



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GABRIELA FONTES MAYRINCK CUPERTINO

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE
ORIGEM URBANA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO – RJ.**

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GABRIELA FONTES MAYRINCK CUPERTINO

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE
ORIGEM URBANA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO – RJ.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. NATÁLIA DIAS DE SOUZA
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
NOVEMBRO – 2019

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE
ORIGEM URBANA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO – RJ.**

GABRIELA FONTES MAYRINCK CUPERTINO

APROVADA EM: 26/11/2019

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dra. NATÁLIA DIAS DE SOUZA – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. ALEXANDRE MIGUEL DO NASCIMENTO – UFRRJ
Membro

Prof. Dra. GILMARA PIRES DE MOURA PALERMO – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Á minha Bisavó Denir (*in memoriam*), por ser uma das grandes incentivadoras desse sonho.

AGRADECIMENTOS

A vida é composta por ciclos e hoje se encerra mais um. O fim desta trajetória foi difícil e cheia de obstáculos, portanto primeiramente agradeço a Deus por me conceder força e coragem para superar os desafios diários.

Agradeço a minha mãe Joyce por toda compreensão e dedicação durante essa etapa, ao meu pai Luis, por sempre acreditar em mim, mesmo quando nem eu mesma acreditava. Às minhas irmãs Isabela e Mirela, almejo que minha dedicação nesses anos sirva de inspiração para que vocês lutem pelos seus próprios sonhos. Aos meus avós, padrinhos e tios por todo amor.

À minha orientadora, amiga e inspiração Prof. Natália Dias, obrigada por plantar em meu coração o amor pelo meio acadêmico. Sou eternamente grata por cada palavra de incentivo, descontração e carinho durante esses anos que trabalhamos juntas.

A COMLURB e seus funcionários, por disponibilizar o material para esse estudo e me proporcionar grande aprendizado sobre o assunto.

Ao meu amigão Zé Carlos, obrigada por toda ajuda e parceria ao longa desses anos que faço parte do laboratório de química da madeira.

Ao Prof. Ananias Junior, por incentivar e acreditar junto à mim e minha orientadora nesse projeto. Sou grata por toda paciência e por dividir o seu conhecimento comigo.

Ao PET Floresta, em especial a Prof. Vanessa Basso, por proporcionar momentos incríveis ao longo dessa fase e muito mais do que isso, por contribuir para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos membros da banca avaliadora Prof. Gilmara Pires e Prof. Alexandre Miguel pelas contribuições na pesquisa. Vocês são exemplos de profissionais dignos e competentes.

Ao meu parceiro de monografia, Alfredo Junior. Sou grata por cada ajuda nas análises realizadas e muito além disso, por ser a calma nos momentos que eu mais precisei.

Aos meus amigos da turma 2014.1, Ana Carolina Lindolfo e José Patrício. Obrigada por todo momento de descontração e por me ajudarem a realizar os procedimentos desse trabalho em um dos momentos que mais precisei.

À minha família ruralina Diune Bueno, Vanessa Coelho, Karina Muniz e Bianca André, saibam que vocês são exemplos para mim. Deixo aqui meu muito obrigada por cada palavra, gesto e até mesmo abrigo ao longo de toda essa etapa.

Aos meus companheiros da graduação Celi Ramos, Junilha Lopes, Thaís de Paula, Osmar Freitas, Isabelle de Sá, Carlos Alves, Júlia Martins, Mariana Ribeiro e Mariana Salomão, obrigada por compartilhar momentos bons e ruins comigo ao longo dessa jornada

Aos meus parceiros Aécio Dantas e Jéssica Grama, pelos estudos sobre resíduos do RJ e por compartilhar de toda logística da pesquisa, incluindo as caronas no carro do lixo.

E por fim, agradeço ao corpo docente dessa Universidade que me proporcionaram conhecimento, o qual será utilizado como uma das ferramentas para a conquista de novos horizontes.

RESUMO

O uso de resíduos na produção de energia é uma alternativa que pode agregar valor e diminuir os impactos causados. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi de caracterizar os resíduos lignocelulósicos provenientes do município do Rio de Janeiro para fins energéticos. Para isso foi determinado a composição química dos resíduos lignocelulósicos, tais como lignina, holocelulose e extrativos. Para caracterização energética determinou-se o teor de umidade, o poder calorífico inferior, superior e útil, a densidade a granel e energética, além da análise química imediata. Usando-se uma mistura (mix) de resíduos urbanos, o teor de extrativos, holocelulose e lignina foram iguais a 1,5%, 28% e 26,67%, respectivamente. Já em relação ao teor de voláteis, carbono fixo e teor de cinzas foi de 76,8%, 18,3% e 4,9%. Em relação a umidade, o teor encontrado foi de 12%. Quando se trata de poder calorífico, o resultado encontrado foi de 4581 kcal/kg para o superior, 4264 kcal/kg para o inferior e 4258 kcal/kg para o útil. Em relação a densidade a granel e densidade energética, obteve-se 91,91 kg/m³ e 391379,90 kcal/m³, respectivamente. Concluindo-se que o material possui grande parte das características similares a outros utilizados para geração de energia, contudo o teor de cinzas, extrativos foram superiores e a densidade energética considerada inferior a outros resíduos e madeiras usados com os mesmos fins.

Palavras-chave: Geração de energia; poder calorífico; biomassa lignocelulósica.

ABSTRACT

The use of waste in energy production is an alternative that can add value and reduce the impacts caused. Therefore, the objective of this work was to characterize the lignocellulosic residues coming from the city of Rio de Janeiro for energy purposes. For this, the chemical composition of lignocellulosic residues such as lignin, holocellulose and extractives was determined. For energy characterization, moisture content, lower, higher and useful calorific power, bulk and energy density were determined, as well as immediate chemical analysis. Using a municipal waste mix, the extractives, holocellulose and lignin contents were 1.5%, 28% and 26.67%, respectively. Regarding the volatile content, fixed carbon and ash content was 76.8%, 18.3% and 4.9%. Regarding humidity, the content found was 12%. When it comes to calorific value, the result was 4581 kcal / kg for the upper, 4264 kcal / kg for the lower and 4258 kcal / kg for the useful. Regarding bulk density and energy density, 91.91 kg / m³ and 391379.90 kcal / m³, respectively, were obtained. In conclusion, the material has much of the characteristics similar to others used for power generation however, the ash content, extractives were higher and the energy density considered lower than other waste and wood used for the same purposes.

Keywords: Power generation; calorific power; lignocellulosic biomass.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 2.1. Resíduos Sólidos Urbanos..... | 2 |
| 2.1.1. Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS | 2 |
| 2.1.2. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do Município do Rio de Janeiro | 3 |
| 2.2. Resíduos Madeireiros de Origem Urbana – RMOU | 4 |
| 2.3. Valorização de Resíduos | 5 |
| 2.4. Composição Química | 5 |
| 2.4.1. Extrativos | 6 |
| 2.4.2. Holocelulose..... | 7 |
| 2.4.3. Lignina | 8 |
| 2.5. Poder Calorífico | 9 |
| 2.6. Análise Química Imediata..... | 9 |
| 2.7. Densidade..... | 10 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 10 |
| 3.1 Coleta e preparo do material para as análises..... | 10 |
| 3.2. Composição Química | 11 |
| 3.2.1. Quantificação dos extrativos | 11 |
| 3.2.2. Determinação da holocelulose..... | 12 |
| 3.2.3. Determinação da lignina de Klason..... | 12 |
| 3.5. Análise Química Imediata..... | 13 |
| 3.5.1. Umidade | 13 |
| 3.5.2. Teor de voláteis | 13 |
| 3.5.3. Teor de cinza | 14 |
| 3.5.4. Carbono fixo..... | 14 |

| | |
|--|----|
| 3.6. Análise do Poder Calorífico | 14 |
| 3.7. Determinação de contaminantes sólidos não combustíveis em biomassa..... | 15 |
| 3.7.1. Preparação do material | 15 |
| 3.7.2 Determinação de NCO, NCT e NCA | 15 |
| 3.8. Determinação da Massa Específica..... | 16 |
| 3.8.1. Densidade a granel | 16 |
| 3.8.2. Densidade energética..... | 16 |
| 3.9. Análise Estatística | 16 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 16 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 19 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 20 |

1. INTRODUÇÃO

Observa-se que nas últimas cinco décadas houve um grande crescimento populacional no mundo seguido de um forte processo de urbanização. Segundo dados da FAO, a previsão é que no ano de 2050 a população chegue a 9,3 milhões de habitantes, onde 68% irão residir em centros urbanos. Diante dessa realidade, vale mencionar a cidade do Rio de Janeiro, onde é a segunda maior cidade do Brasil, possuindo uma população de aproximadamente 6,6 milhões de habitantes e com cerca de 161 bairros (IBGE, 2019).

Quanto aos impactos causados pelas metrópoles, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é considerado um dos mais sérios. Dias Júnior *et al.* (2017) afirmam que resíduos sólidos urbanos, em geral, são representados por papel, vidro, madeira, plástico e material orgânico. Segundo dados do Governo do Estado do Rio de Janeiro, estima-se que na cidade são coletados 17mil t/dia desse material, sendo estes depositado em aterros sanitários, os quais possuem a vida útil reduzida, em virtude da degradação lenta e do grande volume (MEIRA, 2010).

No Brasil um dos instrumentos importantes que trata dos resíduos sólidos é a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Sua atuação é de caráter conjunto vinculada com a obrigação do poder público de cada município, o qual tem como função implementar e executar planos para melhor gerenciamento de resíduos sólidos.

Com o intuito de cumprir o que é previsto na PNRS, em 2008 foi criado no município do Rio de Janeiro o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), que tem como um dos seus principais objetivos garantir a redução das emissões mundiais de Gases do Efeito Estufa (GEE).

A PMGIRS apresenta uma série de objetivos, sendo um dos que mais se destaca no contexto atual, está relacionado com a valorização dos resíduos sólidos através de processos de tratamento considerados técnica, econômica e ambientalmente sustentáveis. Dessa forma é possível reduzir o quantitativo de resíduos encaminhados para disposição final, com adoção de alternativa de geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos – RSU.

Os componentes a base de madeira que constituem o RSU, denominado Resíduos Madeireiros de Origem Urbana (RMOU) e materiais lignocelulósicos são os que mais se destacam quando o objetivo é a valorização para fins energéticos, uma vez que os mesmos apresentam caráter renovável e sua conhecida qualidade para produção de energia (ANDRADE, 2017). Além disso, sabe-se que a matriz energética a base de combustíveis fósseis é considerada insegura por ser um recurso não renovável, fazendo com que países invistam em outras matrizes (DIAS JÚNIOR *et al.*, 2017).

O uso desses resíduos na produção de energia é uma alternativa para agregar valor e diminuir os impactos causados, uma vez que a utilização dos mesmos possui grandes vantagens, como por exemplo, a mudança na matriz energética (QUIRINO, 2003). A fim de ter uma definição para o potencial uso de um material é necessário conhecê-lo. Análises que permitam conhecer sua estrutura, composição e comportamento são essenciais para uma a determinação de uma melhor aplicabilidade.

Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização para fins energéticos dos resíduos lignocelulósicos de origem urbana provenientes do município do Rio de Janeiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduos sólidos são resíduos no estado sólido e semissólidos, provenientes de atividades de cunho doméstico, hospitalar, industrial, comercial, agrícola, varrição e serviços, podendo ser classificado de acordo com a sua natureza, química, riscos e periculosidades ao meio ambiente e à saúde pública. (Norma Técnica Brasileira de nº 10.004/2004 de Resíduos Sólidos).

No Brasil, a produção desses resíduos atinge altos patamares, contudo mecanismos que invistam em reciclagem e maiores logísticas são falhos. São totalizados no país cerca de três mil municípios com a destinação inadequada desse material. (ABRELPE, 2016). Segundo Júnior (2003), as políticas públicas e a falta de investimentos no setor não são compatíveis com a grande quantidade de resíduos gerados no Brasil.

De acordo com os dados da Pesquisa Nacional Saneamento Básico (PNSB), entre os anos de 1989 e 2008 houve uma melhoria significativa, em relação a destinação dos resíduos sólidos, passando de 1,1% para 27,7% dos municípios que destinam esse material para aterros sanitários, resultando em uma pequena diminuição em lixões e em uma significativa redução nos vazadouros a céu aberto (Tabela 1).

Tabela 1. Destino final dos resíduos sólidos, por unidades de recebimento, Brasil - 1989/2008

| Ano | Destino Final (%) | | |
|------|------------------------|---------------------|--------------------|
| | Vazadouro a céu aberto | Aterros Controlados | Aterros Sanitários |
| 1989 | 88,2 | 9,6 | 1,1 |
| 2000 | 72,3 | 22,3 | 17,3 |
| 2008 | 20,8 | 22,5 | 27,7 |

Fonte: IBGE, 2010; GOUVEIA, 2012.

Planejamento, manutenção, operação e recursos são essenciais para resolver as questões relacionadas a esse problema. Nesse sentido, surge no Brasil a fim de promover uma maior articulação entre a União, Estados e municípios a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com o intuito de buscar soluções para os problemas que comprometem a integridade e vida dos cidadãos (SILVA, 2016).

2.1.1. Plano Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS

O Congresso Nacional criou o Projeto de Lei 203/1991 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que visa gerenciar os resíduos sólidos, atribuindo a sua separação por frações, processamento em usinas de reciclagem, recuperação de energias contidas nele, tratamento e disposição de tecnologias para quando a reciclagem não for possível (BRASIL, 2010).

Segundo o mesmo autor, a implantação de uma logística reversa, elaboração de Planos de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS) e a erradicação dos lixões até 2021 são um dos seus principais objetivos. Sua atuação é de caráter conjunto, envolvendo o governo, empresas e sociedade, com a obrigação do poder público de cada município implementar e executar planos para melhorar o gerenciamento de seus resíduos sólidos.

2.1.2. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do Município do Rio de Janeiro

O PMGIRS na cidade do Rio de Janeiro nasceu de acordo com a Lei Municipal nº 4.969, de 03.12.2008, que dispõe sobre objetivos, instrumentos, princípios e diretrizes para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos no âmbito do Município, estabelecendo em seu art. 6º que cabe ao Município elaborar o seu Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, sendo que o Decreto Municipal nº 31.416, de 30.11.2009 adicionou a redução dos Gases do Efeito Estufa (GEE).

Dentre os objetivos do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município do Rio de Janeiro pode-se citar: proteger a saúde pública e a qualidade do meio ambiente; incentivar a reutilização, a reciclagem e a recuperação dos resíduos sólidos urbanos, reduzindo a quantidade de rejeitos encaminhada a aterros sanitários; gerar benefícios sociais e a busca da sustentabilidade econômica dos serviços ligados ao gerenciamento de resíduos, promovendo o desenvolvimento sustentável; incentivar a valorização dos resíduos sólidos por processos de tratamento considerados técnica, econômica e ambientalmente sustentáveis.

Segundo dados do último levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), o município do Rio de Janeiro- RJ, possui 6.320.446 de habitantes e uma área de 1.200,255 km². Segundo dados da Prefeitura do Rio de Janeiro, os resíduos sólidos recolhidos pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) atingiram a média de 9.227 toneladas diárias, no ano de 2014, sendo classificados em resíduo domiciliar, resíduo de limpeza urbana, resíduo de grandes geradores (incluindo resíduos da construção civil que chegam nas unidades da COMLURB) e resíduos da rede municipal de saúde, de remoção gratuita e de emergência.

A tabela 2 aponta as quantidades de resíduos provenientes de cada classificação.

Tabela 2. Resíduos sólidos encaminhados às unidades de disposição final do sistema público da cidade do Rio de Janeiro

| Tipo de Resíduo | Quantidade | |
|-----------------------------------|---------------|------------|
| | toneladas/dia | % |
| Lixo Domiciliar | 4.900 | 53,11 |
| Lixo Público | 2.832 | 30,69 |
| Remoção Gratuita | 193 | |
| Emergência | 303 | |
| Resíduos de Serviços de Saúde | 2 | 6,91 |
| Outros | 140 | |
| Grandes Geradores (Incluindo RCC) | 857 | 9,29 |
| Total do Município | 9.227 | 100 |

Fonte: COMLURB - Relatório Diretoria Técnica e de Logística-DTL 2014.

Segundo o PMGIRS (2014), a maior fração por área de planejamento corresponde a quantidade de matéria orgânica, já a pequena fração é composta de restos, cerâmica, tecidos, e madeira, entre outros resíduos. De acordo com Andrade (2017), dentre essa pequena fração o resíduo que mais chama a atenção é a madeira gerada em ambientes urbanos, devido seu caráter renovável.

2.2. Resíduos Madeireiros de Origem Urbana – RMOU

Segundo Wiecheteck (2009), a utilização da madeira no ambiente urbano, seja por conta da construção civil, descarte de embalagens ou podas provenientes das florestas urbanas, acarretam um grande volume de resíduos de madeira e/ou material lignocelulósico nos centros urbanos (Figura 1).

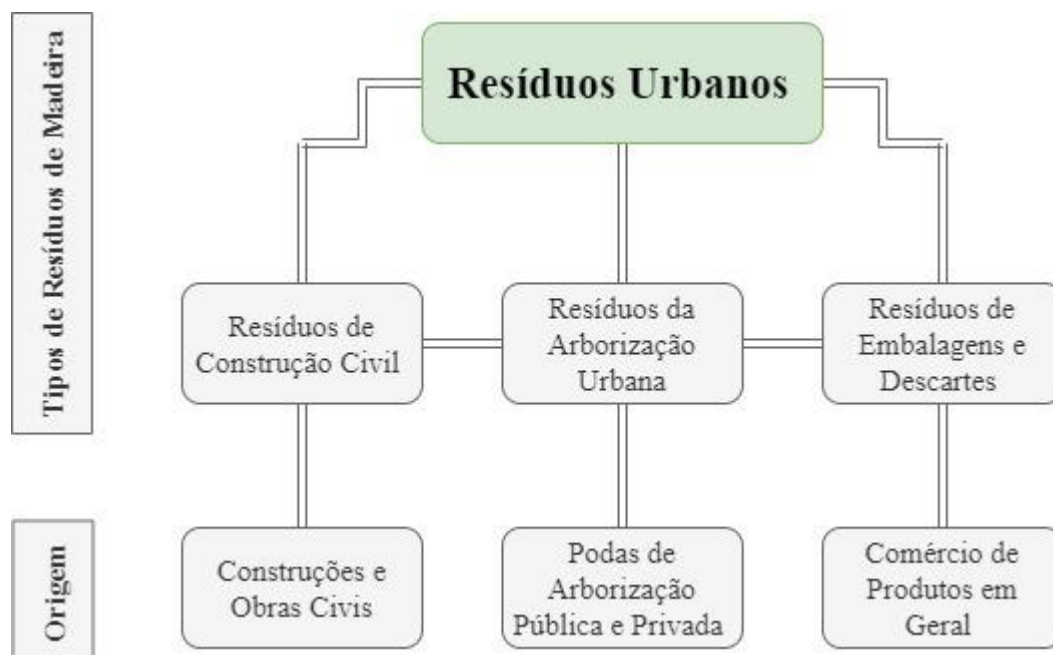


Figura 1: Classificação dos tipos de resíduos de madeira em ambiente urbano.

Fonte: WIECHETECK, 2009. Adaptado.

Nesse aspecto, vale ressaltar a realidade do município do Rio de Janeiro, com a remoção e poda das árvores muito se tem gerado o conhecido “lixo verde” que consiste em todo material lenhoso que é descartado após tratamentos silviculturais da arborização urbana, como por exemplo galhos e troncos. Já no segmento da construção civil, a madeira é um elemento fundamental, utilizado em diversas etapas de uma obra, contudo devido à alta presença de contaminantes (concretos/argamassas, metais e agentes desmoldantes), sua reciclagem é limitada. No que diz respeito aos resíduos de embalagens e descartes, enquadram-se principalmente paletes e caixas de transporte de alimentos, os quais são reaproveitados sempre que possível. (WIECHETECK, 2009).

Dados do Ministério do Meio Ambiente, estimam que apenas o setor de construção e as áreas urbanas são responsáveis por 2,79 milhões de toneladas de resíduos de madeira no país. Esses resíduos madeireiros são normalmente levados para aterros sanitários, o que podem gerar degradação da paisagem, poluição dos recursos hídricos, edáficos e do ar.

Contudo, esses resíduos de origem lignocelulósica podem deixar de ser um passivo ambiental e ser utilizados como matéria prima para diferentes finalidades, podendo gerar lucro para o governo, comunidades locais e sociedade em geral.

2.3. Valorização de Resíduos

Segundo Bidone (2011), toda reutilização de resíduos sólidos, a fim de que o mesmo não seja destinado a aterros sanitários é definida como valorização de resíduos. Essa valorização é considerada por pesquisadores e pelas indústrias uma alternativa econômica, social e sustentável, podendo gerar novas oportunidades de trabalho, além de gerar uma imagem de uma organização em relação a responsabilidade socioambiental (MEIRA, 2010).

Chaluppe (2013), afirma que no Brasil, diferentes medidas de valorização de resíduos sólidos têm sido desenvolvidas por alguns núcleos que estudam essa material no país. Dessa forma, a utilização de resíduos de biomassa no país provou ser uma alternativa promissora para gerar renda e mitigar impactos para os setores público e privado (ANDRADE et al; 2017).

O uso desses resíduos na produção de energia é uma alternativa para agregar valor e diminuir os impactos causados, uma vez que a utilização dos mesmos na produção energética possui grandes vantagens, como por exemplo, a mudança na matriz energética (QUIRINO, 2003). O foco das pesquisas voltadas para a transformação de energia a partir da biomassa, visando o desenvolvimento sustentável e ambientalmente correto, está direcionado à combustão direta como o método mais utilizado.

Na última década o setor energético fluminense foi impulsionado por diversas ações e novos projetos, almejando a ampliação do parque gerador estadual. Segundo o levantamento realizado por Amaral (2019), no Rio de Janeiro existem 150 termoeletricas. Diante desse resultado, observa-se que a cidade possui potencial para o uso da biomassa como fonte de energia.

Para a valoração desse material, é importante conhecer a sua composição química para melhor definição do seu uso. Desta maneira, a análise da composição química, poder calorífico, análise química imediata, densidade e teor de contaminantes contribuem de maneira decisiva como diferencial de potencial para o material de origem lignocelulósica ser usado para a produção de energia (GODOY, 2016).

2.4. Composição Química

O conhecimento da natureza química de um material possibilita o sentido de seu comportamento como matéria-prima para diversos usos. Materiais lignocelulósicos são fibrosos, formam matrizes complexas constituídas de celulose (um rígido polímero de glicose), hemiceluloses, pectinas e outras gomas. Estas são impregnadas com lignina, a qual pode ser considerada como uma cobertura de resina plástica (CASTRO, 2009). Os compostos de baixo peso molecular (extrativos e componentes minerais) representam apenas uma pequena parcela. A distribuição dos principais compostos da madeira pode ser observada na Figura 2.

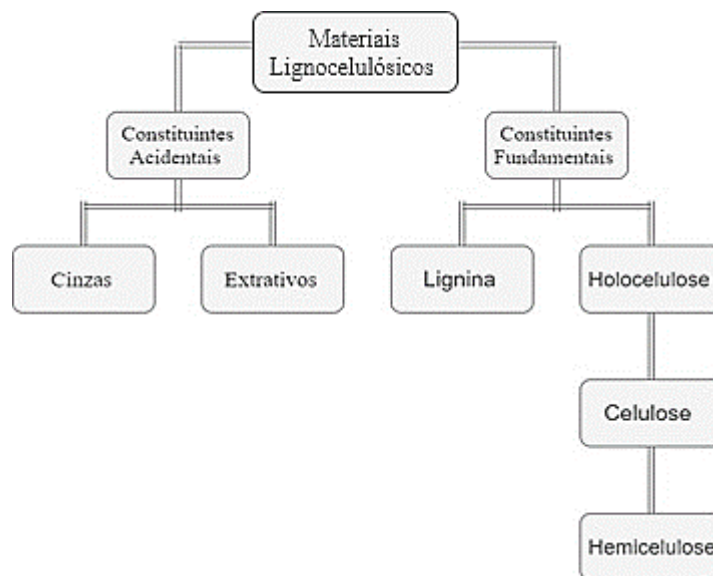


Figura 2: Distribuição dos constituintes químicos dos materiais lignocelulósicos.

2.4.1. Extrativos

Os extrativos são constituintes acidentais presentes nos materiais lignocelulósicos, ou seja, são substâncias que não fazem parte da parede celular ou lamela média e são possíveis de ser extraídos quando submetidos a ação de algum solvente. Segundo Sarto & Sansigolo (2010) a classificação dos extrativos variam de acordo com as suas características estruturais ou até mesmo de acordo com os solventes utilizados na sua extração, dividindo os mesmos em diferentes grupos.

Caracterizam-se por apresentar uma grande diversidade de compostos químicos, contudo representam uma pequena fração dos constituintes dos materiais lignocelulósicos. Santos (2008) afirma que muitos extrativos são identificados e suas funções na árvore são bem compreendidas, podendo atuar como fonte de energia, protetores contra organismos xilófagos, catalisadores da biossíntese de alguns componentes e sendo responsáveis por características organolépticas da madeira. Segundo o mesmo autor, são substâncias formadas a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteroides, resinas ácidas, resina, ceras e outros compostos orgânicos, existindo na forma de monômeros, dímeros e polímeros.

Segundo Klock *et al.* (2013), os extrativos ocorrem na casca, folhas e acículas, flores, frutos e sementes e quase sempre as quantidades nessas partes da árvore são proporcionalmente maiores que na madeira. Mesmo diante do baixo peso molecular quando comparados a outros componentes químicos, os extrativos podem influenciar na escolha da madeira para um determinado fim (SANTOS, 2008).

Essas substâncias influenciam na ignição da biomassa e no poder calorífico do material (MÉSZÉROS *et al.*, 2007; TELMO LOUSADA, 2011). Segundo Bianchi; Trugilho (2014), altos valores de poder calorífico são encontrados em extrativos solúveis em álcool e benzeno, podendo variar de 6.500 kcal/Kg à 8.500 kcal/Kg, o que é explicado pela relação positiva de carbono e hidrogênio existente em sua estrutura.

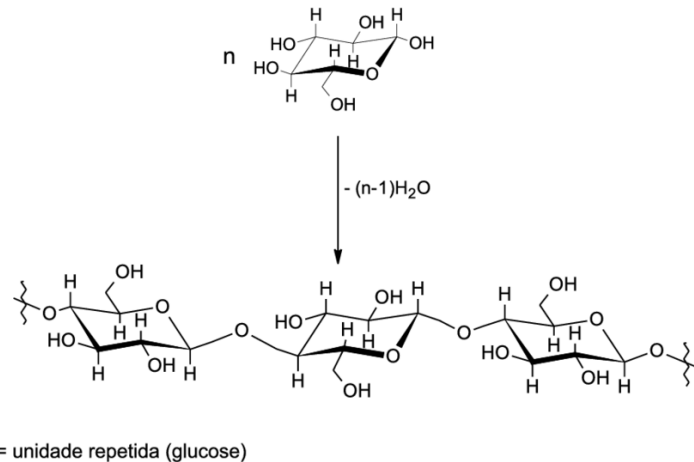
2.4.2. Holocelulose

A holocelulose corresponde a fração de materiais lignocelulósicos composta por celulose e outros polissacarídeos, denominados hemicelulose.

2.4.2.1. Celulose

Segundo Klock *et al.* (2013), a celulose é o componente majoritário dos materiais lignocelulósicos, sendo responsável por cerca da metade dos constituintes químicos presentes nesse material. É considerado o polissacarídeo mais abundante da natureza. O teor de celulose aumenta com o amadurecimento de plantas. É considerado um polímero de alto peso molecular, variando de 300.000 à 50.000 g/mol (SANTOS, 2008).

É caracterizada por ser um polímero linear, com sua cadeia constituída por apenas um açúcar. As moléculas de glicose que constituem a celulose são unidas por uma ligação glicosídica, considerada um tipo de ligação covalente, constituindo assim a β -D-glicose, tendo sua fórmula química representada por $C_6H_{10}O_5$ (Figura 3). Ao longo das células, as moléculas da celulose se distribuem no formato de fibras em feixes.



n = unidade repetida (glucose)

Figura 3: Formação da cadeia de celulose pela união de unidades de β -D-glicose.

Fonte: Morais *et al.*, (2005).

A celulose confere uma rigidez na parede celular das células dos vegetais. É considerada uma matéria prima importante para a indústria, sendo utilizada principalmente para a produção de papel. A extração desse polímero, e sua consequente transformação em papel, estão entre as principais atividades econômicas do Brasil (KLOCK *et al.*; 2013).

2.4.2.2. Hemicelulose

Hemicelulose ou polioses, refere-se a mistura de polímeros e polissacarídeos, os quais possuem cadeia curta e ramificações. Esses constituintes são associados a lignina e celulose, com baixo peso molecular podendo variar de 25.000 a 35.000 g/mol. (KLOCK *et al.*; 2013)

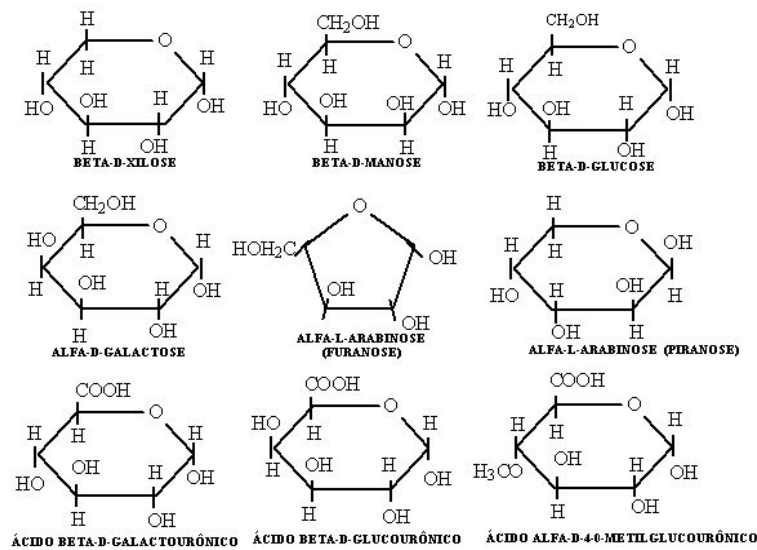


Figura 4: Principais tipos de monômeros de polioses.

Fonte: MORAIS et al; (2005).

Balloni (2009) afirma que as hemiceluloses são compostas basicamente por xilanas (formada pela polimerização de anidro de pentose) e glucomanas (formada pela polimerização de anidro de pentose). Algumas hemiceluloses são bastante encontradas em árvores que sofreram algum tipo de injúria ou estresse. Os teores desse constituinte variam de acordo com a espécie, posição do lenho e até mesmo pode ser considerada uma característica particular de cada árvore.

Segundo Santos (2008), afirma que as polioses (ou hemiceluloses) é um termo que não designa um composto químico definido, mas sim uma classe de componentes poliméricos. Devido ao fato de não apresentar uma região cristalina, é um composto facilmente atingido por produtos químicos e elevadas temperaturas. Tem função de reserva de carbono, defesa, sustentação e transporte de nutrientes na planta (CRIVELLARI, 2012).

2.4.3. Lignina

Segundo Oliveira (2015), a lignina é uma importante e abundante macromolécula dentre os materiais lignocelulósicos. É terceira estrutura de maior abundância e possui uma estrutura bem diferenciada dos polissacarídeos. É caracterizada por ser uma estrutura tridimensional, com regiões amorfas, hidrofóbicas, ramificada e sendo classificada como um polifenol, sendo constituído por unidades aromáticas de fenilpropano (Figura 5).

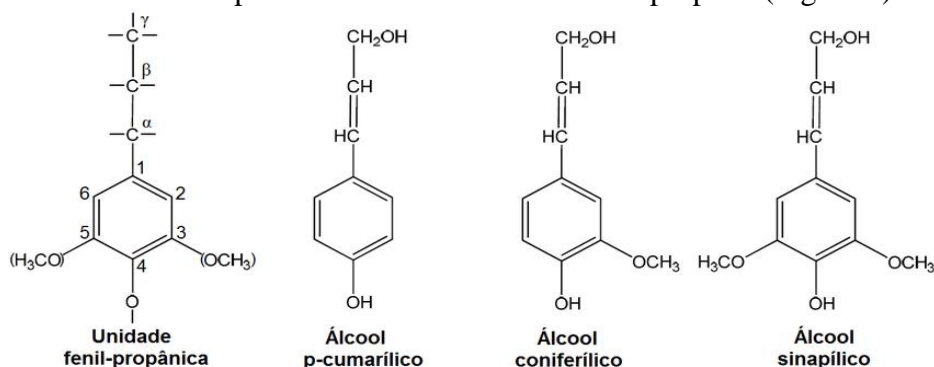


Figura 5: Percursos da biossíntese da lignina.

Fonte: Novo (2012).

A lignina é localizada na lamela média ou parede secundária. É o último componente na parede a ser incorporado, interpenetrando as fibrilas. (KLOCK *et al* 2013). Segundo Novo (2012), a interpenetração desse composto tem a função de enrijecer a parede celular, o que em concomitância é responsável pela resistência mecânica dos vegetais. Além disso, é responsável pelo transporte de água, nutrientes e metabólicos que tornam a parede hidrofóbica.

Segundo Brito & Barrichelo (1977), biomassas com maiores percentuais de lignina possuem um poder calorífico maior. Esse fato ocorre devido ao fato desse composto apresentar uma alta relação positiva entre o carbono e hidrogênio em sua estrutura, além de apresentar um baixo grau de oxidação e alto calor de combustão (GODOY, 2016).

2.5. Poder Calorífico

O poder calorífico é definido como “à quantidade de energia liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de um combustível” (QUIRINO, 2003), sendo a sua unidade joule por grama (J g⁻¹) ou quilo joule por quilograma (kJ kg⁻¹). Zambrzycki (2018), afirma o poder calorífico pode ser dividido em Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI), os quais são dependentes da consideração se o calor é liberado pela condensação da água de constituição existente na biomassa.

O PCS acontece quando se tem uma combustão com volume constante, em que a água gerada nesse processo é condensada tendo a possibilidade de recuperar esse calor perdido (BRIANE & DOAT, 1985). Quando se trata do PCI, Jara (1989) afirma que é a energia disponível por unidade de massa de combustível, sendo após a perda de evaporação da água.

O uso da biomassa como fonte energética leva em consideração as características físicas e químicas do material, uma vez que as mesmas interferem no rendimento do produto no processo de combustão. A análise e acompanhamento de variáveis como teor de umidade, teor de cinzas, voláteis e percentual de carbono fixo são essenciais para que se eleve a eficiência do material, tornando-o competitivo frente a outras fontes de energia (BRAND, 2007).

2.6. Análise Química Imediata

De acordo com Brito *et al.* (1978), a análise química imediata fornece o percentual de matéria que se queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo), além de dar uma indicação do material residual (cinzas), além de obter informações sobre a umidade do material. A importância de analisar essas variáveis está relacionada com a classificação da biomassa, caracterização e influência no poder calorífico.

Os materiais voláteis possuem a capacidade de se dissiparem de forma rápida durante o processo de combustão, ocasionando um menor tempo de queima, o que contribui para uma baixa eficiência energética. Segundo Zambrzycki (2018), o percentual de material volátil afeta na ignição. Mendes *et al.* (1982), afirma que esse material influencia de forma positiva no poder calorífico quando é constituído basicamente por hidrogênio.

Já o percentual de carbono fixo está relacionado com a fração que não é eliminada no aquecimento na ausência de ar, gerando uma relação direta com o poder calorífico, aumentando o tempo de queima da fonte energética (BERSCH, 2016). Bridgwater (2004), afirma que a lignina interfere no carbono fixo, sendo a mesma considerada a maior responsável pela sua formação.

A combustão da biomassa em altas temperaturas, na obtenção de cinzas, indicando o conteúdo de minerais óxidos presentes na biomassa, em suas mais diferentes formas. Segundo Pereira (2000), o teor de cinzas varia de 0,5% a 5%, sendo dependente do percentual de casca, quantidade de terra e areia agregadas à madeira. Elevados teores de cinza geram como consequência uma redução no poder calorífico, pois esse material não participa da combustão, sendo considerados indesejáveis em qualquer tipo de combustível (BRAND, 2010).

A umidade afeta de forma indesejada o transporte, devido aos custos, o armazenamento, a secagem, a manipulação da biomassa e o poder calorífico (CHARLTON *et al.*, 2009; EVERARD *et al.*, 2012; VALE *et al.*, 2011). Essa influência negativa é explicada pelo fato de parte da energia ser liberada no processo de saída de água, na vaporização da mesma. Além disso, caso o conteúdo seja bastante variável, terá como necessidade constantes ajustes no sistema (BRITO, 2007).

2.7. Densidade

A densidade é um dos mais importantes fatores na avaliação da qualidade de um material lignocelulósico, pois a mesma está relacionada com diversas características do material (SOUZA *et al.*, 1946).

Existem diversas formas de avaliar a densidade para uma determinada destinação do material. A densidade a granel é muito importante, uma vez que quando se trata de material de formatos irregulares, fornece informações úteis para a logística de transporte, pois leva em consideração os espaços vazios formados pela irregularidade do material. Além disso, é utilizada para o cálculo da densidade energética. Já a densidade verdadeira é aquela que não levam em consideração a porosidade do material (ANDRADE, 2017).

Pereira (2000), afirma que o material de origem lignocelulósica que apresentar maiores densidades possuirá maiores vantagens para o uso energético, pois terá: menor área de estocagem e manuseio da madeira; maior rendimento energético no transporte e maior rendimento das caldeiras para queima direta da madeira.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta e preparo do material para as análises

O estudo foi realizado no município do Rio de Janeiro, cidade do estado do Rio de Janeiro, localizada entre as coordenadas geográficas 22° 54' 13" de latitude sul e 43° 12' 35" de longitude oeste de Greenwich, em uma altitude de 20m.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi coletado na estação de transferência da COMLURB localizada no bairro do Caju, o material proveniente dos resíduos da arborização urbana, madeira vindas dos Resíduos de Construção Civil (RCC) e resto de embalagens fabricados a partir de pallets (como caixotes de feira) gerados pelo município do Rio de Janeiro. A coleta foi realizada nos meses de agosto a outubro de 2019, sendo o material denominado mix.

O material foi processado no pátio da estação de tratamento por um equipamento de origem alemã modelo EDGE TRM516 usado para fazer a fragmentação e peneiramento (Figura 6). A amostragem do material lenhoso (mix) foi realizada de acordo com as diretrizes da NBR 10.007 (ABNT, 2004), que trata da amostragem de resíduos sólidos.



Figura 6: Picador modelo EDGE TRM516, localizado na Estação de Transferência do Caju – COMLURB.

Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro.

Após a coleta do material, o mesmo foi encaminhado para a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e seco a temperatura ambiente por 72 horas. Após a secagem, o material foi moído em um moinho de martelos e em seguida utilizando-se um moinho de faca do tipo Willey foi convertido à serragem (Figura 7).



Figura 7: Resíduos lignocelulósicos processados. Sendo: a) Material proveniente do moinho de martelo; e b) Material proveniente do moinho de facas.

3.2. Composição Química

3.2.1. Quantificação dos extrativos

Na extração, empregou-se o aparelho de Soxhlet utilizando-se 20,0g do mix. O material foi acondicionado em um cartucho confeccionado com papel filtro e colocado dentro do tubo de extração. O solvente foi colocado em um balão de 1000 ml. O tempo de extração para cada solvente, sendo eles hexano, acetato de etila e metanol, foi de 12h ininterruptas. As análises foram feitas em triplicata.

Logo após esse período, o balão de vidro contendo o material solúvel, foi concentrado em um rotavapor. Os concentrados foram transferidos para um recipiente até a completa evaporação do solvente em temperatura ambiente (ABREU *et al.*, 2006). Dessa forma, o valor de extrativos será realizado a partir da diferença do peso do frasco vazio e do frasco com o extrativo após secagem na capela. Para o cálculo do teor de extrativos, foi usada as seguintes fórmulas.

$$TEp = \left(\frac{MFC - MFS}{MM} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que:

TEp = teor de extrativo parcial (%);

MFC = massa do frasco com extrativo (g);

MFS = massa do frasco sem extrativo (g)

MM = massa de madeira no cartucho antes do processo de extração (g).

A obtenção do teor de extrativo total foi feita a partir do somatório dos teores parciais, como mostra a equação 2.

$$TEt = TEch + TEae + TEMet \quad (2)$$

Em que:

TEt = teor de extrativo total (%);

TEch = teor de extrativo obtido por ciclo hexano;

TEae = teor de extrativo obtido por acetato de etila;

TEmet = teor de extrativo obtido por metanol.

3.2.2. Determinação da holocelulose

A determinação da holocelulose foi realizada utilizando-se amostras livre de extrativos resultantes do processo anterior. Nesta fase colocou-se 2,5g do mix dentro de um Erlenmeyer de 250 ml. Foram adicionados 80 mL de água destilada, 0,5 mL de ácido acético e 1g de clorito de sódio (80%). Esta mistura foi mantida em banho-maria à uma temperatura de 70°C, sendo que a cada 1 hora efetuou-se a adição de 0,5 mL de ácido acético e 1g de clorito de sódio. As amostras permaneceram neste sistema por 4 horas.

Após o período de 24 horas a solução foi filtrada à vácuo, utilizando um funil de placa sinterizada (previamente pesado). As amostras foram lavadas com água destilada e em seguida levado para estufa por 24 horas. Depois de seca, será feita a pesagem do funil com a holocelulose. Para obtenção do teor de holocelulose foi aplicada a seguinte fórmula (ABREU *et al.*, 2006).

$$\%Holocelulose = \frac{PRS}{PA} * 100 \quad (3)$$

Em que:

PRS = Peso seco da amostra do resíduo de holocelulose (mg)

PA = Peso da amostra do mix utilizada (mg)

3.2.3. Determinação da lignina de Klason

Para a determinação do teor da Lignina de Klason, foi utilizada a amostra livre de extrativos. Para a determinação da lignina insolúvel colocou-se no tubo de ensaio 0,3 g do

mix e 3 mL de ácido sulfúrico 72%. Agitou-se a mistura por um minuto e deixou em repouso por uma hora. Após essa 1 hora, Transferiu-se o material para um balão volumétrico e foi adicionado 84 mL de água destilada. A mistura ficou em refluxo por 4 horas. Para lavar o resíduo, utilizou-se aproximadamente 500 mL de água destilada quente. O resíduo lavado foi para estufa por 24 horas, até secar. Para obtenção do teor de lignina foi aplicada a seguinte fórmula: (ABREU *et al.*, 2006).

$$\%Lignina = \frac{PRS}{PA} * 100 \quad (4)$$

Em que:

PRS = Peso seco da amostra do resíduo de lignina (mg)

PA = Peso da amostra do mix utilizada (mg)

3.3. Umidade

O teor de umidade para o material lignocelulósico foi determinado pelo método da norma ABNT NBR 14929:2003, em que se aplica a seguinte equação:

$$\% Umidade = \left[\frac{(PU-PS)}{(PS)} \right] * 100 \quad (5)$$

Em que:

PU = peso da massa úmida;

PS = Peso final da amostra seca e estabilizada;

3.4. Análise Química Imediata

3.4.2. Teor de voláteis

O teor de voláteis foi determinado de acordo com as normas ASTM (2007) para análise imediata de madeira (D- 1762-84). Primeiramente o forno do tipo mufla foi aquecido a 950°C e juntamente os cadinhos com o material utilizados para a determinação da umidade são pré aquecidos da seguinte forma: Com a porta aberta são aquecidos por 2 minutos com temperatura de cerca de 300°C e posteriormente direcionados para a borda do forno por 3 minutos com temperatura de cerca de 500°C. Com a porta da mufla fechada e com as amostras direcionadas para a parte traseira do forno, elas ficam por 6 minutos. Foi observado pelo orifício do forno a existência da presença de faíscas, caso fosse possível essa observação, repetiria o procedimento pois os resultados estariam errados.

Após a realização do procedimento e passando o tempo estimado, o material foi levado para o dessecador por 1 hora para o seu resfriamento e posteriormente pesado. Para obtenção do teor de voláteis é utilizada a seguinte equação:

$$\% Voláteis = \left(\frac{A-B}{B} \right) * 100 \quad (6)$$

A = peso da amostra após secagem a 105°C;

B = peso da amostra após secagem a 950°C.

3.4.3. Teor de cinza

O teor de cinzas foi determinado através da norma ASTM D-1762-84 (2007), a qual utilizou-se os cadinhos, com peso conhecido, contendo o material volátil utilizada para a análise anterior. Os mesmos foram tampados e encaminhados para o forno tipo mufla à 750°C por 6 horas. Após o tempo estimado o material foi levado para o dessecador por 1 hora para o seu esfriamento. Efetuou-se a pesagens dos cadinhos e os valores aplicados na seguinte equação:

$$\% \text{ Cinzas} = \left[\frac{(PZ-PC)}{(PI-PC)} \right] * 100 \quad (7)$$

Em que:

PC = peso do cadinho vazio e tampado;

PI = peso inicial da massa volatilizada com o cadinho tampado;

PZ = peso do cadinho tampado com as cinzas.

3.4.4. Carbono fixo

A quantidade de carbono fixo foi determinada por diferença entre a soma dos teores (%) de umidade, matéria volátil e cinzas e 100%, através da norma ASTM D1762-84 (2007), sendo esse cálculo exemplificado na equação 9.

$$\% \text{ Carbono Fixo} = 100\% - \% \text{ Voláteis} - \% \text{ Cinzas} \quad (8)$$

3.5. Análise do Poder Calorífico

A determinação do poder calorífico superior foi feita de acordo com a Norma ABNT/NBR 8633/84 (Carvão Vegetal Determinação do Poder Calorífico).

Neste procedimento 0,70g da amostra absolutamente seca foram colocadas em uma bomba calorimétrica isotérmica modelo IKA C200, para análise do Poder Calorífico Superior - PCS a ser liberado pela amostra. Para cada amostra, foram feitas 2 repetições seguindo a metodologia de utilização proposta por Takeshita & Júnior (2017).

A transformação dos valores do PCS para Poder Calorífico Inferior (PCI) foram realizadas utilizando o modelo matemático a seguir. O percentual de hidrogênio presente no material como 6% (BRITO, 1993).

$$PCI = PCS - 600 * \frac{9H}{100} \quad (9)$$

Em que:

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal kg⁻¹ ou J kg⁻¹);

PCS = Poder Calorífico Superior (kcal kg⁻¹ ou J kg⁻¹);

H = teor de hidrogênio do material (%).

Grande parte dos sistemas de utilização da biomassa para a produção de energia não secam o material abaixo de 10% de umidade, portanto o poder calorífico que melhor se

aproxima da realidade é o Poder Calorífico Útil (PCU), derivado do PCI, e que considera um dado teor de umidade (U), sendo calculado com base na equação a seguir (VALE *et al*, 2000).

$$PCU = PCI(1 - U) - 600U \quad (10)$$

Em que:

PCU = Poder Calorífico Útil (kcal kg⁻¹ ou J kg⁻¹);

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal kg⁻¹ ou J kg⁻¹);

U = Umidade (%).

3.6. Determinação de contaminantes sólidos não combustíveis em biomassa

3.6.1. Preparação do material

Em uma estufa a 103±2°C foram colocados 200g do material estudado, in natura, por 4 horas. Em seguida, o material é retirado e com o auxílio do dessecador é esfriado para que possa ser moído, visando obter uma quantidade de 50g na peneira de 16 mesh e 40 mesh sendo o mesmo separado e identificado como Biomassa Original – BO.

Para a biomassa residual, utilizou-se o material peneirado na fração 16 mesh e 40 mesh. Essas amostras foram colocadas em um béquer de 250 mL contendo previamente 200 mL de água destilada. O material foi agitado por 1 minuto e mantido em repouso por 2 minutos. Em seguida a serragem que se encontrava sobrenadante ao líquido foi recolhida e colada em estufa até permanecer com a massa constante, o material foi esfriado em um dessecador e posteriormente identificado como Biomassa Lavada – BL, sendo esse conteúdo isento de contaminantes externos, que não agregam na combustão (ANDRADE, 2017).

3.6.2 Determinação de Teor de Não Combustíveis Totais (NCT), Teor de Não Combustíveis Originais (NCO) e Teor de Não Combustíveis Adquiridos (NCA).

Para a determinação do teor de não combustíveis, deve ser empregado a Norma ABNT NBR 13999:2003 - Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira — Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C.

O procedimento descrito na norma é realizado para a Biomassa Original - BO. O resultado proveniente dessa análise é denominado Teor de Não Combustíveis Totais – NCT.

Para obtenção do Teor de Não Combustíveis Originais – NCO é utilizada a mesma metodologia descrita anteriormente, contudo utiliza-se o material identificado como Biomassa Lavada – BL.

Para o cálculo do Teor de Não Combustíveis Adquiridos – NCA e Taxa de Contaminação Externa - TCE é aplicado as seguintes equações proposta por Brito & Ceribelli (2012):

$$NCA (\%) = NCT (\%) - NCO(\%) \quad (11)$$

$$TCE (\%) = \frac{NCA (\%)}{NCT (\%)} \quad (12)$$

Em que:

NCA = Teor de Não Combustíveis Adquiridos;
NCT= Teor de Não Combustíveis Totais;
NCO = Teor de Não Combustíveis Originais;
TCE = Taxa de Contaminação Externa.

3.7. Determinação da Massa Específica

3.8.1. Densidade a granel

Para determinação da densidade a granel, utiliza-se a Norma ABNT NBR 6922: 1981 de forma adaptada para material lignocelulósico, a qual direciona para uma coleta representativa do material na forma bruta. É realizado uma inspeção, espalhando em uma superfície o mix para a retirada de materiais estranhos, como terra, após isso, é acoplada em uma caixa com paredes rígidas com dimensões de 600x600x600 milímetros e com peso conhecido, a fim de não deixar espaços vazios. Para o cálculo da densidade a granel é utilizada a seguinte equação:

$$D = \frac{M2-M1}{V} \quad (13)$$

Em que:

M1 = Massa da caixa vazia (Kg);

M2 = Massa da caixa cheia (Kg);

V = Volume da caixa (m³);

D = Massa específica (Kg/m³).

3.8.2. Densidade energética

Para a determinação da densidade energética, realizou-se a multiplicação do poder calorífico útil (PCU) e densidade a granel (ANDRADE, 2017).

3.9. Análise Estatística

Os dados foram analisados aplicando a estatística descritiva, a fim de se obter a média, desvio padrão e coeficiente de variação dos valores absolutos encontrados nas análises realizadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 apresenta os teores dos componentes químicos encontrados no material estudado.

Tabela 3: Teores de extrativos totais, holocelulose e lignina Klason (%)

| Estatística | Extrativos Totais | Holocelulose | Lignina Klason |
|--------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
| Teor médio (%) | 1,52 | 68,00 | 26,67 |
| Desvio Padrão | 0,135 | 1,744 | 1,925 |
| Coef. Variação (%) | 8,896 | 2,564 | 7,217 |

Os resultados referentes ao teor de extrativos encontrados para o mix de materiais lignocelulósicos provenientes do ambiente urbano da cidade do RJ obtiveram um teor médio de 1,52%. Esse valor se aproxima dos percentuais de extrativos totais contidos nas madeiras de folhosas, que giram em torno de 2% a 3% (ALBINO *et. al*, 2010).

Contudo, o valor obtido neste trabalho foi 2,3% menor do que encontrado por Pereira (2017), para os cavacos de *Eucayptus urophylla*, o qual possui uma boa qualidade para geração de energia (NOGUEIRA *et. al*; 2014).

Em um estudo sobre resíduos de eucalipto para fins energéticos, encontrou teores de extrativos entre 12-16%, sendo o percentual do mix urbano bastante inferior. Dessa forma, o teor de extrativos totais é baixo para propiciar uma colaboração para o poder calorífico, uma vez que essas substâncias possuem em suas moléculas conteúdos considerados energéticos, os quais são liberados durante a combustão. (TEIXEIRA *et. al*, 2016)

O teor de holocelulose encontrado para o mix de materiais lignocelulósicos provenientes do ambiente urbano da cidade do RJ foi de 68%, valor similar ao encontrado por Pereira (2016) para cavacos de eucalipto, vegetal muito utilizado para geração de energia.

Maiores teores de holocelulose geram menores PCS e PCI, o que é elucidado pelo fato desse componente químico ser menos estável termicamente, fazendo com que não haja contribuição para o aumento do poder calorífico (PROTÁSIO *et al.*, 2012).

Em relação ao teor de lignina do material estudado, obteve-se um valor de 26,67%. Esse valor é superior ao percentual de lignina encontrado para folhosas, o qual varia de 15% - 24%. Esse componente químico tem a capacidade de proporcionar uma queima mais lenta de combustível, o que é consequência da sua resistência térmica (SANTOS, 2012).

Quando se trata de lignina, Tavares & Santos (2013) afirmam que devido a uma estrutura rica em carbono e hidrogênio, são os elementos que produzem calor. Esse componente químico tem mais poder calorífico, o que elucidada sua influência positiva para geração de energia.

A tabela 4 apresenta os resultados proveniente da análise química imediata do material de estudo, de teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas e suas respectivas variações estatísticas.

Tabela 4: Teores de cinzas, carbono fixo e materiais voláteis.

| Estatística | Cinzas | Carbono Fixo | Materiais Voláteis |
|--------------------|---------------|---------------------|---------------------------|
| Teor médio (%) | 4,9 | 18,3 | 76,8 |
| Desvio Padrão | 0,005 | 0,006 | 0,011 |
| Coef. Variação (%) | 9,989 | 3,221 | 1,401 |

O teor médio de materiais voláteis foi de 76,8% (tabela 4), valor esse semelhante ao encontrado por Rocha *et al* (2004) para resíduo agrícola e por Souza *et al* 2012 e Silva *et al* 2016 para resíduos de madeiras tropicais, o qual possuía um teor médio de 84,40% e 81,85% respectivamente.

Já para madeira, o percentual de voláteis obtidos nessa pesquisa foi similar ao de *Pinus taeda* (SOUZA *et al*, 2012 e SILVA *et al*; 2016).

Vale ressaltar que materiais voláteis afetam a ignição, uma vez que maior será a reatividade. Dessa forma, esse teor interfere em quanto a biomassa queima (KLAUTAU, 2008; VIEIRA, 2012). Dias Júnior *et al* (2014), afirma também que esse material é essencial para quando se necessita de presença de chamas no processo de combustão.

Já em relação ao carbono fixo o percentual foi de 18,3% (Tabela 4), valor superior aos encontrados para resíduos madeireiros de origem urbana *in natura* e similar aos percentuais

obtidos para resíduos de soja, materiais estes que se destacam para geração de energia. (WERTHER *et al.*, 2000; ANDRADE, 2017).

Castro *et al.* (2017) obteve 12,40% de teor de carbono fixo para cavacos de eucalipto, sendo o mix residual urbano com percentual mais elevado do que dessa biomassa importante no setor energético.

Santos (2013), afirma que o carbono fixo é um grande contribuinte de fonte energética, uma vez que aumenta a energia durante a combustão e o rendimento energético nos fornos.

O teor médio de cinzas para os resíduos lignocelulósicos urbanos foi de 4,9%, valor este superior ao encontrado por para *Eucalyptus* sp. e para resíduos madeireiros de origem urbana (RMOU). (PEREIRA *et. al.*; 2013; ANDRADE *et al.*; 2017)

Um elevado teor de cinzas contribui para uma diminuição da eficiência, aumento do consumo de oxigênio para que elas possam derreter e pela perda de calor com a saída das cinzas do reator (HOFFMANN, 2010). Além disso, sabe-se que as cinzas contribuem para entupimento e incrustações por escórias no equipamento (VIEIRA, 2012).

No estudo de Dias Júnior *et al.* (2017) foi possível observar que ao misturar os RMOU com lascas de madeira de eucalipto obteve-se uma redução de 3,09% do percentual de cinzas sendo essa uma possível alternativa para diminuição desse teor.

Em relação ao teor de umidade, o mesmo foi de 12%. Na tabela 5 estão apresentados os resultados de poder calorífico, densidade a granel e densidade energética para o material.

Tabela 5: Valores de poder calorífico, densidade a granel e densidade energética à 12% de umidade.

| Estatística | PCS (kcal/kg) | PCI (kcal/kg) | PCU (kcal/kg) | DG (kg/m ³) | DE (kcal/m ³) |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|---------------------------|
| Média | 4581 | 4264 | 4258 | 92 | 391379 |
| Desvio Padrão | 153,62 | 144,02 | 143,86 | 11,22 | 40821 |
| Coef. Variação (%) | 3,35 | 3,38 | 3,38 | 12,20 | 10,43 |

Em que: PCS= Poder Calorífico Superior; PCI=Poder Calorífico Inferior; PCU= Poder Calorífico útil; DG= Densidade a Granel; DE= Densidade Energética.

O poder calorífico superior (PCS) foi de 4581 kcal/kg (Tabela 5), possui superior ao encontrado por Souza *et al.* (2016) para resíduos de poda urbana do município de Piracicaba – SP.

Além disso, quando avalia-se o poder calorífico superior de diferentes biomassas usadas para geração de energia, como o bagaço de cana, lenha, casca de arroz, eucalipto e sabugo de milho, observa-se os seguintes resultados 2127 kcal/kg, 3097 kcal/kg, 4009kcal/kg, 4402 kcal/kg e 4534 kcal/kg respectivamente, nota-se que o valor do PCS do mix lignocelulósico estudado é superior (VIEIRA, 2012).

Em relação ao Poder Calorífico Inferior dos resíduos lignocelulósicos urbano do Rio de Janeiro igual a 4264,13 kcal/kg (Tabela 5), o mesmo foi superior ao encontrado por Visotto (2012) para resíduos florestais. Essa diferença pode ser ocasionada pela pequena fração dos RCC e embalagens incorporada na amostra estudada.

Quando relaciona-se o PCI do material estudado com resíduos madeireiros de origem urbana *in natura*, observa-se que apresenta valores similares, uma vez que para RMOU, encontrou-se resultado variando entre 4167 kcal/kg à 4369 kcal/kg. Já para madeira, o valor do poder calorífico inferior foi superior ao encontrado para *Eucalyptus* spp. madeira muito utilizada para fins energéticos. (ANDRADE, 2017; QUIRINO *et al.* 2005).

O valor de poder calorífico útil (PCU), à 12% de umidade, encontrado para o mix urbano foi de 4258 kcal/kg. Pereira *et al.* (2016) obteve o valor de 3706 kcal/kg para cavacos de eucalipto, sendo este inferior ao encontrado para o material em estudo.

A obtenção da densidade a granel foi obtida a fim de calcular a densidade energética (DE), uma vez que se relaciona à energia contida em um dado volume de madeira (JESUS, 2017). A DE do material estudado foi de 391.379 kcal/m³, sendo esse valor inferior ao encontrado por Andrade (2017) para RMOU, o qual variava de 837.232 kcal/m³ à 1070829 kcal/kg. Essa diferença de valor é resultado da baixa densidade a granel do material, visto que possui formato irregular, o que proporciona espaços vazios. Esse baixo valor pode ser explicado pela metodologia de análise do material ser inadequada, visto que a mesma é comumente usada para carvão e não resíduos lignocelulósicos.

A figura 8 expressa os valores médios encontrados para teores de cinzas totais de cinzas do material lignocelulósico, de cinzas de contaminantes e taxa de contaminação externa.

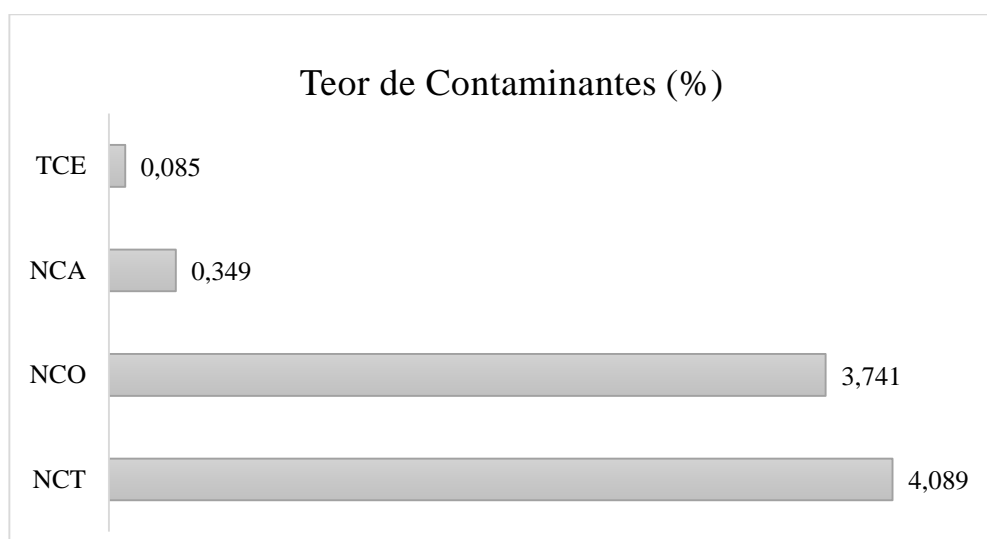


Figura 8: Teor de contaminantes dos resíduos lignocelulósicos urbanos do Rio de Janeiro. Em que: NCT = Teor de Não Combustíveis Totais; NCO= Teor de Não Combustíveis Originais; NCA = Teor de Não Combustíveis Adquiridos; TCE= Taxa de Contaminação Externa.

A taxa de contaminantes encontrada na biomassa foi de 0,085% (Figura 8), valor este muito baixo quando comparado à outros estudos. Essa afirmativa pode ser explicada por grande parte do material ser de origem lignocelulósica, não tendo a presença de contaminantes como metais, concreto, argamassa, ceras, papéis de parede, óleos, vernizes e colas, os quais são verificados nessa análise. (SCOTLAND, 2004)

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados pode-se concluir:

- Os valores de lignina, holocelulose, poder calorífico superior, poder calorífico inferior, poder calorífico útil, materiais voláteis e carbono fixo foram satisfatórios para geração de energia.

- Os valores de densidade energética e teor de extrativos totais foram inferiores a outros materiais usados para fins energéticos.
- Em relação ao teor de cinzas, o mesmo se mostrou superior ao de outros materiais com destaque energético, necessitando avaliar formas de reduzir esse percentual.
- O material em questão possui potencial para geração de energia, contudo, é recomendado a realização de novas metodologias e análises para melhor elucidar essa afirmação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil** - 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2016/>>. Acesso em: 20. Set. 2019.

ABREU, H. S.; CARVALHO, A. M.; MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; SILVA, H. R.; SOUZA, K. C. A.; AMPARADO, K. F.; CHALITA, D. B. Métodos de análise em química da madeira, **Floresta e ambiente**, 2006, 20p.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. influências das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 803-811, out./dez. 2010.

AMARAL, D. H. **Potencial de uso da biomassa florestal na geração de energia térmica e elétrica pela indústria do estado do Rio de Janeiro**. 2019. 93 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. **D 1762 – 84**, 2001 (2007).

ANDRADE, C. R. **Tratamento térmico da madeira contida nos resíduos sólidos urbanos visando sua adequação para uso energético**. 2017. 85f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

ANDRADE, C. R.; DIAS JUNIOR, A. F.; BRITO, J. O.; et al. Waste Wood of Urban Origin for Energy Use. **Revista Árvore**, v. 41, n. 2, p. 1–8, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira – Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°. Rio de Janeiro; 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9165**: Carvão vegetal. Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Rio de Janeiro; 1985.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro; 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, ABNT, 2004. 25p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**: Carvão vegetal - ensaios físicos -determinação da massa específica do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1981. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal - determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003.

BALLONI, C. J. V. **Caracterização Física e Química da Madeira de Pinus Elliotti**. Itapeva: Universidade Estadual Paulista, 2009. 42 f.. Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

BERSCH, Aline Patricia. **Caracterização energética da madeira de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus* sp.** 2016. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.

BIANCHI, M.; TRUGILHO, P. F. Caracterização elementar, química e energética de resíduos de *Manilkara huberi* (maçaranduba) do estado do Pará. **XIV EBRAMEM -Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira**. Natal. Dezembro 2014.

BIDONE, F.A.; **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização.** 2001. Disponível em:<<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/prosabbidonefianal.pdf>>. Acesso em 27 out. 2019.

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

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem.** 2007. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

BRASIL, Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Diário Oficial da União, Brasília, nº 147. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm>. Acesso em: 22 de out.2019.

BRASIL. MINISTÉRIO do Meio Ambiente. Portal Eletrônico **Portal Eletrônico**. Brasília: disponível em < <https://www.mma.gov.br/>>. Acessado em Set 2019.

BRIANE, D.; DOAT, J. Guide technique de la carbonisation: la fabrication du charbon de bois. Aix-en-Provence, **ÉDISUD**, 1985. 180p.

BRIDGWATER A.V.; MANIATIS, K. The production of Biofuels by the Thermochemical Processing of Biomass. Archer MD, Barber J. **Molecular to Global Photosynthesis**. IC Press, p.521-612, 2004.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. **Congresso florestal Panamericano**, 7, 1993, Curitiba, Anais...Curitiba, p.280-82, 1993.

BRITO, J. O. **O uso energético da madeira. Estudos Avançados**, v.21, n.59, p. 1-9, 2007.

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**, v. 14, n. 14, p. 9–20, 1977. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr14/cap01.pdf>>. .

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SILVICULTURA, D. DE. **Características do eucalypto como combustível: análise química imediata da madeira da casca**, v. 16, p. 63–70, 1978.

CASTRO, E. M. S. 1,2; FONTOURA, L. A. M.; PRIEBE, G. P. S; de SOUZA G; Estudo da utilização de casca de arroz, cavaco de eucalipto e aparas de couro para a geração de energia via co-combustão. **V Congresso Brasileiro de Carvão Mineral**; Criciúma - SC – Brasil, 2017

CASTRO, H. F. **Apostila: Processos Químicos Industriais II - PAPEL E CELULOSE**. Eel - Usp, p. 30, 2009. Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>>. .

CHALUPPE, M. A. C. **Análise da Implantação do Projeto “Valorização dos Resíduos Sólidos Orgânicos no Município de Florianópolis Através do Beneficiamento dos Resíduos de Podas”** Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2013. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC

CHARLTON, A. et al. The biorefining opportunities in Wales: Understanding the scope for building a sustainable, biorenewable economy using plant biomass. **Chem. Eng. Res. Des.** v. 87, p.1147–1161, 2009.

CRIVELLARI, Augusto Cesar. **Caracterização estrutural das hemiceluloses de paredes celulares de cana-de-açúcar**. 2012. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/D.41.2012.tde-10102012-084959. Acesso em: 2019-11-17

DIAS JUNIOR, A. F., ANUTO, R. B., ANDRADE, C. R., SOUZA, N. D. D., TAKESHITA, S., BRITO, J. O., & NOLASCO, A. (2017). Influence of Eucalyptus wood addition to urban wood waste during combustion. **Cerne**, 23(4), 455-464.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; COSTA JÚNIOR, D. S. Caracterização de briquetes produzidos com resíduos agroflorestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 225-234, 2014.

EVERARD, C. D. et al. Prediction of biomass gross calorific values using visible and near infrared spectroscopy. **Biomass Bioenerg.** v. 45, p. 203-211, 2012.

FAO. **Global population dynamics.** Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>>. Acesso em: 17 jul. 2019.

GODOY, J. F. A. **Resíduos de floresta tropical para a produção de biomassa como fonte de energia.** 2016. 36 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso, Mato Grosso, 2016.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: Impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503–1510, 2012.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo.** 2010. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) PPGPE, UFRJ, Rio de Janeiro: 2010

IBGE. **IBGE – Projeção da população.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 17 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, PNSB -2008. Rio de Janeiro: IBGE; 2010.

JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: **Intituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT**, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

JESUS, M. S., COSTA, L. J., FERREIRA, J. C., FREITAS, F. P., SANTOS, L. C., & ROCHA, M. F. V. (2017). **Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*.** *Floresta*, 47(1), 11-16.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos.** 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2008.

KLOCK EN, U.; ANDRADE, A. S. DE; HERNANDEZ, J. A. **Química da Madeira.** p. 86, 2013. Disponível em: <<http://marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf>>. .

MEIRA, A. M. DE. **Gestão de resíduos da arborização urbana.** Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, p. 179, 2010.

MENDES, M. G.; GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Produção e utilização do carvão vegetal.** Belo Horizonte: **CETEC**, 1982. p. 76-89.

BRASIL, M. M. A. "Ministério do Meio Ambiente." Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: 21 de novembro de 2019.

MORAIS, S. A. L. DE; NASCIMENTO, E. A. DO; MELO, D. C. DE. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I: estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 461–470, 2005.

NOGUEIRA, E. W., BISPO, C. J. C., FRANCO, D. S.. Potencial de utilização do eucalipto para geração de energia no município de Paragominas/PA, Brasil. **4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**. Brasil - Bento Gonçalves – RS, Brasil, 23 e 25 de Abril de 2014.

NOVO, Lísias Pereira. **Determinação da relação dos parâmetros de solubilidade de Hansen de solventes orgânicos com a deslignificação organossolve de bagaço de cana-de-açúcar**. 2012. Dissertação (Mestrado em Físico-Química) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. doi:10.11606/D.75.2012.tde-17042012-170249. Acesso em: 2019-11-17.

OLIVEIRA, F. DE C. **Oxidação de lignina proveniente de resíduos lignocelulósicos agroindustriais para obtenção de compostos químicos aromáticos de maior valor agregado.**, p. 199, 2015.

PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis** 2013, 41, 2017

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: **EMBRAPA Florestas**, 113p. (EMBRAPA Florestas. Documentos, 38, 2000.

PEREIRA, M. P. D. C. F., COSTA, E. V. S., PEREIRA, B. L. C., CARVALHO, A. M. M. L., CARNEIRO, A. D. C. O., & COSTA, A. (2016). Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 36(87), 269-275.

PREFEITURA DO RIO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2014.

PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; NEVES, T. A.; VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, 2012b.

QUIRINO, W. F., VALE, A. T., ANDRADE, A. P., ABREU, V. L. S., & AZEVEDO, A. D. S. (2005). Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, 89(100), 100-106.

QUIRINO, W.F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA, 2003, 14p

ROCHA, J. D.; PÉREZ, J.M. M.; CORTEZ, L.A.B. **Aspectos Teóricos e Práticos do Processo de Pirólise de Biomassa**. Curso —Energia na Indústria de Açúcar e Alcool UNIFEI, Itajubá, 12-16 de julho de 2004.

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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.

SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis** 2013, 41, 2017.

SANTOS, J. R. S. **Estudo da biomassa torrada de resíduos florestais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2012.

SARTO, C.; SANSIGOLO, C. A. Cinética da remoção dos extrativos da madeira de *Eucalyptus grandis* durante polpação Kraft. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 32, n. 3, p. 227–235, 2010.

SCOTLAND, Remade. Woodwaste arisings in Scotland: assessment of available data on Scottish woodwaste arisings. Remade Scotland, Glasgow Caledonian University, Glasgow, **United Kingdom**, 2004.

SEMITELA, Leandro Cesar Silva. **Viabilidade do uso do bagaço de cana para geração de energia.** Rio de Janeiro: UFRJ. 2018. 105 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica – UFRJ.

SILVA, P. D. **Avaliação do processo de adensamento de resíduos de poda de árvore visando o aproveitamento energético: o caso do campus da USP na capital.** Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

SOUZA, N. R. D; ALENCAR, L. S; MAZZONETTO, A. W. Potencial energético do resíduo das podas de árvores no município de Piracicaba – SP. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 31, n.3, p.237-245, 2016.

SOUZA, V. R; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Instituto de Pesquisas Florestais**, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP. USP. n. 4192, p. 65-72, ago 1946.

TAKESHITA, S., & DIAS JÚNIOR, A. F. **Guia prático de instalação e utilização de Bomba Calorimétrica modelo Ika C200.** 2017

TAVARES, S. R. L., & SANTOS, T. E. (2013). Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **Holos**, 5, 19-27.

TEIXEIRA, C. M., MARTINS, M. P., YAMAMOTO, H., CHRISOSTOMO, W., & YAMAJI, F. M. (2016). Caracterização Química de Resíduos de *Eucalyptus* sp. de Floresta de Curta Rotação para a Produção de Bioenergia. **Revista Virtual de Química**, 8(5).

TELMO, C.; LOUSADA, J. The explained variation by lignin and extractive contents on higher heating value of wood. **Biomass & Bioenergy**, v.35, n.8, p.1663-1667, 2011.

VALE, A. T. et al. Energy potential of biomass and charcoal of *Jatropha curcas* peel and pie. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 267-273, 2011.

VALE, A. T., BRASIL, M. A. M., CARVALHO, C. M., VEIGA, R. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, v.6, n.1, p.83-88, 2000.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.

VISSOTTO, J. P., MAZZONETTO, A. W., NEVES, R. C, SÁNCHEZ, E. M. S., SÁNCHEZ, C. G. **Caracterização de Pinus, Eucaliptus, Casca de Eucaliptus e Resíduos Florestais e de Destoca para fins energéticos** CONEM, Congresso Nacional de Engenharia Mecânica 2012. São Luís 2012.

WIECHETECK, M. "Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos." Projeto PNUD BRA 00/20-Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental, Curitiba (2009).

ZAMBRZYCKI, G. C. **Potencial energético de biomassas residuais e atributos de solos em ambientes agrícolas e florestais**. 2018. 168 f., il. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, 2018.