a instalação do pólo industrial de ferro-gussa no Pará/Maranhão ao longo da ferrovia de Carajás.

No período de 1998 a 2008, a indústria citada anteriormente cresceu em média 17,5% ao ano, com participação de 8,3% em 1997 para 36,5% em 2006 na produção nacional de ferro-gusa (CAMPOS, 2008). Homma et al. (2006) informam que, para obter 1 tonelada de ferro-gusa, a guseira precisa, em média, de 1,6 tonelada de minério de ferro e 875 kg de carvão vegetal, além de calcário (100 kg), manganês (40 kg) e quartzito (65 kg). Em 2005 a produção de ferro-gusa no pólo Carajás foi de 3.228.287 toneladas (SINDIFER, 2015), portanto, considerando que a demanda foi suprida por carvão vegetal de florestas nativas, foram utilizadas 2.824.751 toneladas de carvão.

Por conta da alta demanda, em 2006 ocorreram fiscalizações do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) na região de Carajás e houve a importação de coque da Colômbia para os altos-fornos, fato que reduziu o uso de florestas nativas para a produção de carvão (CAMPOS, 2008).

Na região Amazônica existem dois desafios principais para a produção de carvão vegetal de qualidade e que atendam às exigências do mercado consumidor: a heterogeneidade da matéria-prima e a baixa tecnologia empregada. Normalmente, as matérias-primas do carvão amazônico provêm de florestas nativas e resíduos de serrarias, sem qualquer tipo de seleção, o que contribui para a sua heterogeneidade. Já a tecnologia empregada é baixa, em virtude de algumas serrarias considerarem a produção de carvão apenas como forma de complemento do faturamento da empresa. Acrescenta-se que, em alguns casos, os proprietários disponibilizam áreas dentro das serrarias e doam as peças de madeira fora de medida para as pessoas que possuem a habilidade de produzir o carvão artesanal para cocção de alimentos, como alternativa para reduzir o estoque de madeiras descartadas.

O carvão vegetal produzido no Brasil é destinado a diversos segmentos da indústria (siderurgia, metalurgia, cimento, entre outros), residencial urbana e rural (lareiras, churrasqueiras, entre outros) (BRITO, 1990a; COSTA et. al., 2014). Ressalta-se que, quase a totalidade do carvão brasileiro destinou-se ao consumo interno (DUBOC et al., 2007).

Além destes usos tradicionais, ressaltam-se estudos para o uso alternativo do carvão vegetal como adsorvedor de metais em água (FUNGARO e SILVA, 2002), removedor de cobre em cachaça (LIMA et al., 2006), removedor de corantes têxteis

(ODY, 2014), cultivo *in vitro* de plantas (RIBEIRO et al., 2000), condicionador orgânico de solo (ANGELO, 2014) e a produção de tijolos a partir da cinza de carvão (CHIES et al., 2003). Deve ser ressaltado que, para cada um dos usos citados, as exigências quanto as propriedades do carvão podem ser distintas.

Nesse contexto, o termo qualidade do carvão é empregado para descrever as propriedades que auxiliam no estabelecimento do seu uso adequado. Geralmente, as propriedades do carvão vegetal avaliadas são: rendimento gravimétrico do processo de obtenção, carbono fixo, materiais voláteis, cinza, densidade à granel e o poder calorífico.

Caracterização dos produtos obtidos da pirólise

Ao se colocar peças de madeira sob a ação do calor, ocorre a decomposição dos seus constituintes principais, celulose, hemiceluloses e lignina, resultando na formação de carvão e de diversos compostos orgânicos condensáveis e não condensáveis, como o CO₂, metanol, alcatrões, fenóis, óxidos de nitrogênio, ácido acético e fórmico (BRITO, 1990a; PENNISE et. al., 2001; QUITETE e SOUZA, 2014). Isto identifica o que se denomina de pirólise. Basicamente, a pirólise é definida como uma reação de decomposição acelerada. Apesar da simplicidade do conceito, a pirólise da madeira é um processo complexo de oxidação e redução, no qual influem as condições de reação e as propriedades físicas e químicas da madeira.

Para caracterizar a influência das condições de reação da pirólise e nos produtos pirolenhos, diversos estudos foram realizados para analisar a taxa de aquecimento (RIEGEL et al., 2008), temperatura final da pirólise (ALHO, 2012) e o tempo de permanência na temperatura final (FARIA, 1984). Em relação às propriedades físicas, os estudos se concentram sobre a influência da densidade básica da madeira (BRITO e BARRICHELO, 1977; MOUTINHO, 2013), já para as propriedades químicas, foram analisados a influência da holocelulose (MEDEIROS NETO et al., 2012), lignina (TRUGILHO et al., 1996) e extrativos (SANTOS, 2008).

Carvão

Historicamente, é sobre o carvão vegetal que tem havido maior interesse em relação aos produtos que se obtém da pirólise da madeira. O carvão, basicamente, é um material negro, poroso e inflamável formado por mais de 80% de carbono resultante do

processo de pirólise da madeira, no qual há o controle da temperatura (280°C e superior a 500°C) e entrada de oxigênio (BRITO, 1990b). A pirólise também pode ser denominada como carbonização ou destilação seca da madeira, devido à eliminação da maior parte dos componentes voláteis da madeira.

Gases condensáveis

Os gases condensáveis da pirólise, quando recuperados, resultam em uma fração líquida comumente conhecida como extrato pirolenhoso. Acrescenta-se que, o extrato pirolenhoso também é conhecido como líquido pirolenhoso, ácido pirolenhoso ou vinagre de madeira. Almeida (2012) define o extrato pirolenhoso como uma substância orgânica constituída por água e dezenas de compostos, dentre os quais se incluem substâncias fenólicas, álcoois, aldeídos e ácidos orgânicos. De maneira geral, Nihom (2017) e Campos (2007) descrevem que as características dos extratos pirolenhosos são: pH entre 2,3 a 3,0; densidade específica entre 1,005 g/mL e 1,050 g/mL; cor variando de amarelo pálido a castanho avermelhado transparente; odor de fumaça; alcatrão dissolvido menor que 3% do peso.

Pode-se considerar ser extensa a lista de referências sobre a recuperação e o uso do extrato pirolenhoso. A recuperação do produto pode ser processada em sistemas de alta performance, como são os casos das retortas industriais, que podem ser encontradas em várias regiões do mundo. Entretanto, a recuperação pode ser realizada mediante sistemas mais simplificados, bastante condizentes com os sistemas mais simples e usuais de produção de carvão vegetal, como são os casos dos fornos de alvenaria usados no Brasil. Basicamente, os fornos de alvenaria mais comuns são do tipo rabo quente, superfície e encosta (SANTOS e HATAKEYAMA, 2012). Todos esses modelos de fornos produzem carvão a partir do processo de combustão parcial, no qual parte da madeira é queimada para aquecer e carbonizar a carga do forno. A produção do extrato pirolenhoso, nestes fornos, pode ser feita por meio da adaptação de tubo galvanizado na chaminé de modo que toda fumaça da carbonização seja forçada a passar pelo tubo, que diminuirá a temperatura dos vapores e condensará parte deste material. O condensado escorrerá pelo tubo até o sistema de captação, que poderá ser utilizado funil metálico próximo à entrada da fumaça com tubulação em desnível para reservatório.

Devido a gama de compostos, o extrato pirolenhoso tem sido indicado como agente germinante e adubo (PORTO et al., 2007), defensivo agrícola natural (MORANDI FILHO et al., 2006), preservativo natural da madeira (PAES et al., 2002), supressor da volatilização de amônia de dejetos bovinos (WIN et al., 2009), redutor de coliformes intestinais nocivos em suínos (CHOI et al., 2009), previne parcialmente ataque de estresse em ratos e camundongos (KIM et al., 2003), repelente de mosquitos *Culex pipiens* e *Aedes togoi* (KIARIE-MAKARA et al., 2010), preservativo para ovos cozidos (SAKAGUCHI et al., 2007) e agente conservante de cosméticos e saneantes (ALMEIDA, 2012). Ressalta-se que, para cada um dos usos supracitados, foram adotadas metodologias específicas para a aplicação dos extratos pirolenhosos. Portanto, não se recomenda o uso de extratos pirolenhosos sem o conhecimento e domínio das técnicas utilizadas pelos autores anteriormente citados. Ao se comparar com o carvão, no entanto, os estudos realizados sobre o pirolenhoso são quantitativamente menos expressivos e menos regulares. Tal fato é ainda mais evidente, ao se considerar o uso de resíduos do processamento de madeiras nativas em serrarias na Amazônia.

Gases não condensáveis

Os gases não condensáveis são produzidos durante a pirólise mediante altas temperaturas, acima de 280°C, na qual ocorre a oxidação parcial da madeira. Segundo Pohlmann et al. (2016), a madeira possui alta reatividade o que facilita o processo de obtenção dos gases não condensáveis. Além disso, há o contexto de se utilizar matéria-prima renovável e que resulta em baixo valor de cinza ao fim do processo. Entretanto, para Makray (1984), o maior entrave para o uso de madeira na produção de gases não condensáveis é o alto teor de gases condensáveis produzidos durante a pirólise.

Os componentes presentes nos gases não condensáveis da pirólise da madeira são monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), gás hidrogênio (H₂), metano (CH₄) e traços de hidrocarbonetos, que os percentuais variam de acordo com o tipo de retorta, matéria-prima e as condições de operação (FERREIRA, 2000). Corroborando, conforme o sistema e o método empregado, os gases não condensáveis podem ser utilizados como aquecedores de água (KAYSER et al., 2015), secagem da madeira (ASSIS, 2007), geradores de energia (RIBEIRO, 2007) e combustíveis (BRENNEISEN, 2013).

Referências

ACRITICA. (Cotidiano). **Justiça Federal do Amazonas reconhece massacre de indígenas na abertura da BR-174**. 2018. Disponível em: <<http://www.acritica.com/channels/cotidiano/news/justica-federal-do-amazonas-reconhece-massacre-de-indigenas-na-abertura-da-br-174>>. Acesso em: 06 fev. 2018.

ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*** 2012. 58f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

ALMEIDA, R. S. R. **Potencial do extrato pirolenhoso da madeira de eucalipto como agente conservante de cosméticos e saneantes**. 2012. 110f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

ALVARENGA, B. (Revista Veja). **Luz a preço de ouro**. 2017. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/revista-veja/luz-a-preco-de-ouro>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

AMAZONAS. Comitê da Verdade do Amazonas. **1º Relatório do Comitê Estadual da Verdade: O genocídio do povo Waimiri-Atroari**. 2012. Disponível em: <http://www.dhnet.org.br/verdade/resistencia/a_pdf/r_cv_am_waimiri_atroari.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2018.

AMAZÔNIA. **Protesto contra fechamento de madeiras interdita rodovia em Rorainópolis, Sul de RR**. 2018. Disponível em: <<http://amazonia.org.br/2018/01/protesto-contrafechamento-de-madeiras-interdita-rodovia-em-rorainopolis-sul-de-rr>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

AMS - ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA. **Florestas Plantadas – Um caminho para o desenvolvimento sustentável**. 2013. 35 p.

ANGELO, L. C. **Estudo de rotas de funcionalização de finos de carvão vegetal para desenvolvimento de condicionador orgânico de solos**. 2014. 141f. Tese (Doutora em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ASSIS, C. O. **Sistema alternativo para carbonização de madeira**. 2007. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

BARBOSA, R. I. Análise do setor madeireiro do estado de Roraima. **Revista Acta Amazônica**, 20 (único): 193-209. 1990.

BRASIL ECONÔMICO. (Infraestrutura). **Nova linha de transmissão de energia no Norte traz alívio para o bolso de todos**. 2013. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/empresas/infraestrutura/2013-07-11/nova-linha-de-transmissao-de-energia-no-norte-traz-alivio-para-o-bolso-de-todos.html>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

BRASIL. Código Florestal. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012.

BRASIL. II Plano Nacional de Desenvolvimento: Programa de Ação do Governo para o Território Federal de Roraima - POLORORAIMA. Ministério do Interior. Brasília, 1975. BRASIL. II Plano Nacional de Desenvolvimento: Programa de Ação do Governo para a Amazônia - II Plano de Desenvolvimento da Amazônia. SUDAM. Belém, 1976.

BRASIL. Lei nº 4.182, de 13 de dezembro de 1962. **Dá ao atual Território Federal do Rio Branco a denominação de Território Federal de Roraima.** Diário Oficial da União. Brasília, 18 dez. 1962.

BRASIL. Lei nº 5.812, de 13 de setembro de 1943. **Cria os Territórios Federais do Amapá, do Rio Branco, do Guaporé, de Ponta Porã e do Iguassú.** Coleção de Leis do Brasil. Rio de Janeiro, vol. 5, p. 132, col. 1.

BRASIL. Lei nº 6.550, de 31 de maio de 1944. **Retifica os limites e a divisão administrativa dos Territórios do Amapá, do Rio Branco, do Guaporé, de Ponta Porã, e do Iguassú.** Coleção de Leis do Brasil. Rio de Janeiro, vol. 4, p. 144, col. 1.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, MDIC. **Exportações, Importações e Balança Comercial - Estado: Roraima.** Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/balanca/comex-vis/uf/output/html/rr.html>>. Acesso em: 21 fev. 2016.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Sistema Integrado de Comércio Exterior, SISCOMEX. **Consultas.** Disponível em: <<http://alicesweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 19 fev. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA n 411**, de 6 de maio de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=604>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Proposta para revisão do coeficiente de rendimento volumétrico para o desdobro de tora em madeira serrada na Resolução CONAMA 411/2009.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/D7F20C87/Emenda_IBAMA.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2017.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Principais rodovias federais região norte.** 2000. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round2/figuras/rodnorte.gif>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

BRASIL. Constituição Federal (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p.

BRASILECONÔMICO. (Agronegócio). **Operação aplica mais de R\$ 1 milhão em multas por queimadas no Amazonas.** 2016. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/empresas/agronegocio/2016-08-24/queimadas-multas.html>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

BRENNEISEN, P. J. **Desempenho de motogerador de ciclo diesel operando com gás de gaseificação/diesel ou biogás/diesel**. 2013. 54f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: Gestões econômicas e ambientais. **Estudos Avançados**, v. 4, n. 9, p. 221-227, 1990a.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**. n. 14, p.9-20, 1977.

_____. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. **Documentos florestais**, v. 9, p. 1-19.1990b.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. 2008, 128f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CAMPOS, A. D. **Técnicas para Produção de Extrato Pirolenhoso para Uso Agrícola**. EMBRAPA - Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica 65, 2007, 8p.

CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S.R. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 105-118, 2005.

CHIES, F. et al. O. Desenvolvimento de blocos e tijolos a partir de cinzas de fundo de carvão - CIPECAL IN: Rocha, J. C. e John, U. M. Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Porto Alegre: **Coleção Habitare**, v. 4, p. 218-239, 2003.

CHOI, J. Y. et al. Effect of wood vinegar on the performance, nutrient digestibility and intestinal microflora in weanling pigs. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 22, n. 2, p. 267-274, 2009.

CORDEIRO, C. I. R. **A criação do Território Federal do Rio Branco, de 1943 a 1964**. 2012. 55f. Monografia (Graduação em História) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2012.

COSTA, T. G. et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014.

CRIVELLI, B. R. S. et al. Caracterização do setor madeireiro de Rorainópolis, sul de Roraima. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 3, p. 142-150, 2017.

DINIZ, A. M. A.; SANTOS, R. O. Fluxos Migratórios e Formação da Rede Urbana de Roraima. In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 2006, Caxambú. **Anais eletrônicos...** Caxambú, 2006. Disponível em: <<http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1605/1568>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

DUBOC, E. et al. **Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado**. EMBRAPA - Embrapa Cerrados. Documentos 197, 2007, 37 p.

DUTRA, R. I. J. P.; NASCIMENTO, S. M., Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, v. 5, 2005.

ELETROBRAS. (ELETRONORTE). **RORAIMA**. Disponível em: <<http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/roraima>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

FARIA, W. L. F. **A Jurema preta (*Mimosa hostilis*, Benth) como fonte energética do semi-árido do nordeste - carvão**. 1984. 128f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

FERREIRA, O. C. **Emissão de gases de efeito estufa na produção e consumo do carvão vegetal**. Disponível em: <<http://ecen.com/eee20/emiscarv.htm>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

FOLHABV. (Folha Web) **Setor madeireiro enfrenta crise no Estado**. 2015. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Setor-madeireiro-enfrenta-crise-no-Estado/4870>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

FOLHABV. (Folha Web). **Apagão deixa Boa Vista sem energia por mais de 12 horas: Caos**. 2016a. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Apagao-deixa-Boa-Vista-sem-energia-por-mais-de-12-horas/14558>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

FOLHABV. (Folha Web). **Falta de energia elétrica prejudica moradores da Vila de Petrolina: Abastecimento elétrico**. 2017a. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Falta-de-energia-eletrica-prejudica-moradores-da-Vila-de-Petrolina/27945>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

FOLHABV. (Folha Web). **Obras de pavimentação da BR-210 chegam a Baliza**. 2017b. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Obras-de-pavimentacao-da-BR-210-chegam-a-Baliza-/35427>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

FOLHABV. (Folha Web). **PF abre inquérito para investigar morte de 6 garimpeiros na Terra Yanomami**. 2016b. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/PF-abre-inquerito-para-investigar-morte-de-6-garimpeiros-na-Terra-Yanomami/22729>>. Acesso em: 08 fev. 2018.

FOLHABV. (Folha Web). **Roraima está refém da energia de Guri por não ter matriz energética: Na base do apagão**. 2014. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Roraima-esta-refem-da-energia-de-Guri-por-nao-ter-matriz-energetica/2368>>. Acesso em: 03 jun. 2017.

FUNGARO, D. A.; SILVA, M. G. Utilização de zeólita preparada a partir de cinza residuária de carvão como adsorvedor de metais em água. **Revista Química Nova**, v. 25, n. 6B, 1081-1085, 2002.

G1. (Amazonas). **PF faz operação de combate à exploração ilícita de madeira da Amazônia.** 2018a. Disponível em: <<https://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/pf-desmonta-esquema-bilionario-de-exploracao-ilicita-de-madeira-da-amazonia.ghtml>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

G1 (Roraima). **Femarh faz ação para combater extração e comercialização ilegal de madeira em RR.** 2018b. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/femarh-faz-acao-para-combater-extracao-e-comercializacao-ilegal-de-madeira-em-rr.ghtml>>. Acesso em: 27 fev. 2018.

G1. (Amapá). **Linhão de Tucuruí traz banda larga ao AP; testes começarão em abril.** 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2014/01/linhao-de-tucurui-traz-banda-larga-ao-ap-testes-comecarao-em-abril.html>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

G1. (Roraima). **Com impasse em obras do linhão do Tucuruí, RR segue sem previsão para aderir ao Sistema Interligado Nacional.** 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/com-impasse-em-obras-do-linhao-do-tucuri-rr-segue-sem-previsao-para-aderir-ao-sistema-interligado-nacional.ghtml>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

HOMMA, A. K. O. et al. Guseiras na Amazônia: perigo para a floresta. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 233, p. 56-63, 2006. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/45776/1/Guserahomma.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

HUMMEL, A. C. et al. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados.** Belém: SFB e IMAZON, 2010.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Histórias e fotos.** 2018. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/historico>>. Acesso em: 16 jan. 2018.

KAYSER, C. et al. Avaliação e melhoria do sistema de controle de uma central de geração de vapor em uma refinaria. In: III Congresso de Automação e Inovação Tecnológica Sucreenergética, 2015, Sertãozinho. **Anais eletrônicos...** Sertãozinho: ISA, 2015. Disponível em: <<http://www.isasertaozinho.com.br>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

KIARIE-MAKARA, M. W. et al. Repellent efficacy of wood vinegar against *Culex pipiens pallens* and *Aedes togoi* (Diptera: Culicidae) under laboratory and semi-field conditions. **Entomological Research**, v. 40, n. 2, p.97-103, 2010.

KIM, M. K. et al. Anti-stress effect of pyroligneous liquid in SD Rats and ICR Mice. **Biomolecules and Therapeutics**, v. 11, n. 4, p. 249-256, 2003.

LEÃO, T. E. **Produção de energia elétrica através de gases provenientes da carbonização da madeira com micro-ondas.** 2015. 111f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais, 2015.

LIMA, A. J. B. et al. Emprego do carvão ativado para remoção de cobre em cachaça. **Revista Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 247-250, 2006.

LIMA, J. R. A. et al. Situação das indústrias madeireiras do Estado do Amazonas em 2000. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 125-132, 2005.

MAKRAY, Z. T. **Gaseificação de madeira em gaseificador co-corrente para produção de gás de médio poder calorífico e gás de síntese**. 1984. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1984.

MEDEIROS NETO, P. N. et al. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 579-588, 2012.

MEIRA, A. M.; BRITO, J. O.; RODRIGUEZ, L. C. E. Estudo de aspectos técnicos, econômicos e sociais da produção de carvão vegetal no município de Pedra Bela, São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 809-817, 2005.

MORANDI FILHO, W. J. et al. Ação de produtos naturais sobre a sobrevivência de *Argyrotaenia sphaleropa* (Meyrick) (Lepidoptera: Tortricidae) e seletividade de inseticidas utilizados na produção orgânica de videira sobre *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p.1072-1078, jul-ago, 2006.

MOUTINHO, V. H. P. **Influência da variabilidade dimensional e da densidade da madeira de *Eucalyptus sp.* e *Corymbia sp.* na qualidade do carvão**. 2013. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NIKHOM, L. **Wood Vinegar**. Disponível em: <<http://www.authorstream.com/Presentation/Cannes-50452-Wood-vinegar-Background-Product-Carbonization-Cont-Recover-Pyroligneous-Liquor-Collector-Procedure-Im-as-Education-ppt-powerpoint>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

NOBRE, J. R. C. **Produção e qualidade do carvão ativado de resíduos madeireiros de espécies do estado do Pará**. 2013. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ODY, D. A. **Remoção de corantes têxteis de efluentes por adsorção com carvão ativado**. 2014. 38f. Monografia (Graduação em Engenharia química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

OLIVEIRA NETO, T.; NOGUEIRA, R. J. B. Rodovias na Amazônia: o projeto de entrecortar o território através da perimetral norte BR-210. **Examãpaku**, v. 8, n. 3, p. 26-40, 2015.

OLIVEIRA, J. A. **Cidades na Selva. Manaus**: Editora Valer, 2000. 224p.

OLIVEIRA, R. S. **Atlas do Estado de Roraima: território e população**. Boa Vista: Editora UFRR, 2006.

PAES, J. B. et al. Efeito da purificação e do enriquecimento do creosoto vegetal na preservação da madeira de *Eucalyptus grandis*, após 48 meses de instalação do ensaio de campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 475-484, 2002.

PAIXÃO et al. Produção e destinação dos resíduos gerados em serrarias no município de Rolim de Moura - RO. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 47-56, 2014.

PENNISE, D. M. et al. Emissions of greenhouse gases and other airborne pollutants from charcoal making in Kenya and Brasil. **Journal of Geophysical Research**, v. 106, n. d20, p. 24143-24155, 2001.

POHLMANN, J. G. et al. Pulverized combustion under conventional (O₂/N₂) and oxy-fuel (O₂/CO₂) conditions of biomasses treated at different temperatures. **Fuel Processing Technology**, v. 1, p. 1, 2016.

PORTAL DA INDUSTRIA. **Ranking dos Estados**. 2016. Disponível em: <<http://perfil estados.portal da industria.com.br/ranking?cat=19&id=1549>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

PORTO, P. R. et al. Efeito da aplicação do extrato pirolenhoso na germinação e no desenvolvimento de mudas de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Instituto Florestal - Série Registro**, São Paulo, n. 31, p. 15-19, jul. 2007.

QUITETE, C. P. B.; SOUZA, M. M. V. M. Remoção do alcatrão de correntes de gaseificação de biomassa: processos e catalisadores. **Revista Química Nova**. v. 37, n. 4, p. 689-698, 2014.

RIBEIRO, R. S. **Investigação experimental e integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas**. 2007. 106f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

RIBEIRO, V. G. et al. Efeitos de ácido giberélico e carvão ativado no cultivo *in vitro* de *Citrus limonia* osbeck x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 27-30, jan. 2000.

RIEGEL, I et al. Análise termogravimétrica da pirólise da acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**. v. 32 n. 3, p. 533-543, 2008.

ROCHA, D. P. **Evolução e Sustentabilidade do Setor Industrial Madeireiro no Estado de Rondônia**. 1999. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências Economia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

RORAIMA. **Guia Turístico Roraima**. São Paulo: Empresa das Artes. 2009. 103 p.

RORAIMA. Lei nº 100, de 17 de outubro de 1995. **Cria o Município de Rorainópolis e dá outras providências.** Diário Oficial do Estado de Roraima. Boa Vista, 17 out. 1995.

RORAIMAEMTEMPO. **Falta de emprego gera criminalidade em Rorainópolis e desabastece comércio, afirmam moradores.** 2018. Disponível em: <<http://roraimaemtempo.com/falta-de-emprego-gera-criminalidade-em-rorainopolis-e-desabastece-comercio-afirmam-moradores>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

SAKAGUCHI, H. et al. Preserving boiled eggs with a sterilization system employing microbial laccase and wood vinegar. **Animal Science Journal**, v. 78, n. 6, p. 668-671, 2007.

SALLES NETO, A. A. P. (WIKIPEDIA). **Mapa Rodoviário do Estado de Roraima, Brasil.** 2012. Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Mapa_Rodovi%C3%A1rio_RR_-_detalhado.png>. Acesso em: 16 fev. 2018.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado.** 2008. 57f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Production**, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. (Sistema Nacional de Informações Florestais). **Extração - Produtos Florestais Madeireiros (PFM).** 2016. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/consumo>>. Acesso em: 12 jun. 2017.

SILVA, A. S. et al. Qualidade de mudas de eucaliptos tratadas com extrato pirolenhoso. **Revista Cerne**, v. 12, n. 1, p. 19-26, 2006.

Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais. (SINDIFER) **Anuário 2015.** Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.sindifer.com.br/institucional/anuario/anuario_2015.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2017.

TRUGILHO, P. F. et al. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v. 2, n. 1, p. 94-116, 1996.

UHLIG et al. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

WIN, K. T. et al. Suppression of ammonia volatilization from a paddy soil fertilized with anaerobically digested cattle slurry by wood vinegar application and floodwater management. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 55, n. 1, p. 190-202, 2009.

1. CARACTERÍSTICAS DAS ESPÉCIES COMO SUBSÍDIO À CRIAÇÃO DE AGRUPAMENTOS

Resumo

Uma das razões para o resíduo madeireiro se tornar rejeito, é devido o desconhecimento de suas características físicas, químicas e energéticas. Como forma de contribuir para ações que visem a utilização destes materiais, objetivou-se identificar as espécies de madeira e avaliar individualmente suas características físicas, químicas e energéticas, como subsídio para a criação de agrupamentos. Os ensaios realizados foram granulometria, umidade base úmida, pH, densidade básica da madeira e à granel, extrativos totais, lignina, holocelulose, materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e útil. Os resíduos madeireiros produzidos pelas serrarias apresentaram comportamentos distintos entre as espécies desdobradas e em relação ao EG (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) para as características físicas, químicas e energéticas. Pode-se afirmar, com base nos resultados obtidos, que os Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM) possuem características promissoras para a produção energética. O agrupamento com maior potencial energético foi constituído por *Manilkara huberi*, *Handroanthus* sp. e *Dinizia excelsa*.

Palavras-chave: Serrarias; Resíduo de madeira; Características físicas, Químicas e energéticas.

Abstract

One of the reasons for the logging residue to become tailings is due to lack of knowledge of its physical, chemical and energetic characteristics. As a way to contribute to actions aimed at the use of these materials, the objective was to identify the wood species and individually evaluate their physical, chemical and energetic characteristics, as a subsidy for creation of clusters. The tests were granulometry, humidity (humid basis), hydrogen potential, density basic of wood and bulk density, extractives of wood, lignin, holocellulose, volatile materials, ash, fixed carbon, superior and useful calorific value. The wood's residual produced by sawmills presented different behaviors among the unfolded species in relation to EG (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) for the physical, chemical and energetic characteristics. It can be stated, based on the results obtained, that Fine Residues of Sawed Wood (RFDM) promising features for energy production. The group with the greatest energy potential constituted by *Manilkara huberi*, *Handroanthus* sp. and *Dinizia excelsa*.

Keywords: Sawmills; Timber residue; Physical, Chemical and energy characteristics.

1.1. Introdução

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, conhecida como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. Na seção V trata especificamente sobre o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), na qual estabelece as instituições públicas e privadas que devem apresentar o documento, os conteúdos mínimos para sua elaboração, entre outros. No caso das serrarias, o PGRS é parte integrante do processo de licenciamento ambiental, ou seja, as serrarias que não apresentarem o documento perante os órgãos responsáveis para avaliação e aprovação, estarão funcionando ilegalmente, sendo assim, ficarão suscetíveis a multas ou interdição dos empreendimentos.

Rorainópolis é um município de 24.279 mil habitantes (IBGE, 2010), o segundo maior município do estado de Roraima. Apesar de ser um município pequeno, a sua importância para o setor florestal merece destaque, especialmente, no desdobro de madeira em tora oriunda de floresta nativa. Em 2015, Rorainópolis foi o décimo maior município produtor de toras nativas do Brasil com 179.147 m³ (IBGE, 2015). De posse desta informação, Rorainópolis pode ser considerado um pólo madeireiro, pois Veríssimo et al. (1998) estabelecem como pólo madeireiro, regiões em que o consumo anual de madeira em tora seja igual ou superior a 100.000 m³.

O pólo de Rorainópolis chegou a ter 67 serrarias (PREFEITURA DE RORAINÓPOLIS, 2017). Entre o período de 2004 e 2013 apenas 24 serrarias submeteram a documentação para início do processo de licenciamento ambiental para o desdobro da madeira (CRIVELLI et al., 2017).

Por muitos anos a madeira desdobrada no município foi o principal produto exportado do estado de Roraima. No primeiro semestre de 2013 a exportação total do estado foi de US\$ 3.871.000 e US\$ 2.023.000 (52%) representado pela venda de madeira (VERISSIMO, 2013). Entretanto, em fevereiro de 2017, passou a ser o segundo produto mais exportado (17% das exportações), sendo a primeira posição (75% do total exportado) obtida por gêneros alimentícios e bebida (RORAIMA HOJE, 2017). É importante salientar, que este fato é explicado devido à crise de abastecimento de gêneros alimentícios e bebida no mercado venezuelano. Os países importadores de madeira até o ano de 2017 foram, em ordem decrescente,

Venezuela, Holanda, China, Guiana, Itália, Estados Unidos, Vietnã, Japão, Bélgica, Uruguai e Alemanha (SISCOMEX, 2018).

Apesar de todo potencial, o pólo de Rorainópolis, enfrenta dificuldades para a destinação adequada dos resíduos gerados durante o processo de desdobro. A falta de alternativas tem dificultado os processos de licenciamento ambiental. Em muitos casos, os empresários trabalham ilegalmente, o que gera concorrência desleal e reduz o valor da madeira. Como alternativa, as serrarias licenciadas poderiam, a princípio, realizar o aproveitamento dos resíduos madeireiros por meio da queima direta para geração de energia.

Sabe-se que a questão energética em Roraima é a maior dificuldade para o desenvolvimento industrial. Ao utilizar a média, obtida por Danielli et al. (2016) de 30,1% de rendimento de desdobro e o volume de madeira em tora 179.147 m³ (IBGE, 2015), pode-se estimar que a produção de resíduos madeireiros no estado seria de 53.923,247 m³/ano. Este montante de resíduos madeireiros poderia ser utilizado para contribuir com a questão energética de Roraima, desde que seja comprovada sua eficiência.

Além disso, o agronegócio tem aumentado a sua importância na balança comercial roraimense, principalmente devido à crise econômica e de abastecimento na Venezuela. Apesar da disposição inadequada de resíduos madeireiro ser ilegal, há na literatura estudos que obtiveram resultados promissores para o uso da serragem *in natura* como fertilizante orgânico por meio da compostagem (MAIA et al., 2003). A serragem possui lenta biodegradação, devido à alta relação carbono nitrogênio, e recomenda-se a compostagem com algum material com alto teor de nitrogênio para que ocorra a disponibilização dos nutrientes de forma mais rápida para o solo (BUDZIAK et al., 2004).

Não há registros na literatura sobre estudos que visem o uso dos resíduos madeireiros do pólo de Rorainópolis. Segundo Lopes (2009), a falta de informação sobre as possibilidades de utilização e as dificuldades intrínsecas ao aproveitamento dos resíduos madeireiros resultam no abandono, formação de pilhas e queima a céu aberto. Como forma de coibir a queima de resíduos madeireiros à céu aberto, a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH) estabeleceu a Instrução Normativa Nº. 002/2016, que suspendeu “todas as formas de manejo que envolva a queima de resíduos das atividades madeireiras e agropecuárias, mesmo

que tal prática conste dos estudos ambientais que orientaram o licenciamento ambiental”.

Desse modo, há um contexto de obrigações legais para o uso dos resíduos madeireiros e, por consequência, uma abundância de oportunidades que motiva estudos para a caracterização inicial do material. Sendo assim, objetivou-se identificar as espécies de madeira e avaliar individualmente suas características físicas, químicas e energéticas, como subsídio para a criação de agrupamentos.

1.2. Material e método

1.2.1. Material e amostragem

O conjunto de resíduos foram classificados em maravalhas (> 2,500 mm), serragens (0,500 mm até 2,500 mm) e pó (< 0,500 mm), conforme sugerido por Cassilha et al. (2004). Por falta de nomenclatura adequada, o conjunto formado por maravalhas, serragens e pó foi denominado como Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM). Foram caracterizados os RFDM de quinze espécies amazônicas, coletadas de forma aleatória, que estavam sendo desdobradas em serrarias do único pólo madeireiro do estado de Roraima, Brasil. Nesta direção, foram realizadas visitas diárias às serrarias em funcionamento localizadas no município de Rorainópolis, para a coleta do material de espécies distintas.

As coletas dos RFDM das toras (diâmetro > 50 cm e comprimento 6 m) foram realizadas durante o desdobro, processadas em serra de fita e serras circulares. É importante salientar, que as serragens foram recolhidas em sacos de polipropileno diretamente das esteiras, ou seja, não houve contato com o solo.

Das amostras de RFDM coletadas, foram armazenadas separadamente 200 gramas por espécie, sem realização de secagem, para a análise química prévia das madeiras. O restante do RFDM foi submetido à secagem em estufa à temperatura de 100°C, até a peso constante, visando a redução de riscos de ataque de microrganismos, condição essencial para o transporte do material até o município de Piracicaba, SP.

Além deste material, foram coletados 20 corpos de prova (5 cm x 5 cm x 10 cm, aproximadamente), 10 no sentido radial e 10 longitudinal das toras para a estimativa de densidade básica da madeira e a identificação das espécies. As

confirmações das identidades das espécies foram realizadas no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeira (LAIM) na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), por meio da análise macroscópica, com auxílio de lupa com 10x de aumento.

Foi utilizado o *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (EG) como amostra de controle (exceto para a análise granulometria) e padrão comparativo, devido à falta de informações sobre o comportamento de parte das espécies. A madeira de EG foi oriunda de plantios comerciais, de três árvores, com idade de 7 anos, localizados no município de Barra do Chapéu - SP.

1.2.2. Caracterização física, química e energética

A análise granulométrica dos RFDM foi realizada pelo método de peneiramento, conforme NBR 7.217 (ABNT, 1987), utilizando diferentes aberturas, 4 mm, 0,600 mm, 0,425 mm, 0,250 mm, < 0,250 mm e a base, respectivamente.

A determinação da umidade base úmida dos RFDM foi realizada utilizando o método gravimétrico NBR 7.190 (ABNT, 1997).

Para a determinação do pH da madeira, foi proposta a seguinte metodologia: pesou-se o equivalente a 1 grama de RFDM absolutamente seco em Erlenmeyer de 200 mL com 100 mL de água destilada. Procedeu-se o fechamento do Erlenmeyer com papel alumínio e o aquecimento da mistura em banho-maria a 100°C por 60 minutos. Após o resfriamento natural do conjunto, realizou-se a leitura em pHmetro e o resultado foi classificado em alta acidez (0,00 a 3,50), baixa acidez (3,51 a 6,50), neutra (6,51 a 7,50), baixa basicidade (7,51 a 10,50) e alta basicidade (10,51 a 14,00).

O cálculo da densidade básica da madeira foi determinado pelo método da balança hidrostática NBR 11.941 (ABNT, 2003). Para a classificação das densidades básicas das espécies foram consideradas a média entre as peças dos indivíduos e as escalas: baixa (0,310 g/cm³ entre 0,500 g/cm³), média (0,501 g/cm³ entre 0,700 g/cm³) e alta (0,701 g/cm³ entre 0,900 g/cm³).

Para a obtenção da densidade à granel da madeira foi utilizado um béquer de 100 mL, que foi preenchido lentamente com RFDM na umidade de equilíbrio, até acima da borda do béquer. Em seguida, utilizou-se régua para a retirada dos excessos. A utilização do béquer foi uma adaptação da NBR 6.922 (ABNT, 1981).

Os procedimentos utilizados para a quantificação dos extrativos totais, lignina foram respectivamente TAPPI T-12 os-75, TAPPI 222 os-74 e a holocelulose foi calculada por diferença entre 100% e a soma das porcentagens de lignina e extrativos totais.

A análise química imediata dos resíduos *in natura* foi realizada conforme a norma NBR 8.112 (ABNT, 1984a).

O poder calorífico superior da madeira (PCSM) foi determinado em um calorímetro PARR 1.201, conforme a norma NBR 8.633 (ABNT, 1984b). O poder calorífico útil da madeira foi calculado descontando-se do PCSM a perda de energia necessária para evaporar a água referente à umidade da madeira.

Salienta-se, que para todos os ensaios foram realizadas três repetições por espécie.

1.2.3. Análise de dados

Os dados obtidos foram processados e analisados a partir da construção de um banco de dados utilizando o programa Excel®. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, formado por dezesseis espécies (espécies amazônicas + EG (*Eucalyptus grandis*)) com 3 repetições cada. Foi realizada a análise de variância seguido do teste de Scott-Knott, quando significativo, para distinção das médias entre as espécies. Ressalta-se que as médias apresentadas na última linha de cada tabela não consideram o EG (*Eucalyptus grandis*).

Foi realizado a análise de agrupamento com base na similaridade, considerando os valores obtidos nos ensaios de lignina, holocelulose, cinza, carbono fixo e poder calorífico útil da madeira. Para a realização da análise, os valores foram padronizados, considerando a média e a variância das espécies iguais a 0 e 1, respectivamente.

1.3. Resultados e discussão

Durante as visitas diárias, foram verificadas 22 serrarias em operação, localizadas na BR 174, vicinal 01 e 34, no município de Rorainópolis. Na literatura, verificou-se a presença de 26 serrarias na região sul de Roraima em 1988 por Barbosa (1990) e em 2005 foram 28 em todo estado (TONINI e LOPES, 2006). Ao comparar o

dado obtido no presente estudo (22 serrarias) com às referências (26 e 28 serrarias), nota-se que houve redução do número de serrarias. Isto pode ser explicado pela intensificação das fiscalizações e pelo fato, relatado por Lentini et al. (2005), dos empreendimentos florestais na Amazônia, em alguns casos, serem intermitentes com a ocorrência de migração.

Normalmente, as serrarias localizam-se em locais distantes das cidades, próximas à fonte de matéria-prima (ROCHA, 2002). Entretanto, este fato não é observado em Rorainópolis, pois todas as serrarias estão no máximo três quilômetros da cidade ou nas proximidades da Vila Nova Colina, pertencente ao município de Rorainópolis. Ou seja, estão mais próximos aos aglomerados populacionais, quando comparado aos locais de obtenção da matéria-prima.

Outro fato observado, foi a similaridade entre os tipos de maquinários utilizados nas serrarias. Todas as serrarias eram compostas por uma serra fita simples com recuo morto para o desdobro primário, e no desdobro secundário serras circulares múltiplas e simples (destopadeiras), para estabelecer a largura e o comprimento das tábuas, respectivamente. Outra similaridade, foram os procedimentos e equipamentos utilizados para a manutenção das serras. As serrarias distinguiram-se quanto ao *layout* e o número de serras utilizadas no desdobro, ocorrências que anulam a influência das serrarias nos RFDM coletados.

Foram necessárias 8 serrarias distintas (TABELA 1) para coletar as 15 espécies, esse resultado revela que a maioria das serrarias desdobram entre duas e quatro espécies. Observação similar foi constatada nos estudos realizados por Barbosa (1990), Cunha et al. (2009) e Crivelli et al. (2017) nos quais relatam, nesta série histórica de 23 anos, que o número de espécies mais processadas variou entre 3 e 4, representando 71% até 97% do volume desdobrado no estado.

Tabela 1. Espécies amazônicas com seus respectivos nomes vernaculares e locais de coleta.

| Sigla | Espécie | Nome vernacular | Serraria |
|--------------|---|------------------------|-----------------|
| Maç | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev | maçaranduba | Serraria 1 |
| Tat | <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. | tatajuba | Serraria 1 |
| And | <i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC. | andira | Serraria 1 |
| CeD | <i>Cedrela</i> sp. | cedro - doce | Serraria 2 |
| Peq | <i>Caryocar villosum</i> (Abul.) Pers. | pequiá | Serraria 2 |
| Jat | <i>Hymenaea</i> sp. | jatobá | Serraria 2 |
| Ipê | <i>Handroanthus</i> sp. | ipê amarelo | Serraria 2 |
| Cac | <i>Cariniana micrantha</i> Ducke | cachimbeiro | Serraria 3 |
| LoP | <i>Ocotea cinerea</i> van der Werff | louro preto | Serraria 3 |
| Tan | <i>Buchenavia grandis</i> Ducke | tanibuca | Serraria 4 |
| RaA | <i>Qualea paraensis</i> Ducke | rabo de arraia | Serraria 4 |
| AnF | <i>Dinizia excelsa</i> Ducke | angelim - ferro | Serraria 5 |
| Ama | <i>Vatairea guianensis</i> Aubl. | amargoso | Serraria 6 |
| Ucu | <i>Iryanthera</i> sp. | ucuúba | Serraria 7 |
| AnP | <i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke | angelim - pedra | Serraria 8 |

No ano de 2013, segundo Crivelli et al. (2017), as principais espécies desdobradas foram maçaranduba (*Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev.), angelim-ferro (*Dinizia excelsa* Ducke), angelim-pedra (*Hymenolobium excelsum* Ducke) e cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.). Ao comparar essa relação de espécies com a Tabela 1 nota-se que três (*Manilkara huberi*, *Dinizia excelsa*, *Hymenolobium excelsum*) das quinze espécies amazônicas coletadas estão entre as principais espécies desdobradas em 2013. A *Manilkara huberi* (maçaranduba) foi a única espécie em que todas as serrarias visitadas possuíam toras no pátio para o desdobro. Não por acaso, popularmente, a região sul de Roraima é conhecida como o “Paraíso das maçarandubas”.

O teste de Scott-Knott para a análise granulométrica resultou em médias distintas estaticamente (TABELA 2), no qual destaca-se a baixa porcentagem de grânulos na fração superior (> 4,000 mm). Este resultado pode ser justificado pela ausência de unidades de beneficiamento nas serrarias. As unidades de beneficiamento utilizam plainas e desengrossadeiras, que produzem resíduos maiores de 2,5 mm, denominadas maravalhas, que por consequência aumentariam o percentual de grânulos nas frações superiores.

Tabela 2. Distribuição granulométrica média dos resíduos madeireiros produzidos por serrarias em Roraima.

| SIGLA | Porcentagem retida na peneira | | | | |
|-----------|-------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| | > 4,000 mm | 4,000 mm – 0,600 mm | 0,600 mm – 0,425 mm | 0,425 mm – 0,250 mm | < 0,250 mm |
| Maç | 1,7 A (1,7) | 17,5 D (4,7) | 29,6 B (8,1) | 29,6 A (6,5) | 21,6 A (5,5) |
| Tat | 0,1 B (0,1) | 44,3 C (2,6) | 25,9 B (0,9) | 18,9 B (0,3) | 10,7 C (3,1) |
| And | 0,6 B (0,1) | 48,6 B (6,4) | 30,0 B (2,8) | 16,3 B (1,9) | 5,0 D (2,3) |
| CeD | 0,3 B (0,2) | 69,1 A (6,6) | 16,2 C (3,3) | 8,9 C (2,3) | 5,5 D (1,0) |
| Peq | 0,1 B (0,1) | 50,7 B (10,8) | 23,5 C (4,9) | 15,7 B (5,0) | 9,9 C (1,0) |
| Jat | 1,3 A (0,7) | 43,6 C (11,1) | 19,8 C (4,8) | 15,0 B (5,2) | 20,3 A (0,5) |
| Ipê | 1,5 A (1,6) | 25,4 D (9,7) | 27,9 B (2,6) | 24,9 A (8,1) | 20,4 A (3,4) |
| Cac | 1,0 A (0,4) | 54,4 B (3,4) | 16,5 C (1,5) | 17,6 B (1,7) | 10,4 C (2,7) |
| LoP | 0,5 B (0,4) | 62,7 A (8,7) | 18,0 C (3,9) | 10,9 C (3,5) | 7,8 C (1,1) |
| Tan | 1,7 A (0,1) | 39,7 C (7,0) | 23,1 C (0,8) | 20,2 B (3,7) | 15,3 B (2,8) |
| RaA | 0,3 B (0,1) | 43,8 C (24,6) | 31,86 B (12,6) | 13,3 B (9,4) | 10,7 C (3,4) |
| AnF | 0,2 B (0,1) | 26,1 D (4,7) | 25,5 B (0,1) | 26,4 A (2,7) | 21,8 A (2,1) |
| Ama | 2,1 A (0,2) | 66,0 A (1,0) | 21,4 C (1,5) | 8,4 C (0,4) | 2,1 D (0,1) |
| Ucu | 0,4 B (0,2) | 78,6 A (11,2) | 14,1 C (7,0) | 5,2 C (2,7) | 1,7 D (1,4) |
| AnP | 0,3 B (0,2) | 21,0 D (2,6) | 39,1 A (2,6) | 33,1 A (2,8) | 6,4 D (2,1) |
| \bar{X} | 0,8 | 46,1 | 24,2 | 17,6 | 11,3 |

Legenda: \bar{X} : Média geral de cada fração para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística nas classes ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em %.

As maiores quantidades de pó foram produzidas por AnF (*Dinizia excelsa*), Maç (*Manilkara huberi*) e Ipê (*Handroanthus* sp.), respectivamente, 21,8%, 21,6% e 20,4%. Sabe-se que as espécies consideradas duras apresentam maior resistência à penetração aos dentes das serras e por consequência, produzem maior proporção de pó, menor que 0,250 mm (CASSILHA et al. 2004), comparado as madeiras ditas moles. A afirmação é validada, pois as espécies supracitadas (AnF, Maç e Ipê) possuem resistência de 3.219 lbf (IPT, 2017a), 2.430 lbf (IPT, 2017b), e 2.430 lbf (IPT, 2017c), respectivamente, e são classificados como madeiras duras (> 1.800 lbf), conforme classificação sugerida por Tom & Peter Flooring Inc (2017), e o Ama (*Vatairea guianensis*) com 1.135 lbf (IPT, 2017d) possui madeira de média dureza (1.800 lbf até 1.200 lbf).

Conforme a classificação de resíduos madeireiros sugerida por Cassilha et al. (2004), nota-se a predominância das frações menor que 4,000 mm até 0,600 mm e menor que 0,600 mm até 0,425 mm, aproximadamente 70% do valor total, e representam em sua maioria a presença de serragem (2,500 mm até 0,500 mm).

A umidade na base úmida, pH da madeira (pHM) e as densidades básica da madeira (DBM) e à granel dos RFDM (DGM) diferenciaram as espécies em 5, 8, 9 e 10 classes distintas para o teste de média, respectivamente (TABELA 3). Os menores valores de umidade foram obtidos pelo Ipê (*Handroanthus* sp.), Maç (*Manilkara huberi*) e Cac (*Cariniana micrantha*), abaixo de 30%, já o EG (*Eucalyptus grandis*) foi classificada como valor intermediário (34,93%).

O motivo para a baixa umidade (TABELA 3) obtida pelas espécies *Handroanthus* sp. (Ipê) e *Manilkara huberi* (Maç) está relacionado ao tempo de armazenamento das toras no pátio, já que normalmente espécies com alto valor econômico são comercializadas em grandes lotes sendo necessário a estocagem das toras. Além disso, as coletas foram realizadas em novembro, mês de baixa pluviosidade no município de Rorainópolis. Já as espécies acima de 31% de umidade na base úmida, provavelmente, foram serradas em até uma semana após o corte, considerando os resultados obtidos por Silveira et al. (2013) ao analisar nove espécies amazônicas.

Segundo Ceragioli (2013), para manter o potencial energético, a madeira necessita possuir umidade, na base úmida, inferior a 30%. Sendo assim, para a maioria das espécies de RFDM, seria necessária a adoção de métodos para redução da umidade, seja por meio da secagem artificial (período chuvoso) ou pelo maior tempo de estocagem das toras no período seco.

Tabela 3. Valores médios obtidos para umidade, pH, densidade básica da madeira e à granel dos resíduos produzidos por serrarias em Roraima e do *Eucalyptus grandis*.

| SIGLA | Umidade base úmida (%) | pHM | DBM (g/cm ³) | DGM (kg/m ³) |
|-----------|------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| Maç | 28,31 D (3,93) | 5,26 E (0,07) | 0,778 C (0,017) | 399,2 A (4,8) |
| Tat | 38,16 C (5,54) | 6,45 B (0,23) | 0,664 E (0,023) | 283,4 F (8,6) |
| And | 49,12 A (1,01) | 6,74 A (0,04) | 0,638 F (0,108) | 279,2 F (5,8) |
| CeD | 34,98 C (0,83) | 4,71 G (0,13) | 0,407 J (0,007) | 182,4 J (1,5) |
| Peq | 43,75 B (1,45) | 6,15 C (0,06) | 0,621 F (0,017) | 258,3 G (7,1) |
| Jat | 34,07 C (2,70) | 5,37 E (0,13) | 0,856 A (0,033) | 255,6 G (9,0) |
| Ipê | 18,90 E (2,39) | 5,47 E (0,19) | 0,830 B (0,020) | 384,1 B (7,4) |
| Cac | 29,97 D (2,82) | 5,67 D (0,09) | 0,557 G (0,024) | 249,6 G (8,7) |
| LoP | 50,05 A (1,04) | 4,48 H (0,13) | 0,525 H (0,010) | 224,8 H (6,8) |
| Tan | 32,15 D (2,53) | 4,31 H (0,06) | 0,835 B (0,007) | 294,4 E (9,6) |
| RaA | 39,20 C (2,54) | 4,72 G (0,18) | 0,694 D (0,025) | 331,2 D (8,4) |
| AnF | 32,15 D (6,48) | 4,66 G (0,06) | 0,877 A (0,011) | 355,6 C (2,6) |
| Ama | 44,38 B (5,47) | 5,08 F (0,03) | 0,577 G (0,027) | 226,5 H (3,9) |
| Ucu | 49,51 A (3,23) | 5,73 D (0,09) | 0,509 H (0,024) | 223,1 H (4,2) |
| AnP | 48,18 A (0,58) | 6,77 A (0,04) | 0,584 G (0,018) | 278,5 F (1,6) |
| EG | 34,93 C (0,72) | 5,28 E (0,02) | 0,453 I (0,061) | 203,7 I (0,8) |
| \bar{X} | 38,19 | 5,44 | 0,663 | 281,7 |

Legenda: pHM: Potencial hidrogeniônico da madeira; DBM: Densidade básica da madeira; DGM: Densidade à granel da madeira; EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística nas classes ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão na unidade em que cada ensaio foi realizado.

A explicação para a redução do potencial energético, pode ser comprovada no poder calorífico útil, pois parte da energia gerada pela queima é perdida para evaporar a água contida na madeira. Além disso, sabe-se que valores altos de umidade reduzem a temperatura dos gases gerados, ocorrendo o decréscimo da pressão na saída da câmara de combustão, e por consequência, favorece a formação de crostas de fuligem no interior da câmara de combustão e nas chaminés. Estes problemas podem prejudicar o desempenho da combustão de biomassa para fins energéticos.

De acordo com essas informações, e os valores obtidos para umidade no presente estudo, apenas Ipê (*Handroanthus* sp.), Maç (*Manilkara huberi*) e Cac (*Cariniana micrantha*) obtiveram desempenho satisfatório para a conversão imediata em energia ou calor sem a necessidade de secagem do material.

O pHM variou de 4,31 (Tan - *Buchenavia grandis*) a 6,77 (AnP - *Hymenolobium excelsum*) consideradas, respectivamente, de baixa acidez e neutra. As espécies

consideradas neutras foram (AnP) *Hymenolobium excelsum* (6,77) e (And) *Andira inermis* (6,74) e as demais espécies foram consideradas de baixa acidez, inclusive o *Eucalyptus grandis* (EG). Iwakiri et al. (2015) afirmam que o pHM está situado entre 3,00 e 5,50, entretanto, foram observados valores superiores à faixa relatada. A diferença entre as faixas pode ser explicada pela falta de normatização e, por consequência, a adoção de métodos distintos e pelo uso, neste estudo, de espécies que não possuem tradição para a confecção de produtos engenheirados.

De posse do valor médio de pH do solo, 5,00, obtido em região de floresta e floresta convertida para pastagem por Cruz (2013) em Rorainópolis, percebe-se que a deposição dos resíduos madeireiros poderia tanto acidificar o solo como neutralizá-lo, devido à variação do pHM obtido pelas espécies (TABELA 3). Porém, ao analisar de forma simplória, nota-se que haveria aumento do pH ao considerar a média das espécies (5,44) e do solo (5,00). Neste contexto, o aumento de pH poderia resultar na redução da disponibilidade de Alumínio e Manganês trocáveis no solo que em altas concentrações, normalmente são tóxicos para as plantas (DAMATTO JUNIOR et al., 2006). Além disto, há disponibilização de Cálcio e Magnésio (MONTEIRO et al., 2006), entretanto, o maior entrave para a utilização do RFDM é o tempo necessário para a decomposição deste material (BUDZIAK et al., 2004).

As maiores DBM foram observadas nas espécies (AnF) *Dinizia excelsa* (0,877 g/cm³) e (Jat) *Hymenaea* sp. (0,856 g/cm³), ambas classificadas como de alta densidade e as menores foram (CeD) *Cedrela* sp. (0,407 g/cm³) e (EG) *Eucalyptus grandis* (0,453 g/cm³) classificadas como baixa densidade (TABELA 3). Na literatura, as DBM para as espécies supracitadas variaram entre 0,830 g/cm³ a 0,880 g/cm³, 0,760 g/cm³ a 0,880 g/cm³, 0,380 g/cm³ a 0,431 g/cm³ e 0,437 g/cm³ a 0,460 g/cm³ respectivamente (NASCIMENTO et al., 1997; QUIRINO et al., 2004; ALZATE et al., 2005; ARAÚJO, 2007; VALÉRIO et al., 2008; GOUVÊA et al., 2011), os intervalos incluem os valores observados no presente estudo.

A espécie que apresentou maior DGM foi a Maç (*Manilkara huberi*) e os menores foram obtidos por CeD (*Cedrela* sp.) e o EG (*Eucalyptus grandis*), com isso a DGM variou de 399,2 kg/m³ a 182,4 kg/m³. Os resultados da DGM diferenciam das observadas por Rodrigues (2013) 170,56 kg/m³ (*Parkia* sp.) a 370,92 kg/m³ (*Manilkara huberi*) a 12% de umidade, nota-se que as umidades das serragens por serem distintas influíram na DGM.

Ao comparar a Tabela 2 com a Tabela 3, observa-se que as três maiores densidades à granel foram obtidas pelas mesmas espécies (Maç, Ipê e AnF) que apresentaram maior concentração na menor fração granulométrica (< 0,250 mm). Este comportamento justifica-se devido à maior compactação obtida por frações com menores dimensões, quando comparado às frações maiores.

Outra análise possível, é a comparação das densidades básicas das madeiras e à granel, na qual nota-se que as três menores densidades da madeira corresponderam às menores densidades à granel. Sabe-se que, ao utilizar volume constante, os resíduos de baixa densidade apresentam menor peso do que resíduos de alta densidade. Já para as três maiores densidades da madeira, esta relação não foi observada, evidenciando que houve maior influência no comportamento observado da granulometria dos RFDM em relação a DBM.

As espécies foram classificadas no teste de média em 7, 3 e 5 classes distintas para os extrativos totais, lignina e holocelulose, respectivamente (TABELA 4). Das quinze espécies, cinco foram classificadas na classe com menor teor de extrativos totais, com destaque para RaA (*Qualea paraensis*) e Cac (*Cariniana micrantha*), 4,5% e 4,7%, respectivamente. O Ama (*Vatairea guianensis*) foi a espécie que apresentou maior teor de extrativos (21,7%), aproximadamente dezessete vezes superior ao EG (1,3%).

Na literatura, os valores de extrativos totais de espécies amazônicas variam de 0,6% a 20,1% para abiurana (*Pouteria pachycarpa*) e cumaru (*Dipteryx odorata*), respectivamente, intervalo que representa todos as espécies, com exceção do Ama (*Vatairea guianensis*) (SANTANA e OKINO, 2007; ZAU et al., 2014). Apesar do alto valor obtido pelo Ama (*Vatairea guianensis*), Bowyer et al. (2003) explicam que os extrativos totais de madeira podem chegar a 30% do peso seco da madeira.

Sabe-se que a maior porcentagem de extrativos presentes na madeira podem contribuir para a corrosão dos equipamentos utilizados na conversão energética da biomassa, principalmente, devido à natureza ácida de algumas madeiras (TABELA 3). Em decorrência disto, pode haver o aumento da necessidade de manutenção e troca de peças, resultando acréscimo no custo da produção energética.

Das quinze espécies amazônicas, nove foram classificadas na classe A do teste de média com as maiores porcentagens de lignina variando de 32,3% (Peq - *Caryocar villosum*) a 33,9% (Ipê - *Handroanthus* sp.). Além disso, destacam-se o Ama (*Vatairea guianensis*) e o EG (*Eucalyptus grandis*) que obtiveram os menores valores

de lignina, ambas com 24,2%, distinguindo-se das demais espécies. O comportamento do EG (*Eucalyptus grandis*) foi o esperado, já que o material genético é oriundo de plantios comerciais proveniente de clones específicos para produção de carvão. Outro fator que contribui para a distinção do EG é que as espécies amazônicas são selvagens, ou seja, não passaram por nenhum procedimento que vise o melhoramento genético para fins específicos.

Tabela 4. Valores médios obtidos para extrativos totais, lignina e holocelulose dos resíduos madeireiros produzidos por serrarias em Roraima e do *Eucalyptus grandis*.

| SIGLA | Extrativos totais (%) | Lignina (%) | Holocelulose (%) |
|-----------|-----------------------|--------------|------------------|
| Maç | 7,6 E (0,8) | 33,8 A (1,0) | 58,7 D (1,7) |
| Tat | 8,5 E (0,6) | 33,0 A (2,1) | 58,5 D (2,4) |
| And | 7,2 E (0,4) | 31,8 B (0,5) | 61,0 C (0,9) |
| CeD | 7,3 E (0,6) | 33,7 A (0,4) | 59,0 D (1,0) |
| Peq | 5,9 F (0,2) | 32,3 A (0,6) | 61,8 C (0,8) |
| Jat | 5,6 F (0,7) | 31,6 B (0,7) | 62,8 C (1,4) |
| Ipê | 11,9 C (3,6) | 33,8 A (0,7) | 54,3 E (3,0) |
| Cac | 4,7 F (0,5) | 33,2 A (0,7) | 62,1 C (0,5) |
| LoP | 5,2 F (0,1) | 30,2 B (0,1) | 64,6 B (0,2) |
| Tan | 10,1 D (0,3) | 30,3 B (0,5) | 59,7 D (0,3) |
| RaA | 4,5 F (0,2) | 30,4 B (2,0) | 65,0 B (2,2) |
| AnF | 15,2 B (0,4) | 32,7 A (0,3) | 52,1 E (0,6) |
| Ama | 21,7 A (0,8) | 24,2 C (0,4) | 54,1 E (1,0) |
| Ucu | 8,3 E (1,5) | 33,9 A (1,2) | 57,8 D (2,8) |
| AnP | 9,6 D (0,4) | 32,6 A (0,4) | 57,8 D (0,2) |
| EG | 1,3 G (0,1) | 24,2 C (0,4) | 74,5 A (0,4) |
| \bar{X} | 8,9 | 31,9 | 59,3 |

Legenda: EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística nas classes ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em %.

Na literatura, os valores de lignina de espécies amazônicas variam de 26,0% a 34,3% para breu-branco (*Dacryodes* sp.) e cumaru (*Dipteryx odorata*), respectivamente, intervalo que representa todas as espécies, com exceção, novamente, do Ama (*Vatairea guianensis*) (SANTANA e OKINO, 2007; ZAU et al., 2014). De acordo com Doat (1977) e Klock et al. (2006), a lignina pode variar de 20% a 40% do peso seco da madeira, intervalo no qual todas as espécies estão inseridas.

Sabe-se que espécies com altos valores de lignina, acima de 30%, normalmente, apresentam maiores rendimentos na produção de carvão vegetal e na

produção energética de biomassa resultam em maior tempo de queima na câmara de combustão, facilitando assim, o controle do processo. A explicação está na maior resistência térmica da lignina quando comparada a holocelulose, ocasionada pela diferença no percentual de carbono fixo, 65% e 45%, respectivamente (PEREIRA et al., 2000). Portanto, excluindo o Ama (*Vatairea guianensis*), as demais espécies amazônicas apresentam potencial para a produção energética e de carvão vegetal.

Os maiores valores de holocelulose das espécies amazônicas foram obtidos pelos RaA (65,0%) e LoP (64,6%), respectivamente, *Qualea paraenses* e *Ocotea cinérea*, entretanto, inferiores e distintos do EG (*Eucalyptus grandis*).

Na literatura, os valores de holocelulose de espécies amazônicas variam de 58,3% a 72,3% para cumaru (*Dipteryx Odorata*) e breu-branco (*Dacryodes* sp.), respectivamente, intervalo que representa todas as espécies, a exceção, novamente, é o Ama (*Vatairea guianensis*) (SANTANA e OKINO, 2007; ZAU et al., 2014). Esse comportamento do Ama (*Vatairea guianensis*) era esperado, devido, principalmente, aos altos valores obtidos para os extrativos e lignina.

Segundo Santos et al. (2013), a celulose e a hemicelulose possuem menores valores de poder calorífico quando comparado à lignina, entretanto, a importância para os dois componentes (holocelulose) se dá, principalmente, devido a maior quantidade presente na madeira. Os autores acrescentam que por unidade de massa, a holocelulose gera mais energia quando comparada a lignina.

As espécies foram classificadas no teste de média em 3, 4, 4, 2 e 5 classes distintas para os materiais voláteis da madeira (MVM), cinza da madeira (CZM), carbono fixo da madeira (CFM), poder calorífico superior da madeira (PCSM) e útil da madeira (PCUM), respectivamente (TABELA 5). O Peq (*Caryocar villosum*) e o EG (*Eucalyptus grandis*) destacam-se por apresentarem os maiores valores de MVM. Os valores de MVM das espécies amazônicas variaram de 76,6% (*Dinizia excelsa*) a 84,0% (*Caryocar villosum*), na literatura foram encontrados valores entre 78,1% e 90,9%, respectivamente para *Inga* sp. (KOBYLARZ, 2016) e *Copaifera* sp. (FEITOSA NETTO et al., 2006), ambas espécies de ocorrência amazônica.

Nota-se que apenas o AnF (*Dinizia excelsa*) não pertence ao intervalo mencionado anteriormente. Sabe-se que os materiais voláteis são constituídos, principalmente, por gases (hidrogênio, CO e CO₂) e hidrocarbonetos, resultantes das reações fisiológicas da planta em resposta às condições edafoclimáticas, que podem elucidar o comportamento da *Dinizia excelsa*.

Tabela 5. Valores médios obtidos para materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e útil dos resíduos produzidos por serrarias em Roraima e do *Eucalyptus grandis*.

| SIGLA | MVM (%) | CZM (%) | CFM (%) | PCSM (kcal/kg) | PCUM (kcal/kg) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|----------------|----------------|
| Maç | 79,7 C (0,8) | 0,7 C (0,1) | 19,5 B (0,7) | 4.889 A (53) | 3.116 B (117) |
| Tat | 78,3 D (1,0) | 0,4 D (0,1) | 21,3 A (1,0) | 4.317 B (65) | 2.252 D (243) |
| And | 80,1 C (1,3) | 0,5 D (0,1) | 19,5 B (1,3) | 4.684 A (234) | 1.936 E (169) |
| CeD | 82,1 B (0,9) | 0,7 C (0,2) | 17,3 C (0,8) | 4.439 B (205) | 2.478 D (119) |
| Peq | 84,0 A (1,6) | 0,8 C (0,1) | 15,2 D (1,7) | 4.344 B (180) | 2.011 E (161) |
| Jat | 80,1 C (1,6) | 0,4 D (0,1) | 19,5 B (1,6) | 4.770 A (62) | 2.740 C (106) |
| Ipê | 80,5 C (0,2) | 0,6 D (0,1) | 19,0 B (0,2) | 4.939 A (62) | 3.645 A (102) |
| Cac | 79,3 C (0,9) | 1,2 B (0,2) | 19,5 B (1,0) | 4.689 A (248) | 2.894 B (297) |
| LoP | 79,0 C (0,7) | 1,2 B (0,2) | 19,7 B (0,7) | 4.696 A (16) | 1.893 E (46) |
| Tan | 79,2 C (1,2) | 1,2 B (0,1) | 19,6 B (1,2) | 4.392 B (129) | 2.583 C (206) |
| RaA | 77,1 D (0,7) | 2,4 A (0,4) | 20,4 B (0,3) | 4.675 A (185) | 2.419 D (25) |
| AnF | 76,6 D (0,4) | 0,4 D (0,1) | 23,0 A (0,4) | 4.724 A (167) | 2.808 C (380) |
| Ama | 79,4 C (0,9) | 0,6 D (0,1) | 20,0 B (0,8) | 4.560 B (263) | 2.104 E (348) |
| Ucu | 79,6 C (0,9) | 0,5 D (0,1) | 19,9 B (0,9) | 4.627 A (265) | 1.887 E (226) |
| AnP | 79,4 C (1,4) | 0,4 D (0,1) | 20,1 B (1,4) | 4.836 A (106) | 2.059 E (29) |
| EG | 84,8 A (0,4) | 0,6 C (0,1) | 14,5 D (0,5) | 4.565 B (64) | 2.563 C (59) |
| \bar{X} | 79,6 | 0,79 | 19,6 | 4.638 | 2.454 |

Legenda: MVM: Materiais voláteis da madeira; CZM: Cinza da madeira; CFM: Carbono fixo da madeira; PCSM: Poder calorífico superior da madeira; PCUM: Poder calorífico útil da madeira; EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença estatística nas classes ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão na unidade em que cada ensaio foi realizado.

De acordo com Viera et al. (2013), espécies que possuem altos valores de materiais voláteis possuem maior facilidade de ignição. De posse desta informação, as espécies com altos valores de materiais voláteis poderiam, por exemplo, ser utilizadas para iniciar a queima da biomassa em câmara de combustão.

Das quinze espécies estudadas, dez ficaram abaixo de 0,8% para CZM, assim como o EG (*Eucalyptus grandis*), espécie comumente utilizada para plantios energéticos (COUTO, 2013). A explicação para o seu uso energético, pode ser observada no estudo realizado por Brito et al. (1983) com oito espécies de eucaliptos, no qual o *Eucalyptus grandis* obteve a maior produtividade em peso seco por hectare (518,2 t/ha) e a segunda maior produtividade energética por hectare ($2,4 \times 10^9$ kcal/ha).

No presente estudo, a CZM variou de 0,4% (Tat - *Bagassa guianensis*, Jat - *Hymenaea* sp., AnF - *Dinizia excelsa* e AnP - *Hymenolobium excelsum*) a 2,4% (RaA

- *Qualea paraensis*) (TABELA 5), na literatura foram encontrados valores entre 0,5% e 2,3%, respectivamente para murucí da mata, *Byrsonima crispera* (KOBYLARZ, 2016) e *Buchenavia* sp. (FEITOSA NETTO et al., 2006), ambas espécies de ocorrência amazônica.

Sabe-se que a cinza determina a quantidade de material inorgânico presente na madeira, e este valor representa a quantidade de material resultante no fim da combustão. Nota-se que as principais espécies desdobradas em Rorainópolis, 83% do total produzido (CRIVELLI et al., 2017), apresentaram cinza abaixo de 0,8%.

Ao considerar a necessidade latente da produção de energia em Roraima e o volume disponível de resíduos madeireiros produzidos e estocados nas pilhas, o baixo valor de cinza obtido pela maioria das espécies contribuem para a redução do valor dispendido para produção de energia elétrica. Já que seriam necessárias menor quantidade de interrupção do processo para a limpeza das caldeiras da usina termoelétrica. Brand (2010), acrescenta que a cinza é considerada abrasiva e com o uso contínuo podem causar corrosão de equipamentos metálicos.

A porcentagem de CFM destacou o AnF (*Dinizia excelsa*) e a Tat (*Bagassa guianensis*) com os maiores valores (TABELA 5). Nota-se que o EG (*Eucalyptus grandis*) foi o menor valor observado, não se distinguindo do Peq (*Caryocar villosum*). Para o CFM foram obtidos valores entre 15,2% (*Caryocar villosum*) e 23,0% (*Dinizia excelsa*) para as espécies amazônicas, na literatura o intervalo observado foi de 9,1% a 21,4%, respectivamente para *Copaifera* sp. e *Adenantha* sp. (FEITOSA NETTO et al., 2006), ambas espécies de ocorrência amazônica, intervalo que representa todas as espécies, com exceção do AnF (*Dinizia excelsa*). A explicação para essa discrepância, pode ser a variação do carbono fixo conforme a idade do indivíduo (NONES et al., 2015).

Altos valores de carbono fixo são desejáveis para biomassas de uso energético. Pois, o carbono fixo elevado contribui para a queima mais lenta do RFDM, assim evita-se a formação de chamas, que dependendo do uso pode ser um problema (BRITO e BARRICHELO, 1978).

Para o PCSM, das quinze espécies amazônicas analisadas, dez ficaram categorizadas na classe A do teste de média com os maiores valores de 4.627 kcal/kg a 4.939 kcal/kg (TABELA 5), intervalo superiores ao EG (*Eucalyptus grandis*). A amplitude do PCSM foi de 4.317 kcal/kg (Tat - *Bagassa guianensis*) até 4.939 kcal/kg (Ipê - *Handroanthus* sp.). O PCSM de espécies amazônicas na literatura variou de

4.381 kcal/kg a 5.307 kcal/kg, respectivamente para *Ormosia paraensis* (tento) e *Cenostigma* sp. (BARROS et al., 2009; FEITOSA NETTO et al., 2006). No estudo de Quirino et al. (2004), com espécies de ocorrência no Brasil, foi obtido valores de PCSM entre 3.831 kcal/kg e 5.324 kcal/kg, respectivamente para *Buchenavia capitata* (tarumarana) e *Parapiptadenia rígida* (angico). Os valores obtidos na literatura pertencem ao intervalo obtido para todas as espécies amazônicas analisadas.

Valores altos de poder calorífico superior são desejáveis para a produção de energia e calor, já que este representa a quantidade máxima de calor liberada em combustão de uma massa de madeira. Entretanto, ressalta-se que, aliado ao PCSM, as espécies devem apresentar potencial favorável para a produção de biomassa.

Das quinze espécies amazônicas, apenas duas (Ipê - *Handroanthus* sp. e a Maç - *Manilkara huberi*) obtiveram valores superiores a 3.000 kcal/kg para o PCUM (TABELA 5), o que demonstra o efeito negativo da umidade, já que parte da energia despendida é utilizada para a secagem do material. A relação fica evidente ao comparar os valores de umidade (TABELA 3), na qual os RFDM com menores umidades apresentaram os maiores PCU e vice-versa.

Em virtude da umidade, para a utilização energética deste material, torna-se primordial a adoção de métodos que visem a sua redução, com o objetivo de maximizar o potencial energético destas espécies, principalmente, no período chuvoso na Amazônia.

O coeficiente cofenético obtido na análise de agrupamento foi de 0,855, que evidência o baixo grau de distorção na construção do dendrograma. A similaridade utilizada foi de 60% e foram formados três agrupamentos distintos (FIGURA 10).

O primeiro agrupamento apresentou o maior desempenho energético, e foi constituído por Maç (*Manilkara huberi*), Ipê (*Handroanthus* sp.) e AnF (*Dinizia excelsa*). Estas espécies apresentaram dois dentre os três maiores valores de lignina (Maç, 33,8% e Ipê, 33,8%), o menor (AnF, 52,1%) e antepenúltimo (Ipê, 54,3%) valores de holocelulose, o terceiro menor valor de CZM (AnF, 0,43%), o maior CFM (AnF, 23,0%) e os dois maiores valores de PCUM (Maç, 3.116 kcal/kg e Ipê, 3.645 kcal/kg). Acrescenta-se ainda, que a Maç (*Manilkara huberi*) foi a única espécie encontrada em todas as serrarias visitadas. Além disso, conforme Crivelli et al. (2017), a Maç (*Manilkara huberi*) e o AnF (*Dinizia excelsa*) representaram 58% do total de madeira desdobrada em Rorainópolis no ano de 2013. Portanto, de posse dos

resultados obtidos, há um potencial promissor nos RFDM que formaram o grupo 1 para a produção de energia.

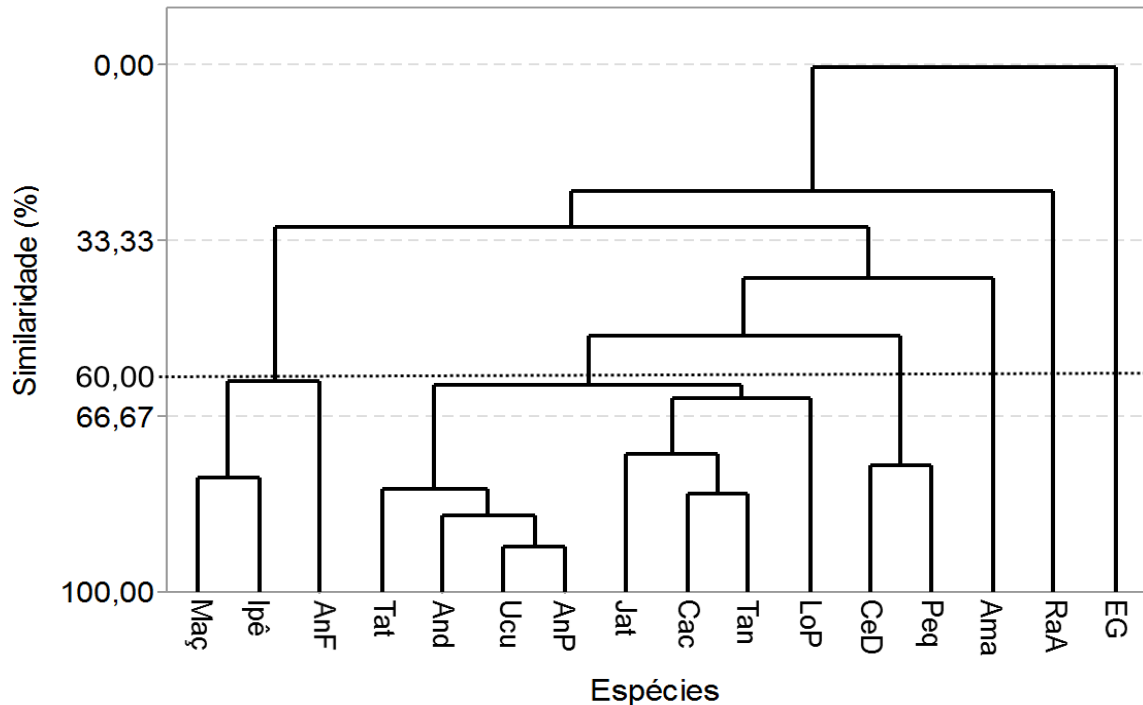


Figura 10. Agrupamentos formados considerando o potencial energético das espécies.

O segundo agrupamento foi formado por Tat (*Bagassa guianensis*), And (*Andira inermis*), Ucu (*Iryanthera* sp.), AnP (*Hymenolobium excelsum*), Jat (*Hymenaea* sp.), Cac (*Cariniana micrantha*), Tan (*Buchenavia grandis*) e LoP (*Ocotea cinerea*). A *Iryanthera* sp. apresentou o maior valor de lignina (33,9%) dentre todas as espécies analisadas e, além disso, as espécies que compõem o segundo agrupamento apresentaram concentrações de lignina superiores a 30% de massa da madeira seca. A maioria dos valores de holocelulose foram superiores aos obtidos no primeiro agrupamento, variando entre 57,8% (Ucu e AnP) e 62,8% (Jat). No segundo agrupamento foi verificado os menores valores de CZM (Tat, 0,37% e Jat, 0,37%), duas espécies (Cac e LoP) apresentaram o segundo maior valor de CZM (1,20%), segundo maior valor de CFM (Tat, 21,3%), e ainda, o terceiro maior valor (Cac, 2.894 kcal/kg) e o menor valor (Ucu, 1.887 kcal/kg) para o PCUM entre as espécies do estudo.

Ao comparar o primeiro e o segundo agrupamento, com o terceiro agrupamento, CeD (*Cedrela* sp.) e Peq (*Caryocar villosum*), e as espécies que não se

agruparam, Ama (*Vatairea guianensis*), RaA (*Qualea paraensis*) e o EG (*Eucalyptus grandis*), observa-se que estes apresentaram potenciais energéticos, em sua maioria, inferiores aos apresentados pelo primeiro e segundo agrupamentos. Mediante ao exposto, as serrarias poderiam ser incentivadas a separar os RFDM conforme o seu potencial energético, com o propósito de criar produtos com valores comerciais distintos e obter resultados satisfatórios no uso destes materiais.

1.4. Conclusão

As espécies de madeiras amazônicas coletadas foram identificadas como: *Manilkara huberi*, *Bagassa guianensis*, *Andira inermis*, *Cedrela* sp., *Caryocar villosum*, *Hymenaea* sp., *Handroanthus* sp., *Cariniana micrantha*, *Ocotea cinerea*, *Buchenavia grandis*, *Qualea paraensis*, *Dinizia excelsa*, *Vatairea guianensis*, *Iryanthera* sp. e *Hymenolobium excelsum*.

Os resíduos madeireiros produzidos pelas serrarias em Roraima, apresentaram comportamentos distintos entre as espécies desdobradas e em relação ao EG (*Eucalyptus grandis*) para as características físicas, químicas e energéticas. As espécies amazônicas apresentaram, em sua maioria, maiores valores para os ensaios realizados; as exceções foram os valores de holocelulose, materiais voláteis e poder calorífico útil da madeira.

Pode-se afirmar, com base nos resultados obtidos, que os RFDM possuem características potenciais, em sua maioria, para a produção de carvão vegetal e energia.

O agrupamento com maior potencial energético foi constituído pelas espécies *Manilkara huberi*, *Handroanthus* sp. e *Dinizia excelsa*.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.941/03. Madeira - Determinação da densidade básica.** Rio de Janeiro, 2003.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.190/97. Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.217/87. Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.112/84. Carvão vegetal - Análise Imediata.** Rio de Janeiro, 1984a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.633/84. Carvão Vegetal - Determinação do poder calorífico.** Rio de Janeiro, 1984b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.922/81. Determinação da massa específica (densidade à granel).** Rio de Janeiro, 1981.

ALZATE et al. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, n. 68, p. 87-95, 2005.

ARAÚJO, H. J. B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 399-416, 2007.

BARBOSA, R. I. Análise do setor madeireiro do estado de Roraima. **Revista Acta Amazônica**, 20 (único): 193-209. 1990.

BARROS, S. V. S. et al. Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. **Madera y bosques**, v. 15, n. 2, p. 59-69, 2009.

BOWYER, J. L. et al. **Forest products and wood science: an introduction.** Ames: Blackwell, 2003. 554 p.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal.** Rio de Janeiro: Interciência. 2010. 114 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, 3 ago. 2010.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Sistema Integrado de Comércio Exterior, SISCOMEX. **Consultas.** Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

BRITO, J. O. et al. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, n. 23, p. 53-56, 1983.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, n. 16, p. 63-70, 1978.

BUDZIAK, C. R. et al. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2004.

CASSILHA, A. C. et al. Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação & Tecnologia.** v. 8, p. 209-228, 2004.

CERAGIOLI, N. S. **Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos**. 2013, 58f. Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

COUTO, A. M. et al. Modeling of basic density of wood from *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* using nondestructive methods. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 27-34, 2013.

CRIVELLI, B. R. S. et al. Caracterização do setor madeireiro de Rorainópolis, sul de Roraima. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 3, p. 142-150, 2017.

CRUZ, P. L. S. **Atributos químicos de argissolo amarelo sob floresta e savana naturais e cultivados com pastagem em Roraima**. 2013. 77f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2013.

CUNHA, P. S. C. et al. Análise do setor madeireiro de Roraima e sua integração com a contabilidade e o desenvolvimento sustentável. **Revista Con texto**, Porto Alegre, v. 9, n. 15, 1º semestre 2009.

DAMATTO JUNIOR et al. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 28, n. 3, p. 546-549, 2006.

DANIELLI, F. E. et al. Modelagem do rendimento no desdobro de toras de *Manilkara* spp. (Sapotaceae) em serraria do estado de Roraima, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 641-651, 2016.

DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, France, n. 172, p. 33-55, 1977.

FEITOSA NETTO, G. B. et al. Caracterização energética de biomassas amazônicas. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000100035&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 03 Out. 2017.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. (FEMARH). **Instrução Normativa Nº. 002/2016**. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=316243>>. Acesso em: 30 jun. 2017.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Determinação da densidade básica da madeiras de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 349-358, 2011.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <http://ibge.gov.br/cidadesat/painel/populacao.php?codmun=140047&search=roraima%7crorainopolis%7cinphographics:-demographic-evolution-andage-pyramid&lang=_ES>. Acesso em: 25 jun. 2017.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da extração vegetal e silvicultura**. v. 30, 2015. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2015_v30.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2017.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Informações sobre madeiras: Angelim-vermelho**. 2017a. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/23.htm>. Acesso em: 27 jul. 2017.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Informações sobre madeiras: Maçaranduba**. 2017b. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/4.htm>. Acesso em: 27 jul. 2017.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Informações sobre madeiras: Ipê**. 2017c. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/38.htm>. Acesso em: 27 jul. 2017.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Informações sobre madeiras: Angelim-amargoso**. 2017d. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/51.htm>. Acesso em: 27 jul. 2017.

IWAKIRI, S. et al. Resistência das juntas coladas de madeiras de *Inga alba* (SW) Willd e *Swartzia recurva* Poepp. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 457-463, 2015.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A. **Química da madeira**. 3rd ed. Curitiba: Série didática FUPEF; 2006.

KOBYLARZ, R. **Qualidade energética de cinco espécies florestais da Amazônia**. 2016. 43f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LENTINI, M. et al. **Fatos Florestais da Amazônia 2005**. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005. 140 p.

LOPES, C. S. D. Desenho de Pequenos Objetos de Madeira com Resíduo da Indústria de Processamento Mecânico da Madeira. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente - INTERFACEHS**. 4, n. 3, artigo 1, p. 105-132, 2009.

MAIA, C. M. B. F. et al. **Compostagem de resíduos florestais: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais**. EMBRAPA - Embrapa Florestas, Documentos 87, 2003, 25 p.

MONTEIRO, K. F. G. et al. Caracterização dos Argissolos amarelos com adição de resíduos de madeira: uma alternativa de uso como cobertura em solos da Amazônia paraense. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. v. 1, n. 1, p. 139-148, 2006.

NASCIMENTO, C. C. et al. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997.

NONES, D. L. et al. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2015.

PEREIRA, J. C. D. et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. EMBRAPA - Embrapa Florestas, Documentos 38, 2000, 113p.

PREFEITURA DE RORAINÓPOLIS. (Secretaria de administração). **Empresas por atividade**. Rorainópolis: Prefeitura de Rorainópolis, 2017. 2 p.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento de serrarias**. Edição Revisada. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2002.

RODRIGUES, T. O. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de bioóleo a partir de serragem no estado do Pará**. 2013. 184f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

RORAIMA HOJE. **Balança Comercial de Roraima teve superávit de US\$ 1 milhão em fevereiro**. 2017. Disponível em: <<http://www.jornalroraimahoje.com.br/index.php/economia/2550-balanca-comercial-de-roraima-teve-superavit-de-us-1-milhao-em-fevereiro>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

SANTANA, M. A. E.; OKINO, E. Y. A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, v. 61, n. 5, p. 469-477, 2007.

SANTOS et al. **Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-Açúcar e Espécies Florestais**. Vicososa, 2013.

SILVEIRA, L. H. C. et al. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta amazônica**, v. 43, n. 2, p. 179-184, 2013.

TAPPI. **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**. (Standard T222 os -74), Atlanta, USA.

TAPPI. **Technical Association of the Pulp and Paper Industry**. (Standard T12 os -75), Atlanta, USA.

TOM & PETER FLOORING INC. **Hardwood floors durability**. 2017. Disponível em: <<http://tompeterflooring.com/flooring/hardwood-floors-durability>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

TONINI, H; LOPES, C. E. V. **Características do setor madeireiro do Estado de Roraima**. Boa Vista/RR: Embrapa Roraima, 2006, 25 p.

VALÉRIO, A. F. et al. Determination of the basic density of cedro wood (*Cedrela fissilis* Vell.) along the stem. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2009.

VERISSIMO, E. (G1 - Roraima). **Balança comercial em Roraima teve superávit de pouco mais de U\$ 1 mi.** 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2013/08/balanca-comercial-em-Roraima-teve-superavit-de-pouco-mais-de-u-1-mi.html>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

VIEIRA, A. C. et al. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Varia Scientia Agrárias**. v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.

ZAU, M. D. L. et al. Chemical, physical and mechanical properties of particleboard produced with Amazon wood waste - Cumaru (*Dipteryx Odorata*) - and castor oil based polyurethane adhesive. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014.

2. PIRÓLISE DE RESÍDUOS FINOS DO DESDOBRO MADEIREIRO DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS

Resumo

As transformações inerentes à sociedade moderna tornam crescente a demanda pelo uso eficiente da madeira e a oferta de novos produtos dela oriundos. Uma das rotas disponíveis é a pirólise. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o comportamento dos Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM) frente ao processo de pirólise, à distintas temperaturas (450°C e 650°C), considerando a obtenção de carvão vegetal e dos gases gerados. Os carvões produzidos de RFDM apresentaram comportamentos distintos entre as espécies e em relação ao EG (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) usado como referência. Além disso, foi verificada, comparativamente, maior resistência à pirólise nas espécies amazônicas, principalmente, devido aos altos valores de lignina observados. O aumento da temperatura de carbonização reduziu os rendimentos gravimétricos em carvão e, conseqüentemente, causou o aumento dos rendimentos dos co-produtos da carbonização. A temperatura de carbonização alterou a qualidade do carvão produzido. Recomenda-se que os RFDM devem ser carbonizados em temperaturas superiores a 450°C, para maximizar o carbono fixo presentes nos carvões. O carvão vegetal produzido de RFDM a 650°C, possuem características potenciais para atender o mercado siderúrgico.

Palavras-chave: Carvão vegetal; Extrato pirolenhoso; Gases condensáveis; pH.

Abstract

The transformations inherent in modern society make increasing demand for the efficient use of wood and the supply of new products from them. One of the routes available is pyrolysis. In this way, the objective was to evaluate the Fine Residues of Sawed Wood (RFDM) in the pyrolysis process, at different temperatures (450°C and 650°C), considering the charcoal and the generated gases. The Coals produced from RFDM presented distinct behaviors among the species and in relation to EG (*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden) used as reference. In addition, it was verified, comparatively, a greater resistance to pyrolysis in the Amazonian species, mainly, due to the high lignin values observed. The increase in the carbonization temperature reduced the gravimetric yields in coal and, consequently, caused the yields of the carbonization co-products to increase. The carbonization temperature changed the quality of the charcoal produced. Recommends that residues should be carbonized at temperatures above 450°C, to maximize the fixed carbon present in the coals. Charcoal produced from RFDM at 650°C, have potential characteristics to meet the steel market.

Keywords: Charcoal; Pyrolignous extract; Condensable gases; Hydrogen potential.

2.1. Introdução

A Amazônia apresenta um enorme potencial para o aproveitamento de resíduos madeireiros, em função do grande volume desse material, sobretudo, aquele gerado nas serrarias da região, a maioria estocados sem destinação (MELO et al., 2012). No ano de 2009 a Amazônia Legal, excetuando o Tocantins, produziu 8,3 milhões de metros cúbicos de resíduos, e, deste total, 2,1 milhões de metros cúbicos foram abandonados ou queimados (HUMMEL et al., 2010).

Em 2009, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) publicou propostas para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) no qual recomendou que a região norte do Brasil fosse tratada como área prioritária ao estímulo do aproveitamento de resíduos de madeira (WIECHETECK, 2009). No mesmo documento, o MMA relata que os proprietários das empresas madeireiras da região norte alegam que, de certa forma, não têm estímulos para investir em tecnologias para o aproveitamento de resíduos, devido à distância dos principais mercados consumidores dos produtos que deles pudessem ser originados, às incertezas quanto à segurança ao acesso às fontes de matéria-prima lenhosa e às questões legais de posse das terras. Estas alegações podem explicar as constatações de Tonini e Lopes (2006) em Roraima, nas quais apontaram que das dezenove serrarias avaliadas, somente três indicaram o uso dos resíduos, como forma de potencializar a rentabilidade do empreendimento. As demais serrarias simplesmente adotavam a prática de queimas periódicas.

A queima dos resíduos a céu aberto permanece como uma prática comum em Roraima, conforme Barni et al. (2015). A questão é tão importante e problemática, que o Tribunal de Justiça do Estado de Roraima (TJRR) concedeu uma liminar que bloqueou R\$ 450 mil e responsabilizou uma madeireira por prática de crime ambiental e dano à saúde dos moradores da região de Rorainópolis. Além disso, o Tribunal acusou, por omissão, o próprio Município de Rorainópolis, o Estado de Roraima e a Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (MPRR, 2015).

Se fosse realizada uma busca de alternativas para o aproveitamento de resíduos madeireiros de espécies florestais, sem nenhuma dúvida, seria encontrada uma importante quantidade de estudos indicativos. Muitos deles, no entanto, não são aplicáveis na Amazônia, sobretudo, em função dos argumentos anteriormente apontados. De qualquer forma, há que se tentar encontrar alternativas que, ao menos,

possam conduzir à prática de consumo de parte dos resíduos madeireiros. Um primeiro passo nesta direção é o do atendimento de mercados locais, mesmo que isso não signifique grandes volumes de consumo, mas, que de uma forma ou de outra, já possam contribuir para com a mitigação dos problemas ambientais causados pela geração desses materiais.

Considerando-se soluções regionais para o aproveitamento dos resíduos, a carbonização da madeira se destaca, devido ao baixo nível de investimento exigido para a produção de carvão artesanal (CARVALHO et al., 2005). Por sinal, o Brasil foi um dos maiores produtores de carvão vegetal do mundo (AMS, 2013). Apesar desta posição de destaque, as plantações florestais homogêneas não têm sido capazes de suprir toda a demanda do setor, e esse déficit tem sido provido com madeiras provenientes do manejo de florestas naturais e pelo uso de resíduos de serraria (CALAIS, 2009; BRAZ et al., 2014). Isto tem ocorrido, sobretudo, quando os recursos se encontram disponíveis próximos aos centros de consumo de carvão vegetal para usos industriais, principalmente, os siderúrgicos e metalúrgicos.

A base conceitual do processo de carbonização de madeiras é a pirólise, termo genérico, que implica na degradação desse material mediante a eliminação de fumaça, restando o carvão vegetal como resíduo do processo. Em geral, o carvão vegetal é o produto principal visado, sendo que, neste caso, o processo recebe a denominação particular de carbonização, sendo a fumaça, normalmente, lançada na atmosfera.

O aproveitamento da fumaça da carbonização da madeira tem sido alvo de interesse, o que pode ser verificado na quantidade de estudos historicamente conduzidos no Brasil e no exterior. Os focos têm sido voltados para o aproveitamento das frações condensáveis e não condensáveis volatilizadas, como fontes de insumos químicos e/ou energéticos. Em tempos mais recentes, o interesse se voltou para a fração volátil não condensável, na questão da redução das emissões do gás metano nela presente, sabidamente causador de efeito estufa (TACCINI, 2010).

Os gases condensáveis presentes na fumaça são comumente conhecidos como extrato pirolenhoso, líquido pirolenhoso, ácido pirolenhoso ou vinagre de madeira. Almeida (2012) define o extrato pirolenhoso como uma substância orgânica constituída por água e dezenas de compostos, dentre os quais se incluem substâncias fenólicas, aldeídos e ácidos orgânicos. Trata-se de um produto sobre o qual tem havido interesse em termos comerciais. Segundo P&S Market Research (2016)

estima-se que o potencial econômico do extrato pirolenhoso em termos de mercado global para o ano de 2015, teria sido da ordem de US\$ 3,2 milhões, com uma previsão de crescimento médio anual de 7,1%, para o período de 2016 a 2023.

O estado de Roraima já possui uma tradição de produção de carvão vegetal artesanal utilizando-se de peças com defeitos e fora de medida. Segundo IBGE (2014) foram produzidas 499 toneladas de carvão em 2014, que foram comercializadas nos mercados locais e no estado do Amazonas.

Por conta do exposto, há um contexto de oportunidades que merece ser avaliado, em relação à produção de carvão vegetal utilizando RFDM em Roraima. Nesse sentido, o objetivo foi conduzir estudos referentes ao comportamento dos RFDM frente ao processo de pirólise, sendo este o primeiro e importante passo técnico a ser dado em relação ao tema.

2.2. Material e método

2.2.1. Material e amostragem

Foram coletados Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM) de quinze espécies amazônicas distintas, separadamente, de toras desdobradas em serra fita e serras circulares no município de Rorainópolis, Roraima (TABELA 6).

Tabela 6. Espécies referentes a cada sigla, com seus respectivos nomes vernaculares e densidades básica das madeiras.

| SIGLA | Espécie | Nome vernacular | DBM (g/cm³) |
|--------------|--|------------------------|-------------------------------|
| Maç | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A. Chev | maçaranduba | 0,778 |
| Tat | <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. | tatajuba | 0,664 |
| And | <i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC. | andira | 0,638 |
| CeD | <i>Cedrela</i> sp. | cedro - doce | 0,407 |
| Peq | <i>Caryocar villosum</i> (Abul.) Pers. | pequiá | 0,621 |
| Jat | <i>Hymenaea</i> sp. | jatobá | 0,856 |
| Ipê | <i>Handroanthus</i> sp. | ipê amarelo | 0,830 |
| Cac | <i>Cariniana micrantha</i> Ducke | cachimbeiro | 0,557 |
| LoP | <i>Ocotea cinerea</i> van der Werff | louro preto | 0,525 |
| Tan | <i>Buchenavia grandis</i> Ducke | tanibuca | 0,835 |
| RaA | <i>Qualea paraensis</i> Ducke | rabo de arraia | 0,694 |
| AnF | <i>Dinizia excelsa</i> Ducke | angelim - ferro | 0,877 |
| Ama | <i>Vatairea guianensis</i> Aubl. | amargoso | 0,577 |
| Ucu | <i>Iryanthera</i> sp. | ucuúba | 0,509 |
| AnP | <i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke | angelim - pedra | 0,584 |
| EG | <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden | eucalipto | 0,453 |

Legenda: DBM: Densidade básica da madeira, calculada no Capítulo 1.

A madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (EG) foi definida como padrão comparativo, já que esta possui vastas informações na literatura sobre o seu comportamento quando submetida ao processo de carbonização. As amostras do EG foram obtidas de plantios comerciais com 7 anos, localizados no município de Barra do Chapéu, SP.

2.2.2. Processo de pirólise e análises realizadas

As pirólises foram conduzidas à pressão atmosférica em retorta de laboratório, formada por forno mufla e compartimentos específicos para captação dos gases condensáveis e não condensáveis, aquecida por meio de resistência elétrica.

As amostras foram dispostas a secagem em estufa a 100°C por 24 horas. Em seguida, foi retirado 250 gramas do RFDM para a realização da carbonização. As amostras foram acondicionadas em recipiente metálico com volume nominal idêntico para todas as amostras.

A taxa de aquecimento foi de 1,67°C/min, considerada como carbonização lenta (abaixo de 10,00°C/min). A temperatura inicial da carbonização foi de 100°C e as finais foram 450°C e 650°C, com tempo de permanência na temperatura final de

60 minutos para ambas temperaturas finais. Ao fim das carbonizações, o aquecimento foi interrompido e todo o sistema permaneceu em resfriamento até atingir a temperatura de 60°C para a retirada do resíduo sólido. Para cada temperatura final de carbonização foram realizadas três repetições por espécie, totalizando 144 carbonizações.

Os rendimentos gravimétricos em carvão, extrato pirolenhoso e gases não condensáveis foram calculados por meio da relação entre o peso obtido pelos produtos da carbonização em relação ao peso da amostra de RFDM seco.

A densidade à granel do carvão foi obtida da divisão do peso da amostra (kg) pelo volume do béquer de 100 mL (m^3), conforme adaptação da NBR 6.922 (ABNT, 1981). Para elucidar a adaptação: preencheu-se lentamente com RFDM (umidade de equilíbrio) até sobrepor as bordas do béquer, e em seguida, utilizou-se régua para a retirada dos excessos.

A mensuração do pH do carvão foi realizada utilizando o equivalente a 1 grama de RFDM carbonizado absolutamente seco. A amostra foi acondicionada em Erlenmeyer de 200 mL com 100 mL de água destilada, vedado com papel alumínio. O conjunto foi submetido à banho-maria a 100°C por 60 minutos, após o resfriamento ambiente procedeu-se a leitura em pHmetro.

O extrato pirolenhoso obtido em cada carbonização foi agitado e retirado uma amostra homogênea de 50 mL para a realização da leitura imediata do pH.

Os pHs do carvão e do extrato pirolenhoso foram classificados conforme os intervalos, 0,00 a 3,50 alta acidez, 3,51 a 6,50 baixa acidez, 6,51 a 7,50 neutra, 7,51 a 10,50 baixa basicidade e 10,51 a 14,00 alta basicidade.

A análise química imediata foi realizada conforme a norma NBR 8.112 (ABNT, 1984a) visando a obtenção dos materiais voláteis, cinza e carbono fixo do carvão.

Foi utilizado um calorímetro PARR 1.201 para obtenção do poder calorífico superior do carvão, conforme a norma NBR 8.633 (ABNT, 1984b).

Acrescenta-se, ainda, que em todos os ensaios descritos foram realizadas três repetições para cada espécie analisada.

2.2.3. Análise de dados

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial, formado por dezesseis espécies e duas temperaturas finais de

carbonização. Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados por meio da análise de variância seguido do teste de Scott-Knott para distinção de médias entre as espécies avaliadas. Salienta-se que as médias calculadas na última linha de cada tabela excluem o padrão comparativo EG (*Eucalyptus grandis*).

2.3. Resultados e discussão

As espécies foram classificadas em 6, 4 e 4 classes distintas no teste de média para a temperatura final de 450°C nos ensaios de rendimentos gravimétricos em carvão (RGC), extrato pirolenhoso (REP) e gases não condensáveis (RGNC), respectivamente (TABELA 7).

A Tat (*Bagassa guianensis*) e o Ipê (*Handroanthus* sp.) destacaram-se por apresentarem os maiores valores de RGC, acima de 40%. Além disso, as quinze espécies obtiveram RGC superior a 30% em relação a madeira seca. O EG (*Eucalyptus grandis*) apresentou o menor RGC, 32,6%, valor próximo ao intervalo de 30,3% a 32,5% obtido por Neves et al. (2011), para clones com aproximadamente 6 anos de idade. Mediante ao exposto, pode-se sugerir, que há, comparativamente, maior resistência ao calor em parte das espécies amazônicas. Este comportamento foi observado por Trugilho et al. (1991) na madeira de pau-rainha (*Brosimum rubescens*), de origem amazônica, no qual obtiveram 42,0% de RGC a temperatura final entre 450°C e 500°C.

Os RGC a 450°C das espécies variaram de 33,9% (Peq - *Caryocar villosum*) a 44,3% (Tat - *Bagassa guianensis*). Na literatura foram encontrados valores entre 27,0% e 51,9%, respectivamente para amapá doce, *Brosimum potabile*, (PASTORE et al., 1989) e no cerne de jatobá, *Hymenaea courbaril*, a 400°C (TRUGILHO; SILVA, 2001), ambas espécies de ocorrência amazônica. Pode-se observar que todos os valores obtidos neste estudo para o RGC estão em conformidade com o intervalo da literatura.

Nos ensaios de RGC, REP e RGNC a 650°C, as espécies foram classificadas pelo teste de média em 4 classes distintas (TABELA 7). As espécies que merecem destaque são Tan (*Buchenavia grandis*) e Tat (*Bagassa guianensis*) por apresentarem os maiores valores de RGC, respectivamente, 33,3% e 32,5%. Apenas as espécies Peq (*Caryocar villosum*), EG (*Eucalyptus grandis*) e Ucu (*Iryanthera* sp.) obtiveram

valores inferiores a 30% para o RGC. Acrescenta-se que, a redução no RGC gera aumento no carbono fixo, o que é desejável para os usos domésticos e siderúrgicos.

O intervalo RGC obtido a 650°C foi de 28,4% (Peq - *Caryocar villosum*) a 33,3% (Tan - *Buchenavia grandis*), nos estudos de Moulin et al. (2017) e Trugilho e Silva (2001), foram obtidos valores entre 27,5% e 38,6%, para maçaranduba (*Manilkara huberi*) e cerne de jatobá (*Hymenaea courbaril*), ambas espécies de ocorrência amazônica, carbonizadas a 600°C. Nota-se que houve diferença entre os valores de RGC para *Manilkara huberi* encontrados por Moulin et al. (2017), 27,5% e no presente estudo 30,5%. Segundo Pastore et al. (1989), a explicação para esta variação em RGC de espécies amazônicas está relacionada as distintas concentrações de lignina e extrativos presentes nas madeiras.

Ao comparar estatisticamente os RGC a 450°C e 650°C foram obtidas 2 classes distintas para o teste de média, a classe superior, com os maiores RGC, formada apenas pela temperatura final de 450°C e a classe inferior, menores RGC, constituída pela temperatura final de 650°C. Este fato evidencia a influência significativa do aumento da temperatura final de carbonização na redução dos valores de RGC. As reduções no RGC variaram de 6,2% (RaA - *Qualea paraensis*) a 13,4% (Ipê - *Handroanthus* sp.) e a média calculada para as espécies foi de 9,8%. Por meio de interpolação, a redução no RGC obtida por Trugilho e Silva (2001) foi de 8,9%, valor inferior à média obtida no presente estudo, 9,8%. Esta discrepância pode ser explicada por fatores fisiológicos e químicos dos indivíduos, como por exemplo, a idade, o teor de lignina, entre outros. Nota-se que houve redução no número de classes estatísticas resultantes do teste de média de 6 (450°C) para 4 (650°C) no RGC. Isso demonstra, que o aumento de temperatura final da carbonização tende a homogeneizar os carvões de RFDM. Comportamento similar foi observado por Moulin et al. (2017) em três espécies amazônicas (*Tabebuia serratifolia*, *Apuleia leiocarpa* e *Manilkara huberi*) submetidas à diferentes temperaturas de carbonizações (500°C, 600°C e 700°C).

Tabela 7. Valores médios obtidos para os rendimentos gravimétricos em carvão, extrato pirolenhoso e gases não condensáveis dos RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de *Eucalyptus grandis* em diferentes temperaturas finais de carbonização.

| SIGLA | RGC | | REP | | RGNC | |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 450°C (%) | 650°C (%) | 450°C (%) | 650°C (%) | 450°C (%) | 650°C (%) |
| Maç | 42,6 aB (2,6) | 30,5 bC (1,0) | 38,7 bD (2,3) | 46,5 aB (0,3) | 18,7 bC (0,4) | 23,0 aC (0,9) |
| Tat | 44,3 aA (1,4) | 32,5 bA (0,4) | 38,1 bD (1,3) | 45,5 aC (0,5) | 17,6 bC (1,3) | 22,0 aC (0,3) |
| And | 37,7 aE (0,4) | 31,4 bB (0,1) | 44,1 bB (0,5) | 45,8 aC (0,4) | 18,2 bC (0,2) | 22,8 aC (0,4) |
| CeD | 41,6 aC (1,1) | 31,9 bB (0,7) | 39,3 bD (1,9) | 49,8 aA (0,5) | 19,1 aB (0,9) | 18,3 aD (1,0) |
| Peq | 33,9 aF (0,4) | 28,4 bD (0,3) | 44,5 aB (0,6) | 46,0 aC (0,5) | 21,5 bA (0,3) | 25,6 aB (0,2) |
| Jat | 40,6 aD (0,8) | 30,2 bC (0,7) | 40,8 bC (1,5) | 47,4 aB (1,1) | 18,6 bC (0,7) | 22,4 aC (0,4) |
| Ipê | 44,2 aA (0,8) | 30,8 bB (0,8) | 39,5 bD (0,6) | 47,5 aB (0,8) | 16,3 bD (0,7) | 21,7 aC (1,6) |
| Cac | 42,1 aC (0,5) | 31,0 bB (0,4) | 42,0 aC (1,9) | 40,5 aD (0,8) | 15,9 bD (2,2) | 28,6 aA (0,7) |
| LoP | 41,2 aC (0,6) | 32,3 bA (1,0) | 40,4 bC (1,2) | 50,6 aA (1,5) | 18,5 aC (0,7) | 17,2 aD (2,5) |
| Tan | 43,8 aA (0,4) | 33,3 bA (0,5) | 39,7 bD (0,7) | 44,5 aC (0,6) | 16,6 bD (0,7) | 22,2 aC (0,1) |
| RaA | 37,6 aE (0,6) | 31,4 bB (0,4) | 47,0 aA (0,8) | 47,7 aB (2,0) | 15,4 bD (0,5) | 20,8 aC (1,9) |
| AnF | 42,9 aB (0,7) | 31,6 bB (0,1) | 37,7 bD (0,2) | 44,7 aC (0,2) | 19,4 bB (0,7) | 23,7 aB (0,2) |
| Ama | 42,9 aB (1,3) | 30,4 bC (0,2) | 39,5 bD (0,5) | 47,8 aB (0,1) | 17,6 bC (1,0) | 21,8 aC (0,2) |
| Ucu | 39,6 aD (0,8) | 29,6 bC (1,7) | 39,5 bD (0,6) | 49,4 aA (1,2) | 20,9 aA (0,7) | 21,0 aC (2,9) |
| AnP | 38,0 aE (0,1) | 31,2 bB (0,1) | 44,9 aB (0,3) | 46,5 aB (0,4) | 17,1 bD (0,2) | 22,3 aC (0,4) |
| EG | 32,6 aF (0,4) | 28,4 bD (0,1) | 45,9 aA (1,2) | 47,2 aB (0,4) | 21,5 bA (1,1) | 24,4 aB (0,3) |
| \bar{X} | 40,34 | 30,93 | 41,35 | 46,71 | 18,31 | 22,37 |

Legenda: RGC: Rendimento gravimétrico em carvão; REP: Rendimento em extrato pirolenhoso; RGNC: Rendimento em gases não condensáveis; EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna em maiúsculo e minúsculo indicam que não houve diferença estatística, respectivamente entre as espécies e as temperaturas finais de carbonização, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em %.

Os maiores rendimentos em extrato pirolenhoso (REP) a 450°C foram 47,0% e 45,9% obtidos, respectivamente, por RaA (*Qualea paraensis*) e EG (*Eucalyptus*

grandis). Pode-se observar que, oito das quinze espécies apresentaram REP inferior a 40% (TABELA 7), com destaque para AnF (*Dinizia excelsa*) e Tat (*Bagassa guianensis*).

Os REP variaram de 37,7% (AnF - *Dinizia excelsa*) a 47,0% (RaA - *Qualea paraensis*), na literatura foram observados valores entre 30,5% e 48,4%, respectivamente para urucu da mata, *Bixa arborea* (MOUTINHO et al., 2016) e amapá, *Brosimum parinarioides* (TRUGILHO et al., 1991), ambas espécies de ocorrência amazônica.

Para o REP a 650°C foram obtidos valores de 40,5% (Cac - *Cariniana micrantha*) a 50,6% (LoP - *Ocotea cinerea*), na literatura não foram encontrados valores para as espécies amazônicas. Portanto, para fins de comparação, o EG (*Eucalyptus grandis*) obteve 47,2% para o REP, valor próximo ao calculado por Dias Júnior et al. (2016), 47,4%.

As temperaturas finais de carbonização (450°C e 650°C) foram classificadas estatisticamente em 2 classes distintas pelo teste de média para o REP. A classe com maior REP foi representada pela temperatura de 650°C, e apenas quatro espécies (Peq - *Caryocar villosum*, Cac - *Cariniana micrantha*, RaA - *Qualea paraensis* e AnP - *Hymenolobium excelsum*) não se diferenciaram estatisticamente entre as temperaturas finais de carbonização. Isso demonstra que, o acréscimo na temperatura final de carbonização resultou no aumento do REP, fato que não ocorreu apenas com o Cac (*Cariniana micrantha*). Com a degradação de materiais lenhosos causada pela carbonização, ocorrem perdas na forma de gases condensáveis e não condensáveis. De posse desta afirmação, a explicação para o comportamento da *Cariniana micrantha* deve-se à maior emissão de gases não condensáveis a 650°C (TABELA 7).

O aumento médio no REP obtido pelas espécies amazônicas foi de 5,6%, com destaque para CeD (*Cedrela* sp.) e RaA (*Qualea paraensis*) que representam, respectivamente, o maior, 10,5%, e o menor aumento, 0,7%. No estudo com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, Dias Júnior et al. (2016) verificou aumento médio no REP de 4,6%, valor inferior ao obtido na maioria das espécies amazônicas, 5,6%, e superior ao EG (*Eucalyptus grandis*), 1,3%.

O rendimento em gases não condensáveis (RGNC) a 450°C variou de 15,4% (RaA - *Qualea paraensis*) a 21,5% (Peq - *Caryocar villosum* e EG - *Eucalyptus grandis*). Na literatura, o valor médio de RGNC foi 21,3% para *Eucalyptus urophylla* x

Eucalyptus grandis (DIAS JÚNIOR et al., 2016), valor superior ao obtido na média das espécies amazônicas e inferior ao EG (*Eucalyptus grandis*), 21,5%.

O intervalo para o RGNC a 650°C foi de 18,3% (CeD - *Cedrela* sp.) a 28,6% (Cac - *Cariniana micrantha*), Dias Júnior et al. (2016) obteve 22,4%, valor igual a média calculada para as espécies amazônicas e inferior ao EG (*Eucalyptus grandis*), 24,4%. Os menores valores de REP e RGNC obtidos por Dias Júnior et al. (2016), estão associados às distintas porcentagens de lignina. A lignina obtida pelo autor citado foi de 25,8% (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) e no presente estudo 24,2% (TABELA 4) para o EG (*Eucalyptus grandis*). A consequência desta diferença, é o aumento no RGC e a redução no REP e RGNC, pois espécies com maiores porcentagens de lignina apresentam maior resistência a dissociação da madeira no processo de carbonização.

Houve diferença estatística entre os RGNC a 450°C e 650°C, a classe com maior RGNC foi representada pela temperatura de 650°C. Apenas três espécies (CeD - *Cedrela* sp., LoP - *Ocotea cinerea* e Ucu - *Iryanthera* sp.) não apresentaram diferenças estatísticas significativas. Foi observado que o incremento da temperatura final de carbonização aumentou o RGNC em todas as espécies, em média o aumento foi de 4,1%. Destaca-se que, Ucu (*Iryanthera* sp.) e Cac (*Cariniana micrantha*) apresentaram, respectivamente, o menor (0,1%) e o maior 12,7% aumento em RGNC. No estudo com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, Dias Júnior et al. (2016) obteve aumento médio no RGNC de 1,1%, valor inferior a maioria das espécies amazônicas e do EG (*Eucalyptus grandis*) 2,9%.

Os resultados para densidade à granel do carvão (DGC), pH do carvão e do extrato pirolenhoso a 450°C foram classificados, respectivamente, em 6, 5 e 8 classes distintas estatisticamente para o teste de média (TABELA 8). O intervalo obtido para a DGC foi de 114,7 kg/m³ (CeD - *Cedrela* sp.) a 227,5 kg/m³ (Maç - *Manilkara huberi*), no estudo de Silva et al. (2007) com três espécies amazônicas, foram constatadas DGC variando entre 176,7 kg/m³ (timborana - *Piptadenia suaveolens*) e 231,1 kg/m³ (maçaranduba - *Manilkara huberi*). Nota-se, na Tabela 8, que nove espécies não estão incluídas no intervalo da literatura citada. Este fato pode ser explicado, devido à maior densidade básica da madeira de timborana (*Piptadenia suaveolens*) 0,760 g/cm³ (IPT, 2008), quando comparada às espécies amazônicas discrepantes ao intervalo da literatura (TABELA 6), com exceção da Tan (*Buchenavia grandis*). Pois, segundo Vale et al. (2010), a densidade básica da madeira exerce influência positiva na densidade

a granel do carvão. Entretanto, no estudo citado foi observado comportamento similar à Tan (*Buchenavia grandis*), no qual a espécie com maior densidade da madeira obteve a segunda maior DGC entre cinco espécies analisadas.

Na Tabela 8, os resultados de densidade à granel do carvão (DGC), pH do carvão e do extrato pirolenhoso para a temperatura final de 650°C foram classificados em 7, 3 e 5 classes distintas pelo teste de média, respectivamente. O intervalo obtido para a DGC a 650°C foi de 109,5 kg/m³ (CeD - *Cedrela* sp.) a 239,2 kg/m³ (Ipê - *Handroanthus* sp.). O EG (*Eucalyptus grandis*) apresentou 129,2 kg/m³ para a DGC, valor inferior à média obtida pelas espécies amazônicas, 175,8 kg/m³, e ao valor de 292,0 kg/m³ obtido por Dias Júnior et al. (2016).

Houve diferença estatística significativa entre as DGC a 450°C e 650°C para apenas duas espécies (And - *Andira inermis* e Ipê - *Handroanthus* sp.). Destaca-se que a CeD (*Cedrela* sp.) obteve a menor DGC em ambas temperaturas finais (450°C e 650°C), por ser a espécie com a menor densidade da madeira (TABELA 6). Acrescenta-se que, a CeD (*Cedrela* sp.) foi a única espécie a apresentar redução na DGC com o aumento da temperatura. Normalmente, o aumento da DGC em temperaturas superiores a 600°C ocorre devido a contração tornar-se maior do que a perda de massa do carvão, relaciona-se este comportamento a um possível rearranjo estrutural do carbono residual (TRUGILHO; SILVA, 2001).

A DGC apresentou aumento máximo de 17,7% obtido no Ipê (*Handroanthus* sp.), mínimo de 1,5% para LoP (*Ocotea cinerea*) e média de 6,0% para as espécies amazônicas. Entretanto, Trugilho e Silva (2001) obtiveram redução na DGC com o aumento da temperatura final de carbonização, este comportamento pode ser explicado devido as distintas formas de resíduos utilizados. Sabe-se que a madeira exposta a ação do calor tende a diminuir suas dimensões. Além disso, os RFDM, são materiais de geometria menor, que se compactam melhor do que as amostras de 2 cm x 2 cm x 3 cm e, por consequência, houve o aumento da DGC dos RFDM.

Tabela 8. Valores médios obtidos para densidade à granel do carvão, pH do carvão e do extrato pirolenhoso dos RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de *Eucalyptus grandis* em diferentes temperaturas finais de carbonização.

| SIGLA | DGC 450°C (kg/m ³) | DGC 650°C (kg/m ³) | pHC 450°C | pHC 650°C | pHEP 450°C | pHEP 650°C |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Maç | 227,5 aA (12,9) | 237,9 aA (10,2) | 5,97 bD (0,71) | 8,21 aB (0,04) | 2,14 bG (0,06) | 2,48 aC (0,06) |
| Tat | 198,6 aB (2,6) | 206,2 aB (12,3) | 4,71 bE (0,09) | 7,84 aC (0,02) | 2,60 bE (0,18) | 2,93 aB (0,08) |
| And | 148,8 bD (1,0) | 169,5 aD (0,5) | 7,79 bB (0,03) | 8,51 aB (0,06) | 3,66 aA (0,23) | 3,20 bA (0,01) |
| CeD | 114,7 aE (2,4) | 109,5 aG (1,9) | 5,09 bE (0,19) | 7,86 aC (0,18) | 1,82 bH (0,02) | 2,09 aD (0,02) |
| Peq | 135,8 aD (2,1) | 149,1 aE (12,4) | 7,89 aB (0,07) | 8,35 aB (0,09) | 3,26 aB (0,01) | 2,51 bC (0,03) |
| Jat | 184,1 aC (8,8) | 192,1 aC (10,6) | 6,89 bC (0,22) | 8,28 aB (0,02) | 2,18 bG (0,01) | 2,41 aC (0,03) |
| Ipê | 203,3 bB (7,0) | 239,2 aA (17,1) | 5,17 bE (0,45) | 7,25 aC (0,50) | 2,44 bF (0,13) | 2,85 aB (0,01) |
| Cac | 137,8 aD (7,8) | 142,7 aE (13,6) | 7,01 bC (0,53) | 8,47 aB (0,08) | 1,88 bH (0,05) | 2,21 aD (0,03) |
| LoP | 131,7 aD (6,0) | 133,7 aF (8,2) | 6,83 bC (0,46) | 8,28 aB (0,29) | 1,85 aH (0,08) | 1,94 aE (0,11) |
| Tan | 173,1 aC (12,4) | 180,8 aC (9,6) | 8,14 aB (0,07) | 8,37 aB (0,08) | 2,19 aG (0,03) | 2,17 aD (0,02) |
| RaA | 178,1 aC (11,7) | 185,0 aC (10,0) | 6,12 bD (1,20) | 7,83 aC (0,48) | 2,79 aD (0,13) | 1,86 bE (0,04) |
| AnF | 216,6 aA (5,4) | 223,3 aA (10,0) | 6,04 bD (0,14) | 8,15 aB (0,05) | 2,41 aF (0,01) | 2,53 aC (0,02) |
| Ama | 144,2 aD (11,1) | 152,6 aE (18,6) | 5,83 bD (0,70) | 8,17 aB (0,04) | 2,08 aG (0,13) | 2,14 aD (0,04) |
| Ucu | 131,3 aD (10,5) | 136,9 aF (10,7) | 6,28 bD (0,86) | 8,33 aB (0,25) | 2,61 bE (0,04) | 2,79 aB (0,06) |
| AnP | 165,5 aC (2,5) | 178,3 aC (1,8) | 7,88 aB (0,10) | 8,28 aB (0,04) | 3,10 bC (0,01) | 3,21 aA (0,01) |
| EG | 115,5 aE (3,6) | 129,2 aF (8,0) | 9,11 aA (0,25) | 9,24 aA (0,26) | 2,80 aD (0,01) | 2,46 bC (0,01) |
| \bar{X} | 166,07 | 175,79 | 6,51 | 8,14 | 2,47 | 2,49 |

Legenda: DGC: Densidade à granel do carvão; pHC: Potencial hidrogeniônico do carvão; pHEP: Potencial hidrogeniônico do extrato pirolenhoso; EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna em maiúsculo e minúsculo indicam que não houve diferença estatística, respectivamente entre as espécies e as temperaturas finais de carbonização, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão na unidade em que cada ensaio foi realizado.

O pH do carvão (pHC) produzido a 450°C variou de 4,71 (Tat - *Bagassa guianensis*) a 9,11 (EG - *Eucalyptus grandis*) considerados, respectivamente, de baixa

acidez e baixa basicidade. As espécies amazônicas consideradas neutras foram Jat (*Hymenaea* sp.), Cac (*Cariniana micrantha*) e LoP (*Ocotea cinerea*), com o pHC de 6,89, 7,01 e 6,83, respectivamente. Para o pHC a 650°C o intervalo foi de 7,25 (Ipê - *Handroanthus* sp.) a 9,24 (EG - *Eucalyptus grandis*) considerados neutro e de baixa basicidade.

Ao comparar os intervalos obtidos a 450°C a 650°C, nota-se que ao aumentar a temperatura final de carbonização, o pHC aumentou para todas as espécies avaliadas e reduziu a discrepância entre os RFDM. Apenas três espécies (Peq - *Caryocar villosum*, Tan - *Buchenavia grandis* e AnP - *Hymenolobium excelsum*) e o EG (*Eucalyptus grandis*) não apresentaram diferenças significativas para o aumento da temperatura final no pHC. De certa forma, o aumento do pHC era esperado, pois os extrativos presentes na madeira possuem pH de baixa acidez a neutra, e com a ação da temperatura ocorre a volatilização, parcial ou completa, destes extrativos.

O pH do extrato pirolenhoso (pHEP) a 450°C apresentou intervalo de 1,82 (CeD - *Cedrela* sp.) a 3,66 (And - *Andira inermis*) considerados, respectivamente, alta acidez e baixa acidez. Na temperatura final de 650°C foram obtidos valores de 1,86 (RaA - *Qualea paraensis*) a 3,21 (AnP - *Hymenolobium excelsum*), respectivamente, classificados em alta acidez e baixa acidez. Ao observar os valores obtidos para o pHEP, nota-se que o incremento da temperatura causou o aumento do pHEP, para nove das quinze espécies. O mesmo comportamento foi observado por Andrade e Carvalho (1998). Acrescenta-se que, apenas quatro espécies (LoP - *Ocotea cinerea*, Tan - *Buchenavia grandis*, AnF - *Dinizia excelsa* e Ama - *Vatairea guianensis*) não apresentaram significâncias estatísticas entre as temperaturas finais de carbonização.

Na Tabela 9, as espécies foram classificadas em 6, 3 e 6 classes distintas pelo teste de média para a temperatura final de 450°C nos ensaios de materiais voláteis (MVC), cinza (CZC) e carbono fixo do carvão (CFC), respectivamente. O intervalo obtido para os MVC a 450°C foi de 22,3% (EG - *Eucalyptus grandis*) a 32,6% (Tat - *Bagassa guianensis*), na literatura foram observados valores de MVC entre 15,6% (PASTORE et al., 1989) e 39,5% (TRUGILHO; SILVA, 2001) para, respectivamente, amapá doce (*Brosimum potabile*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*). O valor médio de MVC do jatobá, 39,5%, obtido por Trugilho e Silva (2001) foi superior ao do presente estudo 31,4%. A diferença pode ser explicada devido às distintas temperaturas utilizadas nos experimentos (400°C e 450°C), pois, sabe-se que, com o aumento da

temperatura final de carbonização, há maior degradação do carvão e, por consequência, ocorrerá maior volatilização de compostos da madeira.

As espécies foram classificadas pelo teste de média em 2, 4 e 3 classes distintas para a temperatura final de 650°C nos ensaios de materiais voláteis (MVC), cinza (CZC) e carbono fixo do carvão (CFC), respectivamente (TABELA 9). Para os MVC a 650°C foram obtidos valores de 5,7% (AnF - *Dinizia excelsa*) a 7,5% (EG - *Eucalyptus grandis*), na literatura foram encontrados valores entre 11,4% e 23,5%, respectivamente para (grapia) *Apuleia leiocarpa* (MOULIN et al., 2017) e (maçaranduba) *Manilkara huberi* a 600°C (TRUGILHO; SILVA, 2001). Portanto, nenhum dos valores de MVC pertencem ao intervalo obtido na literatura, resultado da influência da idade dos indivíduos analisados (NONES et al., 2015) e das características químicas das madeiras (SANTOS et al., 2016).

Houve diferença estatística entre os MVC a 450°C e 650°C. Foram formadas 2 classes distintas, a classe superior, com maiores valores de MVC, representada pela temperatura de 450°C. A maior redução do MVC foi na Tat (*Bagassa guianensis*), 25,9%, e a menor, 14,8%, para o EG (*Eucalyptus grandis*) e na média das espécies a redução foi de 22,2%. Dias Júnior et al. (2016) obteve redução média no MVC de 19,9%, valor inferior à média das espécies amazônicas e superior ao obtido pelo EG (*Eucalyptus grandis*).

Para a cinza do carvão (CZC) a 450°C, os valores variaram de 0,5% (Ipê - *Handroanthus* sp.) a 5,1% (RaA - *Qualea paraensis*), foram observados, na literatura, para castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) 0,3% e mamorana (*Castotema albuquerque*) 4,1% obtidos, respectivamente, por Pastore et al. (1989) e Trugilho et al. (1991). Portanto, excluindo o RaA (*Qualea paraensis*) e o EG (*Eucalyptus grandis*), as demais espécies estão em conformidade com o intervalo da literatura.

Segundo Vital et al. (1986), a cinza da madeira é o fator principal para explicar a cinza presente no carvão. Essa afirmação é comprovada com os dados da Tabela 5 (capítulo anterior) e da Tabela 9, nas quais o RaA (*Qualea paraensis*) foi a espécie com a maior presença de cinza na madeira e no carvão.

O intervalo obtido para a CZC a 650°C foi de 0,7% (Ipê - *Handroanthus* sp.) a 5,9% (RaA - *Qualea paraensis*), na literatura foram encontrados valores entre 1,4% (TRUGILHO; SILVA, 2001) e 6,3% (MOULIN et al., 2017), para alburno de jatobá (*Hymenaea courbaril*) e grapia (*Apuleia leiocarpa*), respectivamente. Destaca-se que

o Ipê (*Handroanthus sp.*) e RaA (*Qualea paraensis*) foram os limites para a CZC a 450°C.

Tabela 9. Valores médios obtidos para materiais voláteis, cinza e carbono fixo do carvão de RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de *Eucalyptus grandis* em diferentes temperaturas finais de carbonização.

| SIGLA | MVC | MVC | CZC | CZC | CFC | CFC |
|-----------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| | 450°C (%) | 650°C (%) | 450°C (%) | 650°C (%) | 450°C (%) | 650°C (%) |
| Maç | 29,2 aC (1,3) | 5,9 bB (0,2) | 1,7 aC (0,8) | 2,5 aC (1,1) | 69,1 bC (1,7) | 91,6 aB (1,0) |
| Tat | 32,6 aA (0,5) | 6,7 bA (0,5) | 0,8 aC (0,1) | 1,0 aD (0,3) | 66,6 bC (0,5) | 92,3 aA (0,8) |
| And | 25,3 aE (0,3) | 7,2 bA (0,1) | 1,5 aC (0,1) | 1,8 aD (0,1) | 73,2 bA (0,2) | 91,0 aB (0,1) |
| CeD | 31,5 aB (1,0) | 7,2 bA (0,1) | 1,0 aC (0,3) | 1,3 aD (0,3) | 67,5 bC (1,2) | 91,5 aB (0,3) |
| Peq | 24,9 aE (1,0) | 7,0 bA (0,2) | 2,1 aC (0,7) | 2,4 aC (0,7) | 72,9 bA (1,3) | 90,6 aB (0,9) |
| Jat | 31,4 aB (0,9) | 5,8 bB (0,4) | 0,9 aC (0,1) | 1,5 aD (0,1) | 67,7 bC (0,9) | 92,7 aA (0,3) |
| Ipê | 27,8 aC (1,1) | 6,2 bB (0,2) | 0,5 aC (0,3) | 0,7 aD (0,2) | 71,7 bB (1,0) | 93,1 aA (0,4) |
| Cac | 32,1 aA (0,9) | 7,1 bA (0,4) | 3,3 bB (0,1) | 4,5 aB (0,2) | 64,6 bD (1,0) | 88,4 aC (0,4) |
| LoP | 28,5 aC (0,2) | 6,7 bA (0,5) | 3,5 aB (0,7) | 4,3 aB (1,1) | 68,0 bC (0,6) | 89,0 aC (1,5) |
| Tan | 29,2 aC (0,7) | 7,1 bA (0,8) | 2,9 bB (0,4) | 3,9 aB (0,8) | 68,0 bC (0,9) | 89,0 aC (1,6) |
| RaA | 24,2 aE (0,6) | 6,0 bB (0,4) | 5,1 aA (1,4) | 5,9 aA (1,8) | 70,7 bB (1,3) | 88,1 aC (1,4) |
| AnF | 31,0 aB (1,0) | 5,7 bB (0,1) | 1,0 aC (0,1) | 1,3 aD (0,1) | 68,0 bC (0,9) | 92,9 aA (0,1) |
| Ama | 28,7 aC (0,7) | 6,0 bB (0,3) | 0,7 aC (0,1) | 0,8 aD (0,1) | 70,6 bB (0,7) | 93,2 aA (0,3) |
| Ucu | 28,3 aC (1,1) | 6,9 bA (0,7) | 1,0 aC (0,2) | 1,6 aD (0,4) | 70,7 bB (0,9) | 91,5 aB (1,1) |
| AnP | 26,5 aD (0,8) | 6,1 bB (0,2) | 1,3 aC (0,2) | 1,6 aD (0,2) | 72,2 bA (0,6) | 92,3 aA (0,4) |
| EG | 22,3 aF (0,6) | 7,5 bA (0,5) | 4,4 aA (0,1) | 4,9 aB (0,3) | 73,3 bA (0,6) | 87,5 aC (0,8) |
| \bar{X} | 28,3 | 6,6 | 2,0 | 2,5 | 69,7 | 90,9 |

Legenda: MVC: Materiais voláteis do carvão; CZC: Cinza do carvão; CFC: Carbono fixo do carvão; EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna em maiúsculo e minúsculo indicam que não houve diferença estatística, respectivamente entre as espécies e as temperaturas finais de carbonização, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em %.

Houve diferença estatística significativa entre as CZC a 450°C e 650°C apenas para duas espécies (Cac - *Cariniana micrantha* e Tan - *Buchenavia grandis*). Assim como obtido na maioria das espécies amazônicas avaliadas, Moulin et al. (2017) ao estudar três espécies (*Manilkara huberi*, *Tabebuia serratifolia* e *Apuleia leiocarpa*) de ocorrência amazônica, não encontrou diferença estatística significativa entre as temperaturas finais de carbonização (500°C, 600°C e 700°C) para a CZC. Acrescenta-se que, o aumento da temperatura final (450°C para 650°C), resultou no aumento de CZC para todas as espécies. O aumento na CZC é explicado pela maior degradação de compostos ou extrativos da madeira, que, conseqüentemente, aumenta a proporção de minerais no carvão. Moulin et al. (2017) constataram este comportamento, ao comparar madeiras carbonizadas com e sem extrativos, e verificaram que houve maior valor de CZ nas madeiras com extrativos. O maior aumento foi obtido pelo Cac (*Cariniana micrantha*), 1,2%, o menor foi de 0,1% (Ama - *Vatairea guianensis*), e a média das espécies amazônicas foi de 0,5% para a CZC.

O intervalo obtido a 450°C para o carbono fixo do carvão (CFC) foi de 64,6% (Cac - *Cariniana micrantha*) até 73,3% (EG - *Eucalyptus grandis*), nos estudos de Trugilho et al. (1991) e Pastore et al. (1989) foram obtidos valores entre 69,9% e 86,1%, para pau de balsa (*Ochroma pyramidale*) e quaruba verdadeira (*Vochysia maxima*). Verifica-se que a maioria das espécies amazônicas (Maç - *Manilkara huberi*, Tat - *Bagassa guianensis*, CeD - *Cedrela* sp., Jat - *Hymenaea* sp., Cac - *Cariniana micrantha*, LoP - *Ocotea cinerea*, Tan - *Buchenavia grandis*, AnF - *Dinizia excelsa*) não pertencem ao intervalo obtido na literatura. Sabe-se que altos valores de MVC e CZC diminuem o valor de CFC. De posse desta informação, nota-se que as espécies citadas obtiveram os maiores valores de MVC, excluindo o LoP (*Ocotea cinerea*) que obteve o maior valor de CZC. Segundo critério estabelecido por Brand (2010), nenhum dos carvões avaliados poderiam ser utilizados na siderurgia, pois os valores de CFC foram inferiores a 75%.

O carbono fixo do carvão (CFC) a 650°C variou de 87,5% (EG - *Eucalyptus grandis*) a 93,2% (Ama - *Vatairea guianensis*), em estudos realizados por Trugilho e Silva (2001) e Moulin et al. (2017) foram encontrados valores de 74,8% para alburno de jatobá (*Hymenaea courbaril*) e 87,2% maçaranduba (*Manilkara huberi*), ambos a 600°C. A distinção entre os valores obtidos no presente estudo e na literatura, pode ser explicada, segundo Brito e Barrichelo (1977), devido aos altos valores de lignina, superiores a 30% (TABELA 4) obtidas pelas espécies amazônicas. A exceção foi o

Ama (*Vatairea guianensis*) que apresentou o maior valor em extrativos totais. De acordo com Santos (2010), os extrativos da madeira podem contribuir com o aumento de carbono fixo em função da resistência térmica de suas substâncias constituintes, que de modo geral, possuem alta concentração de carbono.

Houve diferença estatística para todas as espécies analisadas entre os CFC a 450°C e 650°C, a classe superior foi formada pelo CFC a 650°C. Este resultado demonstra que, o incremento na temperatura final de carbonização aumenta o CFC. O aumento no CFC variou de 14,2% (EG - *Eucalyptus grandis*) a 25,7% (Tat - *Bagassa guianensis*) e apresentou incremento médio de 21,2% para as espécies amazônicas.

Na Tabela 10 foram obtidas no teste de média três classes para o poder calorífico superior (PCSC) e útil do carvão (PCUC) a 450°C. O intervalo para o PCSC a 450°C foi de 6.721 kcal/kg até 7.453 kcal/kg, para Cac (*Cariniana micrantha*) e AnP (*Hymenolobium excelsum*). Na literatura foram observados valores entre 6.012 kcal/kg (alburno de jatobá - *Hymenaea courbaril*) e 8.284 kcal/kg (quaruba - *Vochysia maxima*). Nota-se que todos os valores obtidos pelas espécies estão em conformidade com o intervalo observado na literatura. Ao comparar a Tabela 9 com a Tabela 10, verifica-se que o Cac (*Cariniana micrantha*) apresentou os menores valores de CFC e PCSC. Segundo Soares et al. (2014), existe correlação positiva entre o CFC e o PCSC, entretanto, este comportamento não foi observado para o maior valor de PCSC.

Para o poder calorífico superior (PCSC) e útil do carvão (PCUC) a 650°C, as espécies foram classificadas pelo teste de média em duas classes distintas (TABELA 10). O PCSC a 650°C variou de 7.670 kcal/kg (EG - *Eucalyptus grandis*) a 8.358 kcal/kg (CeD - *Cedrela* sp.), em estudos de Trugilho e Silva (2001) e Moulin et al. (2017) os valores para o PCSC variaram entre 7.265 kcal/kg (cerne de jatobá - *Hymenaea courbaril*) e 8.132 kcal/kg (maçaranduba - *Manilkara huberi*), ambos com temperatura final de carbonização de 600°C. Das quinze espécies amazônicas somente nove (Maç - *Manilkara huberi*, Tat - *Bagassa guianensis*, CeD - *Cedrela* sp., Jat - *Hymenaea* sp., Ipê - *Handroanthus* sp., AnF - *Dinizia excelsa*, Ama - *Vatairea guianensis*, Ucu - *Iryanthera* sp. e AnP - *Hymenolobium excelsum*) apresentaram valores de PCS superiores ao encontrado na literatura. Segundo Soares et al. (2014), há correlação positiva entre o PCS e o CF. Portanto, o comportamento das espécies citadas é elucidado pelos valores de CF superiores a 91% e ao valor observado por Moulin et al. (2007) para maçaranduba.

Tabela 10. Valores médios obtidos para o poder calorífico superior e útil do carvão de RFDM produzidos por serrarias em Roraima e de *Eucalyptus grandis* em diferentes temperaturas finais de carbonização.

| SIGLA | PCSC 450°C (kcal/kg) | PCSC 650°C (kcal/kg) | PCUC 450°C (kcal/kg) | PCUC 650°C (kcal/kg) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Maç | 7.043 bB (228) | 8.138 aA (102) | 6.739 bB (228) | 7.834 aA (102) |
| Tat | 7.027 bB (54) | 8.232 aA (125) | 6.723 bB (54) | 7.928 aA (125) |
| And | 7.354 bA (60) | 7.973 aB (264) | 7.050 bA (60) | 7.669 aB (264) |
| CeD | 7.111 bB (376) | 8.358 aA (202) | 6.807 bB (376) | 8.054 aA (202) |
| Peq | 7.134 bB (107) | 8.062 aA (103) | 6.830 bB (107) | 7.758 aA (103) |
| Jat | 7.309 bA (117) | 8.166 aA (48) | 7.005 bA (117) | 7.862 aA (48) |
| Ipê | 7.378 bA (135) | 8.348 aA (66) | 7.074 bA (135) | 8.044 aA (66) |
| Cac | 6.721 bC (154) | 7.834 aB (48) | 6.417 bC (154) | 7.530 aB (48) |
| LoP | 7.330 bA (254) | 8.124 aA (218) | 7.026 bA (254) | 7.820 aA (218) |
| Tan | 6.695 bC (178) | 7.913 aB (218) | 6.391 bC (178) | 7.609 aB (218) |
| RaA | 7.178 bA (225) | 7.911 aB (271) | 6.874 bA (225) | 7.607 aB (272) |
| AnF | 7.072 bB (217) | 8.218 aA (65) | 6.768 bB (217) | 7.914 aA (65) |
| Ama | 7.180 bA (66) | 8.298 aA (197) | 6.876 bA (66) | 7.994 aA (197) |
| Ucu | 7.338 bA (247) | 8.226 aA (93) | 7.034 bA (247) | 7.922 aA (93) |
| AnP | 7.453 bA (128) | 8.146 aA (105) | 7.149 bA (128) | 7.842 aA (105) |
| EG | 7.044 bB (88) | 7.670 aB (128) | 6.740 bB (88) | 7.366 aB (128) |
| \bar{X} | 7.148 | 8.101 | 6.844 | 7.797 |

Legenda: PCSC: Poder calorífico superior do carvão; PCUC: Poder calorífico útil do carvão; EG: *Eucalyptus grandis*; \bar{X} : Média geral dos ensaios para espécies amazônicas; Letras iguais na coluna em maiúsculo e minúsculo indicam que não houve diferença estatística, respectivamente entre as espécies e as temperaturas finais de carbonização, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Valores entre parênteses indicam o desvio padrão em kcal/kg.

O incremento na temperatura final de carbonização de 450°C para 650°C, resultou no aumento, estatisticamente significativo, do PCSC para todas as espécies amazônicas. Merecem destaque a And (*Andira inermis*) e Tan (*Buchenavia grandis*),

por apresentarem o menor, 8,4%, e o maior, 18,2%, aumento no PCSC, com a média de 13,4% para as espécies amazônicas. Segundo Trugilho e Silva (2001), o CFC é diretamente proporcional e o MVC é inversamente proporcional ao PCSC. De posse dessa informação, observa-se na Tabela 9, que o EG (*Eucalyptus grandis*) apresentou o menor valor de CFC, o maior valor de MVC e o menor valor de PCSC a 650°C, o que confirma a relação observada pelos autores anteriormente citados. Entretanto, este comportamento, não foi observado nas espécies amazônicas.

O poder calorífico útil do carvão (PCUC) a 450°C variou de 6.391 kcal/kg (Tan - *Buchenavia grandis*) a 7.149 kcal/kg (AnP - *Hymenolobium excelsum*), e a 650°C, os valores variaram de 7.366 kcal/kg (EG - *Eucalyptus grandis*) até 8.054 kcal/kg (CeD - *Cedrela* sp.). A perda de energia média obtida do PCSC para o PCUC a 450°C e 650°C foi de aproximadamente 4,4% e 3,9%, respectivamente.

2.4. Conclusão

Os carvões produzidos de RFDM apresentaram comportamentos distintos entre as espécies amazônicas e em relação ao EG (*Eucalyptus grandis*) para as características avaliadas. Os carvões de RFDM, em sua maioria, apresentaram maiores valores para os ensaios realizados em relação ao EG, as exceções foram os valores de pH do carvão a 450°C e 650°C, materiais voláteis a 650°C e o carbono fixo a 450°C.

Foi verificado comparativamente maior resistência à pirólise nas espécies amazônicas, causada, principalmente, devido aos altos valores de lignina observados em relação ao EG.

O aumento da temperatura de carbonização reduziu os rendimentos gravimétricos em carvão e, conseqüentemente, causou o aumento dos rendimentos dos co-produtos (extrato pirolenhoso e gases não condensáveis) da carbonização. A temperatura de carbonização exerceu influência na qualidade do carvão produzido.

O pHC aumentou com o incremento da temperatura final de carbonização para todas as espécies avaliadas e reduziu a discrepância entre os pHC dos distintos RFDM. Para a maioria das espécies amazônicas (doze das quinze), o pHEP aumentou com incremento da temperatura final de 450°C para 650°C.

Recomenda-se, com base nos resultados obtidos, que os RFDM devem ser carbonizados em temperaturas superiores a 450°C, para maximizar o carbono fixo

presentes nos carvões, já que todas as espécies obtiveram CFC inferiores a 75%, valor insuficiente para o uso siderúrgico.

Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.112/84. Carvão vegetal - Análise Imediata.** Rio de Janeiro, 1984a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.633/84. Carvão Vegetal - Determinação do poder calorífico.** Rio de Janeiro, 1984b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.922/81. Determinação da massa específica (densidade à granel).** Rio de Janeiro, 1981.

ALMEIDA, R. S. R. **Potencial do extrato pirolenhoso da madeira de eucalipto como agente conservante de cosméticos e saneantes.** 2012. 110f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

AMS (ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA). **Florestas Plantadas - Um caminho para o desenvolvimento sustentável.** 2013. 35p.

ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L. M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 24-42, 1998.

BARNI et al. Avaliação socioambiental na cidade de Rorainópolis, região sul de Roraima. **Boletim Museu Integrado de Roraima**. v. 9, n. 2, p. 23-33, 2015.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BRAZ, R. L. et al. Resíduos da colheita florestal e do processamento da madeira na Amazônia - uma análise da cadeia produtiva. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. v. 5, n. 2, p. 168-181, 2014.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**. n. 14, p.9-20, 1977.

CALAIS, D. **Florestas energéticas no Brasil: Demanda e disponibilidade.** Associação Mineira de Silvicultura - AMS, 2009. 23p.

CARVALHO, R. M. M. A. et al. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 105-118, 2005.

COSTA, T. G. et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, 2014.

DIAS JÚNIOR et al. Higroscopicity of charcoal produced in different temperatures. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 423-430, 2016.

HUMMEL, A. C. et al. **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém: SFB e IMAZON, 2010.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2014**. 2014. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014>>. Acesso em: 18 abr. 2016.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). **Informações sobre madeiras: Timborana**. 2018. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=79>. Acesso em: 26 abr. 2018.

MELO, L. E. L. et al. Resíduos de Serraria no Estado do Pará: Caracterização, Quantificação e Utilização Adequada. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 113-116, 2012.

MOULIN, J. C. et al. Effect of extractives and carbonization temperature on energy characteristics of wood waste in amazon rainforest. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 209-218, 2017.

MOUTINHO, V. H. P. et al. Propriedades Químicas e Energéticas de Madeiras Amazônicas do Segundo Ciclo de Corte. **Floresta Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 443-449, 2016.

MPPR - Ministério Público de Roraima. **Rorainópolis: MPPR consegue na Justiça liminar para que madeireira suspenda queimadas**. 2015. Disponível em: <<https://www.mppr.mp.br/nodes/nodes/view/type:noticias/slug:rorainopolis-mppr-consegue-na-justica-liminar-para-que-madeireira-suspenda-queimadas>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 31, n. 38, p. 319-330, 2011.

NONES, D. L. et al. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2015.

P&S Market Research. **Global wood vinegar market size, share, development, growth and demand forecast to 2023 - industry insights by manufacturing process (fast and intermediate pyrolysis, slow pyrolysis, others) by application (food, agriculture, waste water treatment, animal husbandry, wood tar, others)**. 2016. Disponível em: <<https://www.psmarketresearch.com/market-analysis/wood-vinegar-market>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

PASTORE et al. Carbonização de Madeiras da Amazônia Parte 1: Floresta Nacional do Tapajós. IBAMA/DIRPED/LPF - Laboratório de Produtos Florestais. **Série Técnica 12**, 1989, 12p.

RIEGEL, I et al. Análise termogravimétrica da pirólise da acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) cultivada no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 32 n. 3, p. 533-543, 2008.

SANTOS, R. C. et al. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 173f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SILVA, M. G. et al. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 61-70, 2007.

SOARES, V. C. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014.

TACCINI, M. M. **Estudo das metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referentes à avaliação de emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal**. 2010. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

TONINI, H.; LOPES, C. E. V. **Características do setor madeireiro do estado de Roraima**. Embrapa Roraima. Documentos 08, 2006, 22 p.

TRUGILHO, P. F. et al. Caracterização de espécies nativas e exóticas amazônicas e do carvão vegetal. **Revista árvore**, v. 15, n. 2, p. 144-151, 1991.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. 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.

VALE, A. T. et al. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.

VITAL, B. R. et al. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energético**. Sumário Executivo, Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às políticas públicas na área de Gestão e controle ambiental, Ministério Do Meio Ambiente, Curitiba, 2009.

3. PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E ENERGÉTICAS DE RESÍDUOS MADEIREIROS ESTOCADOS EM SERRARIAS DO PÓLO DE RORAINÓPOLIS, RORAIMA

Resumo

A estocagem ao ar livre pode alterar as características físicas, químicas e energéticas dos Resíduos Finos do Desdobro Madeireiro (RFDM). Como forma de verificar esta assertiva, 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 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. 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.

Palavras-chave: Armazenamento de resíduos a céu aberto; Seções das pilhas; Efeitos da estocagem; pH; Solubilidade em hidróxido de sódio a 1%.

Abstract

Storage of wood waste exposed to atmosphere may alter the physical, chemical and energy characteristics of the Fine Residues of Sawed Wood (RFDM). As a way of verifying this assertion, 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, humidity (humid 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 superior calorific value. 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, it can be verified that the residuals 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.

Keywords: Storage of wood waste exposed to atmosphere; Parts of wood pile; Effects of storage; Hydrogen potential; Solubility of the wood in 1% sodium hydroxide solution.

3.1. 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. 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).

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 sofrerem influências de fatores edafoclimáticos do local de estocagem (BJORHEDEN; ERIKSSON, 1990 e 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 e, principalmente, distribuição 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.

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.

3.2. Material e método

Foram coletadas amostras de RFDM estocados a céu aberto em três pilhas de distintas de serrarias no pólo madeireiro de Rorainópolis, situado no estado de Roraima. Ressalta-se que apenas três serrarias autorizaram a coleta do material estocado. 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 21) utilizando-se trado 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 uma betoneira 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 umidade ambiente. Os RFDM restantes foram identificados por pilha e seção e, em seguida, foram submetidos à secagem em estufa a 100°C até o peso constante para o transporte até o Laboratório de Química Celulose e Energia - USP em Piracicaba, SP.

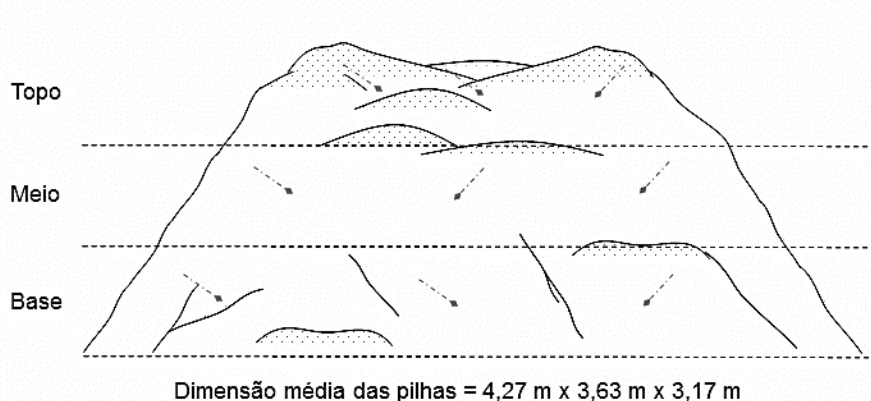


Figura 11. Alíquotas de retirada de amostras das pilhas de RFDM nas distintas seções (base, meio e topo), em serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis.

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, 2016).

Para a realização dos ensaios químicos, físicos e energéticos dos RFDM foram adotados os mesmos procedimentos e normas citadas nas metodologias do Capítulo 1, com a inclusão do ensaio de determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%, realizado conforme a NBR 7.990 (ABNT, 2010).

Os dados obtidos foram processados e analisados a partir da construção de um banco de dados utilizando o programa Excel®. 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.

3.3. Resultados e discussão

A média obtida para os fatores climáticos no período de agosto a novembro em 2016, foi de 33,7°C (temperatura máxima), 82,3% (umidade relativa), 3,7 mm (precipitação) e em 60 dias não houve registro de precipitação. De posse dos resultados, conclui-se 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, é possível afirmar com base nestas informações, que não houve a misturas das seções (base, meio e topo) durante a estocagem. Os responsáveis, afirmaram ainda, 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 11), nota-se que no topo da pilha a granulometria foi menor que as demais seções (base e meio). Nas serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis, assim como ocorre em grande parte das serrarias amazônicas, os resíduos produzidos pela serra fita são conduzidos por esteira, sem contato com o solo, até a caixa de coleta. Durante a preparação da tora a ser desdobrada, a caixa de coleta com os resíduos é transportada por trator equipado com garras até a pilha de estocagem.

Tabela 11. Distribuição granulométrica dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do pólo madeireiro de Rorainópolis.

| Seções | Porcentagem retida na peneira | | | | |
|--------|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| | > 4,000 mm | 4,000 mm – 0,600 mm | 0,600 mm – 0,425 mm | 0,425 mm – 0,250 mm | < 0,250 mm |
| TOPO | 1,1 ns (0,3) | 33,7 ns (2,2) | 22,7 B (1,0) | 25,0 ns (0,4) | 17,5 A (1,6) |
| MEIO | 1,7 ns (0,9) | 43,9 ns (1,1) | 28,0 AB (4,4) | 17,5 ns (1,3) | 9,0 B (3,7) |
| BASE | 3,3 ns (1,7) | 35,6 ns (8,5) | 32,2 A (2,9) | 22,6 ns (6,2) | 6,2 B (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, acrescenta-se que, as serras circulares produzem resíduos de maiores dimensões, quando comparado as serras fitas (ROCHA, 2002). Portanto, a deposição dos resíduos das serras circulares ocorre nas bases das pilhas, explicando o comportamento granulométrico obtido na base em relação ao topo da pilha.

Na Tabela 12, 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 12. Umidade, pH, solubilidade em hidróxido de sódio e densidade à granel dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do polo madeireiro de Rorainópolis.

| Seções | Umidade base úmida (%) | pH | Sol. NaOH (%) | Densidade à granel (kg/m ³) |
|--------|------------------------|----------------|---------------|---|
| TOPO | 20,66 B (2,00) | 4,89 B (0,41) | 21,0 A (0,9) | 302,8 ns (14,5) |
| MEIO | 48,02 A (5,31) | 5,69 AB (0,39) | 19,6 AB (0,3) | 285,7 ns (17,3) |
| BASE | 48,61 A (3,78) | 5,90 A (0,34) | 17,8 B (1,3) | 286,6 ns (17,4) |

Legenda: 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.

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 12). Entretanto, o maior valor observado para a densidade à granel foi no topo (TABELA 12), devido a maior concentração de resíduos < 0,250 mm (TABELA 11). 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 13). 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) justifica que o ataque de fungos e bactérias causam o aumento da higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, há o aumento da umidade (verificado na TABELA 12), 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 13. Extrativos totais, lignina e holocelulose dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do polo madeireiro de Rorainópolis.

| Seções | Extrativos totais (%) | Lignina (%) | Holocelulose (%) |
|--------|-----------------------|--------------|------------------|
| TOPO | 8,3 A (0,4) | 32,3 B (0,5) | 59,4 B (0,7) |
| MEIO | 4,6 B (0,3) | 34,0 A (0,8) | 61,4 A (0,8) |
| BASE | 2,1 C (0,7) | 34,9 A (0,5) | 63,0 A (0,7) |

Legenda: 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 as Tabelas 13 e 4 (primeiro capítulo), 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 deterioram apenas a celulose e hemicelulose. Além disso, as autoras relatam o aumento do poder calorífico superior.

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 do topo foi causada, principalmente, por conta dos 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 14). 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 (HE et al., 2012; KUANG et al., 2009).

Tabela 14. Materiais voláteis, cinza, carbono fixo, poder calorífico superior e útil dos RFDM estocados em pilhas preexistentes em serrarias do polo madeireiro de Rorainópolis.

| Seções | MV (%) | CZ (%) | CF (%) | PCS (kcal/kg) |
|--------|---------------|-------------|---------------|------------------|
| TOPO | 81,1 ns (0,7) | 0,6 B (0,1) | 18,4 ns (0,6) | 4.426 ns (178,9) |
| MEIO | 80,7 ns (0,6) | 0,9 B (0,2) | 18,4 ns (0,5) | 4.579 ns (169,6) |
| BASE | 80,7 ns (1,9) | 1,8 A (0,2) | 17,5 ns (1,7) | 4.674 ns (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. A justificativa é a decomposição biológica de materiais orgânicos, como os RFDM, que resultam no aumento da porcentagem de materiais inorgânicos (THÖRNQVIST, 1985). Inclusive, o mesmo autor cita que a decomposição é maior durante os primeiros quatro meses de estocamento em pilhas formadas por resíduos madeireiros particulados. Acrescenta-se que a umidade da base foi superior as demais seções, segundo Park e Colato (2006), 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 14). A média da base das pilhas apresentou acréscimo de aproximadamente 5% em relação ao valor obtido pelo topo. De acordo com a Tabela 14, nota-se que o PCS aumentou do topo para a base, resultado do aumento nos valores de lignina. Este comportamento também foi observado por Brand e Muñiz (2012).

3.4. Conclusão

As seções das pilhas proveram valores distintos entre si, e 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 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.

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. **NBR 10.007: Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro. 2004.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.990: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%**. Rio de Janeiro. 2010.

BJORHEDEN, R., ERIKSSON, L. O. The effects of operational planning of changes in energy content of stored wood fuels, **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 5, n. 1-5, p. 255-261, 1990.

BRAND, M. A. et al. Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. In: III Congresso de inovação tecnológica em energia elétrica, 2005, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: III Citenel, 2005. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/Citenel2005/anais/index.html>>. Acesso em: 21 mai. 2018.

BRAND, M. A. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 175-183, 2014.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influência da Época de Colheita e da Estocagem na Composição Química da Biomassa Florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66-78, 2012.

CERAGIOLI, N. S. **Qualidade de cavacos produzidos em sistemas florestais de curta rotação de eucalipto para fins energéticos**. 2013, 58f. Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2013.

FEIST, W. C.; HON, D. N. S. **Chemistry of weathering e protection**. In: ROWELL, R. M. The chemistry of solid wood. American Chemical Society, 1984. 614 p.

FOLHABV. (Folha Web). **Termelétricas ganham R\$ 26 milhões por mês, mas não atendem a demanda**, 2018. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/termeletricas-ganham-r--26-milhoes-por-mes--mas-nao-atendem-a-emandas/37642>>. Acesso em: 24 mai. 2018.

HE, X. et al. Dry matter losses in combination with gaseous emissions during the storage of forest residues. **Fuel**, v. 95, p. 662-664, 2012.

HE, X. et al. Investigating gas emissions and dry matter loss from stored biomass residues. **Fuel**, v. 134, p. 159-165, 2014.

INMET. (Instituto Nacional de Meteorologia). **Rede de Estações Climatológicas. Instituto Nacional de Meteorologia**. 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

KUANG, X. et al. Effects of headspace and oxygen level on off-gas emissions from wood pellets in storage. **Annals of Occupational Hygiene**, v. 53, n. 8, p. 807-813, 2009.

PANDEY, K. K. Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. **Polymer Degradation and Stability**, v. 90, n. 1, p. 9-20, 2005.

PARK, K. J.; COLATO, G. Análises de Materiais Biológicos. Versão Digital. Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2006. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34868937/analise_de_material_biologico.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2018.

PASTORE et al. A spectrometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource Technology**, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.

ROCHA, M. P. **Técnicas de planejamento em serrarias**. FUPEF. Série Didática 02/01, 2002, 121 p.

THÖRNQVIST, T. Drying and storage of forest residues for energy production. **Biomass**, v. 7, n. 1, p. 125-134, 1985.

CONCLUSÃO GERAL

No capítulo 1, foi verificado que os resíduos madeireiros das espécies desdobradas no pólo de Rorainópolis possuem características potenciais para a produção de carvão vegetal e energia.

No capítulo 2, foi recomendado que os RFDM devem ser carbonizados em temperaturas superiores a 450°C, para maximizar a qualidade potencial do carvão.

No capítulo 3, foi verificado que a base e o meio das pilhas possuem comportamentos mais similares em relação à seção topo. Porém, todas as seções das pilhas poderiam ser utilizadas para a produção energética.