

## **O ENSINO E APRENDIZAGEM POR MEIO DE AULAS PRÁTICAS NO CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA: DISCIPLINA LABORATÓRIO DE ENERGIA 1**

**Grazielli Bueno**  
Instituto Federal do Paraná – Campus Assis Chateaubriand  
grazielli.bueno@ifpr.edu.br

**Gabriella Ritter Gonçalves de Oliveira**  
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina  
gabriellaritter12@gmail.com

**Marcelo Augusto de Lima Santana**  
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina  
maugustosan@gmail.com

**Natália Izabel Neumann Jorge**  
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina  
nataliainjorge@gmail.com

**Karine Cristine Paulino dos Anjos**  
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina  
kahcpanjos@gmail.com

**Adriana Ferla de Oliveria**  
Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina  
adrianaferla@ufpr.br

### **RESUMO**

No Brasil, os cursos de Engenharia, em suma maioria, apresentam grades curriculares com conteúdo teórico. Uma modalidade que torna o processo de ensino-aprendizagem atrativa para o estudante, são as aulas práticas, que auxiliam na compreensão de conteúdos extensos e, muitas vezes, de complexo atendimento. O presente artigo objetiva apresentar as contribuições das aulas laboratoriais relacionadas a Biocombustíveis Sólidos na disciplina de Laboratório de Energia I, do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina. Realizou-se experimentos de caracterização físico-química e energética de pellets comerciais de *pinus* e os resultados referentes a experiência de ensino aprendizagem relatada neste evento. Como resultados verificou-se que ao realizar os procedimentos práticos realizados, o grupo pode discutir com o docente sobre os conceitos adquiridos durante as aulas teóricas, ou seja, retomar e relacionar os conceitos e conteúdo trabalhado na disciplina teórica de Biocombustíveis sólidos. Por fim, notou-se maior interação entre professor-aluno, além do desempenho na participação das práticas, o que levou a melhor compreensão dos conceitos vistos em sala de aula.

**Palavras-chave:** Aulas experimentais; Biomassa; Laboratório; Pellets.

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) – Setor Palotina tem característica transversal nas subáreas de conhecimento que abrangem o tema Energia, abordadas por Engenharias como: Elétrica, Mecânica e Química. O curso compreende várias disciplinas específicas, teóricas e práticas na área de Biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos, Energia Hidráulica, Energia Eólica, Energia Solar Térmica, Energia Solar Fotovoltaica e Tecnologia do Hidrogênio, pensando na formação de um profissional que atenda as demandas na área (UFPR, 2022).

A disciplina de Laboratório de Energias I do 7º período que trata de experimentos relacionados a biocombustíveis sólidos e gasosos, tem como uma das disciplinas base Biocombustíveis Sólidos, disciplina teórica que é ministrada no 6º período do curso (UFPR, 2022). Ao trabalhar com Biocombustíveis sólidos em laboratório, a aula expositiva pode utilizar a matéria de origem orgânica ou vegetal (resíduo agroflorestral, plantas aquáticas, dejetos de animais, resíduos urbanos e outros resíduos usados para produção industrial de energia, combustíveis, químicos e materiais (KAMM, *et al.* (2006)), resultante direta ou indiretamente da fotossíntese.

A prática no ensino de engenharia, tem como objetivo melhorar a aprendizagem do conteúdo científico, por mostrar que recorrentemente os estudantes apreendem o conteúdo teórico exposto em sala de aula, contudo não conseguem visualizar a aplicação prática de forma recorrente (CARNEIRO *et al.*, 2019). Assim, as aulas expositivas podem ser incrementadas com aplicação didática prática, tornando a sala de aula um espaço privilegiado para articulação entre teoria e prática (ADAMS; TEIXEIRA, 2017).

Neste contexto de aliar teoria e prática, aulas em laboratório tem a função de promover a prática referente ao conteúdo que foi abordado durante as aulas teóricas, ou seja, trazer os conceitos na forma de experimentos, apresentando o valor de um laboratório como fonte essencial para o desenvolvimento pedagógico do educando (CRUZ, 2007). Ainda, de acordo com Krasilchik (2008), as aulas práticas têm como principais funções despertar e manter o interesse dos alunos, a compreensão de conceitos básicos, desenvolver a capacidade de resolver problemas e fazer com que o estudante se envolva em investigações científicas de forma que possa ampliar suas habilidades.

Nas áreas da engenharia, são encontrados diversos desafios, no qual Furtado (2013) relata que no que abrange o ensino-aprendizagem é a aplicação prática dos conhecimentos

adquiridos nos componentes curriculares, que contribui para que os estudantes tenham uma formação de acordo com o que é postulado nas Diretrizes Curriculares Nacionais para o ensino de graduação em engenharia, no qual o Conselho Nacional de Educação descreve que:

O formado precisa ter formação generalista, humanista, crítica e reflexiva, capacitada a absorver e desenvolver novas tecnologias e seus aspectos políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais, com visão ética e humanística, para atender as demandas da sociedade (FURTADO, 2013).

No ano de 2018, após reunião da comissão Conselho Nacional de Educação, Mobilização Empresarial pela Inovação da Confederação Nacional da Indústria (MEI/CNI) e Associação Brasileira de Educação em Engenharia (ABENGE), foi elaborada uma proposta para novas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Engenharia e Agronomia do país, tendo como ponto de vista que os cursos devem se tornar mais atrativos, com maior número de atividades práticas, organização mais flexível e focada em inovação (DIAS; GRIGOL, 2019).

Pesquisas desenvolvidas na área da mecânica, como a de Guedes *et al.* (2014) e Melo (2004), apresentaram que o processo de aprendizagem por meio de práticas, fez com os estudantes se tornassem reflexivos, e menos acomodados, por terem que ter pensamento crítico e a partilhar opiniões, além de terem que utilizar a criatividade durante a atividade no laboratório.

Nesse sentido, como forma de divulgar a importância das aulas práticas no ensino superior, o presente trabalho foi redigido por alunos da disciplina de Laboratório de Energias I com supervisão da docente responsável pelas práticas referentes a Biocombustíveis Sólidos, com o objetivo de apresentar as contribuições das aulas práticas no processo de ensino-aprendizagem de forma simples, didática, visual e experimentada, no qual são observados o interesse e o desempenho de estudantes em uma instituição de Ensino Superior em relação de atividades práticas desenvolvidas ao longo de um semestre.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

A disciplina de Laboratório de Energia I possui carga horária total de 45 horas/aula, sendo ministrada em 3 horas/aula semanais, objetivando fornecer aos acadêmicos os conhecimentos práticos fundamentais para produção e caracterização de biocombustíveis sólidos e gasosos. Como objetivos específicos, visa que o estudante desenvolva habilidade de explicar e aplicar conceitos aprendidos na teoria à produção e caracterização físico-química e

energética destes biocombustíveis. Dessa forma, este trabalho trata sobre a contribuição da parte experimental referente a biocombustíveis sólidos para o desenvolvimento de habilidades de executar experimentos com segurança, tratar adequadamente os dados e apresentar os resultados.

Dentre as biomassas utilizadas para gerar energia, tem-se o combustível da madeira ou dendrocombustível, podendo ser utilizado em forma de toras, toletes, briquetes, pellets, carvão vegetal, entre outros. Para melhor aproveitamento dos resíduos da madeira, Rezende *et al.* (2014) relata que a serragem apresenta propriedades como biodegradabilidade e combustibilidade, e uma das maneiras de se fazer uso é na forma de pellets.

Os pellets já são considerados um dos maiores produtos de biomassa sólida comercializados internacionalmente. De acordo com Garcia (2017) os pellets de madeira possuem baixo teor de umidade, permitindo elevada densidade energética, que se traduz em eficiência térmica nas conversões energéticas, tem geometria regular e cilíndrica permite fluidez e facilitando a automatização de processos, comerciais e industriais, é um produto de fácil manuseio, transporte e ocupa pouco espaço na armazenagem. Por estes motivos, e por serem objeto de estudo em pesquisas de trabalhos de conclusão de curso, mestrado e doutorado, optou-se em utilizar o pellet comercial de *pinus* como biocombustível base nas aulas práticas propostas.

No Brasil, ainda não há uma norma brasileira que estabelece as diretrizes, características e regras para os pellets. Assim, no ano de 2019 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) instalou a Comissão de Estudos de Pellets (CEE-242), que tem como objetivo desenvolver uma norma técnica para pellets produzidos com resíduos de madeira, entre outras matérias-primas, e a aplicação como biomassa, no que se refere à terminologia, classificação, requisitos, métodos de ensaio e generalidades (APRE, 2019). Desse modo, os estudos que envolvem parâmetros técnicos quanto a pellets, são elaborados com base em normas internacionais.

## 2.1 EXPERIMENTOS EM BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Química Orgânica e no laboratório de Análise Instrumental e Controle de Qualidade da Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina. As matérias-primas utilizadas para o presente trabalho foram a serragem e pellets de madeira *in natura*, que foram coletados em uma empresa localizada no município de Toledo-PR. Foram seis práticas, a saber:

1. Preparo de amostras para análise química e energética: quartamento de amostra, moagem em moinho de facas (Wiley) e classificação granulométrica (peneiras 40 – 60 mesh) - (WASTOWSKI, 2018);

2. Teor de umidade (método estufa), obtido pela Equação 1: Secagem em estufa a  $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  - NBR: 14929 (ABNT, 2004);

$$\text{Teor de umidade (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde o *Teor de umidade (%)* é o teor percentual de umidade (em % de massa),  $m_1$  é a massa da amostra úmida (em gramas) e  $m_2$  é a massa da amostra seca (em gramas).

3. Determinação da densidade à granel e aparente dos pellets - ÖNORM M 7135 (ASI, 2000); DIN 52182 (DIN, 1976); NBR 6922 (ABNT, 1981) e EN 15103 (CEN, 2005a);

4. Análise imediata: adota-se análise imediata para carvões e madeiras de alta densidade – método ASTM (D-3.172 - 3.175) (SÁNCHEZ, 2012);

4. Torrefação ou *Mild Pyrolysis* (Pirólise Suave): processo de pré-carbonização, o qual se desenvolve justamente na fase endotérmica da pirólise, realizada a temperatura de  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ; (PROTASIO *et al.*, 2015);

5. Processo de carbonização (Pirólise lenta): consiste no aquecimento da madeira ou biomassa, a temperaturas acima de  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  e inferior a  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ ; empregou-se temperatura  $450 \text{ }^\circ\text{C}$  (PROTASIO *et al.*, 2012);

6. Determinação do poder calorífico superior (PCS) em bomba calorimétrica automática da marca IKA, modelo C5000 - ASTM D5865 – 10 (ASTM, 2010).

## 2.2 COLETA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização das práticas os resultados foram tabulados e discutidos. Nesse momento os estudantes compararam os resultados com aqueles encontrados na literatura e fizeram as discussões.

## 3 RESULTADOS, DESAFIOS E APRENDIZADO

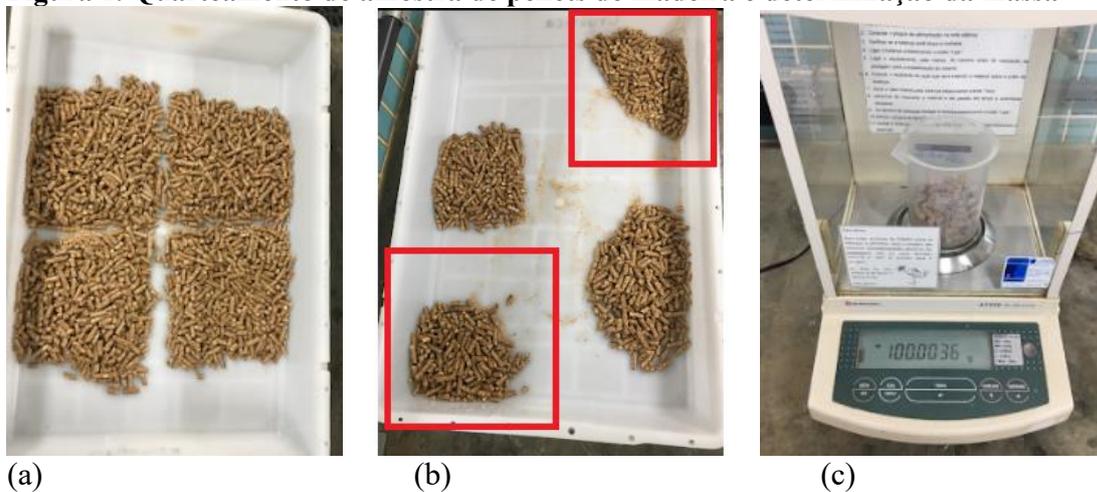
### 3.1 RESULTADOS EM BIOCOMBUSTÍVEIS SÓLIDOS

A prática 1 foi dividida em três atividades, as quais possibilitaram aplicar métodos

usados em laboratórios de combustíveis sólidos, sendo esta amostragem e quarteamento, moagem e determinação de massa de pellets de madeira. Dessa forma, possibilitando que os estudantes utilizassem técnicas, equipamentos e vidrarias e tivessem a percepção de grandezas, metodologias, além de desenvolver a atenção, que evita que erros primários.

O quarteamento de amostra foi efetuado em uma bandeja (Figura 1 (a)), no qual se divide em 4 partes a amostra, logo após são retiradas 2 partes opostas (Figura 1 (b)). Isso ocorreu até que se tivesse 100 gramas de amostra (Figura 1 (c)). Para a prática foram 5 quarteamentos da amostra.

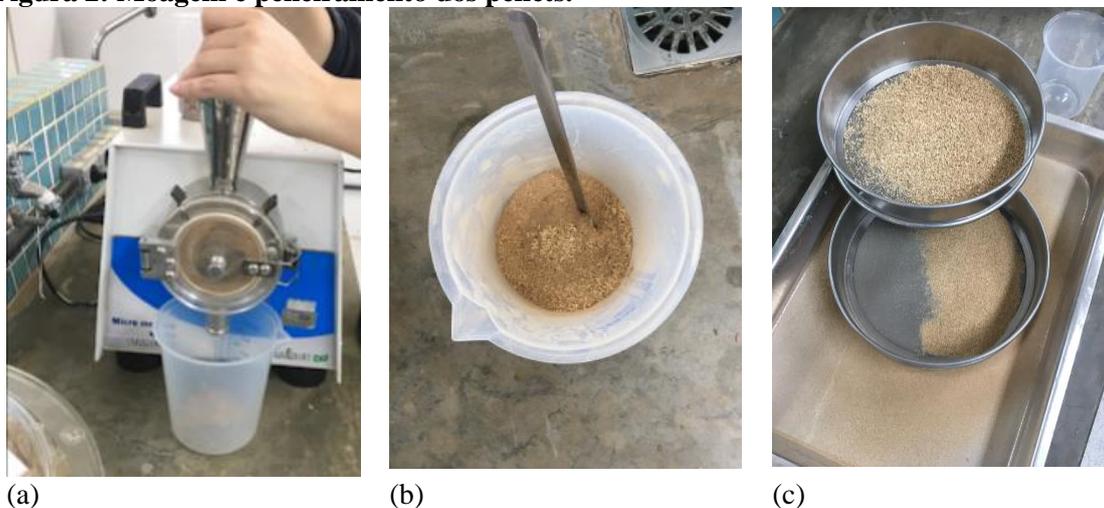
**Figura 1: Quarteamento de amostra de pellets de madeira e determinação da massa**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os pellets foram moídos (Figura 2 (a) e (b)) e peneirados (Figura 2 (c)) para a classificação granulométrica nas peneiras 40 e 60 *mesh*.

**Figura 2: Moagem e peneiramento dos pellets.**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Na prática 2 o teor de umidade foi determinado em triplicata. Os pellets foram secos em estufa a temperatura de  $105 \pm 3$  °C por 24h para determinação do teor de umidade.

Durante o experimento, reforçou-se conceitos adquiridos na disciplina de Química Geral Experimental, sendo essas medidas de grandezas, a utilização de equipamentos como estufa e mufla. Além disso, durante a prática observar quais as precauções de segurança devem ser analisadas ao fazer uso de um equipamento e vidrarias em alta temperatura.

O teor de umidade calculado foi de 9,11%, 9,74% e 9,05%. Segundo Garcia et al. (2013) para se ter uma eficiência de combustão elevada, o teor de umidade deve ser baixo (menor que 10%).

Na prática 3 determinou-se a densidade aparente e a densidade a granel. Foram coletados aleatoriamente 40 pellets e a massa e as dimensões determinadas com um paquímetro. A densidade aparente foi determinada dividindo-se a massa pelo volume. A massa foi obtida em balança analítica e o volume calculado a partir das dimensões dos pellets. Para a densidade a granel utilizou-se uma proveta de 1L, a qual foi preenchida com pellets até a indicação do volume de 1L. Com o auxílio de uma balança de precisão de 0,01g obteve-se a massa. A densidade a granel foi obtida através da razão entre a massa e o volume.

Para se quantificar o volume de produtos com formas irregulares, a determinação da densidade a granel é importante, por fornecer informações que podem ser úteis para a logística e transportes (GARCIA *et al.*, 2013).

A densidade a granel calculada foi de  $1,12 \text{ g/cm}^3$ , no qual pode-se verificar e aprender de forma experimental sobre diferentes graus de compactação, distintos tamanhos que influenciam no armazenamento do pellet, e ainda a quantidade de energia encontrada em uma pequena unidade de volume.

A análise imediata foi realizada na Prática 4, onde determinou-se o teor de umidade, materiais voláteis, cinzas e carbono fixo para os pellets *in natura*.

Na prática 5 foi realizada a torrefação dos pellets a temperatura de 300 °C e na prática 5 foi realizada a carbonização a 450°C. Utilizou-se um reator cilíndrico com aquecimento em mufla elétrica conectado a um sistema de condensação para coleta do líquido pirolenhoso e os gases foram liberados no ambiente (Figura 3).

**Figura 3: Sistema de pirólise**



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria Própria (2022)

(a) Mufla com reator, (b) Tubo de conexão reator - sistema de condensação, (c) Sistema de coleta do líquido pirolenhoso.

A quantidade de líquido pirolenhoso produzido foi de 42,90 gramas na torrefação (Figura 4). Pode-se verificar a importância de sistemas de pirólise com coleta do líquido pirolenhoso utilizado na indústria carboquímica para produção de solventes, vernizes. Ainda, Vieira (2019) relata que na literatura o extrato pirolenhoso tem variadas aplicações, dentre essas, a utilização como fungicida, herbicida e inseticida em culturas orgânicas, e insumo na indústria farmacêutica.

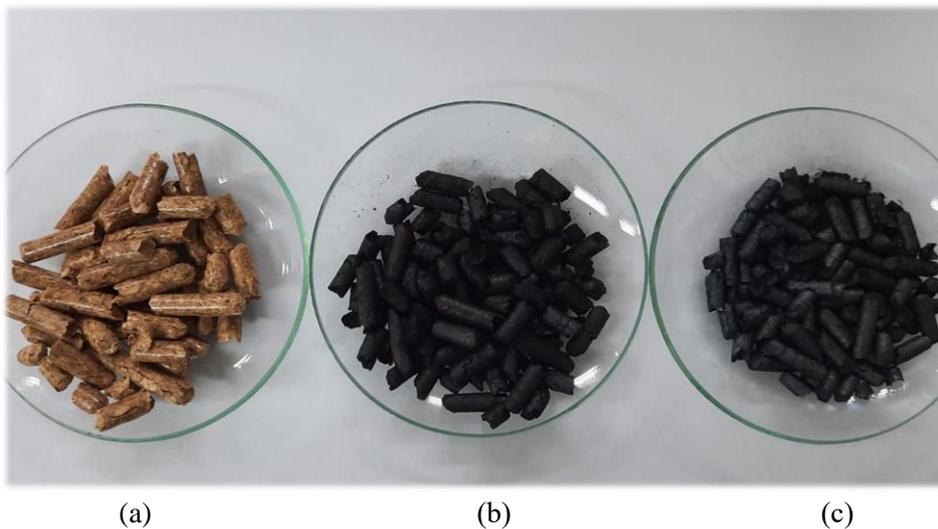
**Figura 4: Líquido pirolenhoso produzido na torrefação**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os pellets antes dos processos de pirólise (Figura 6 (a - Pellets *in natura*)), os torrificados e os carbonizados (Figura 6 (b - Pellets torrificados) e 6 (c – Pellets carbonizados)) podem ser vistos.

**Figura 6: Pellets antes e após pirólise.**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Com os resultados obtidos, pode-se aplicar os conceitos ministrados pelo docente em sala de aula, no qual observou-se os aspectos físicos (como granulometria e massa dos pellets), químicos, teor de umidade, materiais voláteis, a formação e quantificação de materiais inorgânicos (cinzas), mostrados na Tabela 1.

**Tabela 1: Valor médio dos resultados obtidos com pellets de *pinus***

	Umidade	Voláteis	Carbono	Cinzas
Amostras	(%)	(%)	(%)	(%)
In natura	8,53	85,41	12,47	1,06
Torrado	2,50	45,03	51,50	3,51
Carbonizado	3,19	10,90	83,75	5,58

Fonte: Autoria Própria (2022)

A pré-carbonização (250 a 300 °C), que é a fase endotérmica, em que se degrada a hemicelulose, ácidos acéticos, ácidos fenólicos. Os parâmetros que podem influenciar a torrefação são a taxa de aquecimento, pressão, matéria-prima utilizada e granulometria. O objetivo da carbonização dos pellets é fazer com que o estudante conheça o processo de carbonização, verificando as alterações físicas e químicas causadas pela pirólise.

Na aula prática 6 teve-se a oportunidade de realizar a determinação do poder calorífico superior em bomba calorimétrica automática.

**Figura 7: Bomba calorimétrica.**



Fonte: Autoria Própria (2022)

Ao executar as práticas no laboratório, no qual o professor permitiu que os alunos desenvolvessem o processo de aprendizagem em equipe, identificando a integração da teoria e da prática, o que contribui para o desenvolvimento de competências das áreas técnicas de Biocombustíveis sólidos. Com isso, promovendo o questionamento e habilidades de resolução de problemas, propiciando que se desenvolva o senso crítico e postura científica.

## 5 CONCLUSÕES

Observa-se que os estudantes na área de Engenharia de Energia, ao participarem das atividades práticas, buscaram discutir e desenvolver aptidões, como o trabalho em equipe, liderança, aplicar metodologias que foram expostas na teoria. Além disso, conhecer os equipamentos e materiais que são utilizados em laboratórios, e o métodos de segurança em laboratório a ser aplicados, para que não ocorra um acidente, ou que possa danificar as vidrarias, os equipamentos e o experimento. Dessa maneira, ao participar e observar a dinâmica da prática, o aluno tende a compreender a relação entre o didático e o real. Com isso, vindo a melhorar sua formação como engenheiro, agregando conhecimento para entrada no mercado de trabalho.

Nesse contexto, a contribuição do processo de ensino-aprendizagem por meio de aulas práticas no ensino superior, se mostra como uma ferramenta dinâmica, visto que os alunos se mostraram interessados, desempenhando as atividades com autonomia, tendo o professor como um orientador.

## REFERÊNCIAS

- APRE. Associação Paranaense de Empresas de Base Florestal. **Comissão de Estudos da ABNT irá desenvolver norma técnica para pellets**. Paraná: APRE, 2019. Disponível em: <<https://apreflorestas.com.br/noticias/comissao-de-estudos-da-abnt-ira-desenvolver-norma-tecnica-para-pellets/>>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- ASTM. American Society For Testing And Materials. **D-3172: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke**, Withdrawn, 2007.
- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 6922**. Carvão vegetal - Ensaio físicos - Determinação da massa específica - Densidade a granel. Rio de Janeiro, 1981.
- CARNEIRO, L. S.; VIEIRA, D. S.; GONZAGA, F. R. N.; SANTOS, J. R.; OLIVEIRA, A. M. S. **Uma reflexão acerca da contribuição das aulas práticas no processo de ensino-aprendizagem em fenômenos dos transportes**. In: XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e II Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, Fortaleza -CE, 2019.
- CRUZ, J. B. da. **Laboratórios**. Brasília: Universidade de Brasília, 2007.
- DIAS, R. D.; GRIGOL, R. B. **Educação em engenharia: estudos curriculares e práticas pedagógicas inovadoras**. In: XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e II Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, Fortaleza -CE, 2019.

DIN. Deutsches Institut Für Normung. **DIN 52182**: Testing of wood; determination of density. Berlin, 1976.

FURTADO, A. F. **Um estudo sobre o desafio do ensino de engenharia frente aos problemas econômicos, energéticos e a sustentabilidade**. In: VII Encontro de Pesquisa em Educação, p. 45–58, 2013.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. Caracterização energética de pellets de madeira. **Revista da Madeira**, v. 24, n. 135, p. 14-16, 2013.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G. O. Setor de pellets de madeira no Brasil. **Revista Ciência da Madeira**, v. 8, n. 1, p. 21-28, 2017.

GUEDES, A.; ESTEVES, M. T. S.; MORAIS, C.; SOARES, F.; LEÃO, C. L. Do papel e lápis ao mundo real: estudo de caso no ensino da mecânica de fluidos. In: XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2014, Minas Gerais. **Anais...** Juiz de Fora, 2014.

KAMM, B.; GRUBER, P. R.; KAMM, M. **Biorefineries – Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions**. Weinheim: Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KGaA, v. 1, 2006.

KRASILCHIK, M. **Prática de Ensino de Biologia**. 6.ed. São Paulo: Edusp, 2008.

MELO JR, A. G. A importância dos laboratórios no ensino de engenharia mecânica. In: XXXII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2004, Brasília. **Anais...** Brasília, 2004.

ONORM. Österreichisches Normungsinstitut. **ONORM M 7135**. Compressed wood or compressed bark in natural state - Pellets and briquettes, Requirements and test specifications. Vienna, 2000. 10 p.

PROTÁSIO, T. de P.; BUFALINO, L.; MENDES, R.F.; RIBEIRO, M. X.; TRUGILHO, P. F.; LEITE, E.R. da S. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande PB, v. 16, n. 11, p.1252-1258. 2012.

PROTÁSIO, T. DE P.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; et al. Torrefação e carbonização de briquetes de resíduos do processamento dos grãos de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1252–1258, 2012.

PROTÁSIO, T. D. P.; TRUGILHO, P. F.; DE SIQUEIRA, H. F.; et al. Caracterização energética de pellets in natura e torreficados produzidos com madeira residual de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 435, 2015.

REZENDE, M. B.; LEAL, L. S.; NEVES, L. A. Viabilidade da substituição da serragem por briquetes na queima de tijolos em empresa de Ulianópolis-Pa. 4º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2014, Bento Gonçalves – RS, 2014.

UFPR. Universidade Federal Do Paraná. Sistema de Bibliotecas. Setor Palotina. Curitiba, 2022. Disponível em: <https://palotina.ufpr.br/energiaufpr/>. Acesso em: 16set. 2022.

VIEIRA, W. T. Caracterização cromatográfica e avaliação da atividade antimicrobiana do extrato pirolenhoso obtido a partir de biomassas residuais. 2019. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maceió, 2019.