

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 - DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
Luís Henrique Ligabue Dieter
241948**

*“O gerenciamento de resíduos sólidos provenientes da indústria de celulose CMPC
Celulose Riograndense, com enfoque em “dregs e grits”*

PORTO ALEGRE, maio de 2020.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA**

***“O gerenciamento de resíduos sólidos provenientes da indústria de celulose CMPC
Celulose Riograndense, com enfoque em “dregs e grits”***

**Luís Henrique Ligabue Dieter
241948**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do Grau de Engenheiro
Agrônomo, Faculdade de Agronomia, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Eng.^a Agr.^a Renata Maltz
Orientador Acadêmico do Estágio: Prof.^o Dr. Carlos Gustavo Tornquist

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof. Pedro Selbach Departamento de Solos (Coordenador)
Prof. Alexandre Kessler Departamento de Zootecnia
Prof. José Martinelli Departamento de Fitossanidade
Prof. Sérgio Tomasini Departamento de Horticultura e Silvicultura
Prof. Alberto Inda Departamento de Solos
Prof.(a) Carla Delatorre Departamento de Plantas de Lavoura
Prof. André Luiz Thomas Departamento de Plantas de Lavoura
Prof.(a) Carine Simione Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

PORTO ALEGRE, maio de 2020.

AGRADECIMENTOS

A minha família, meu pai José Gilberto Dieter, minha mãe Iria Ligabue Dieter e irmã Ester Joana Ligabue Dieter, por todo amor e educação que me deram, além de todo incentivo para que continuasse estudando durante todos esses anos. Vocês são parte essencial da minha vida.

A todos os meus amigos da agronomia que durante a graduação dividiram momentos e me ajudaram, em especial a Alexssander, Mateus, Rafael, Larissa, Gabriela e Maiz, além, de todo o pessoal do grupo “Nego Bissa e os Baiteli’s”. Construir essa amizade com vocês, tornou a universidade muito mais prazerosa. Aos meus amigos, que durante quase três anos moraram comigo, Caled Garcês e Lennon Etchegaray, obrigado por serem parceiros na construção de um novo lar, longe da família.

A minha orientadora durante três anos de bolsa Prof. Dr. Nilza Maria dos Reis Castro, pelos inúmeros conhecimentos transmitidos nesses anos, além de todo o carinho e parceria. Aos demais professores e professoras, que estiverem nesses anos contribuindo para a minha formação.

Ao Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist, pela orientação, aulas e auxílio na busca por um lugar para estagiar. A supervisora de estágio Eng. Agr. Renata Maltz, por todos os ensinamentos nesse período e toda a ajuda na construção deste trabalho. São referências de profissionais para mim.

Ao supervisor Flávio; os assistentes operacionais Hans e Marcos; Alejandro, Chico e Felipe do setor de vendas; pela boa convivência durante o estágio, e os inúmeros aprendizados nesse período. A todos os demais funcionários da empresa, em especial aos operadores João e Jean, e o responsável pelo almoxarifado João Jorge. A parceria de vocês foi muito importante.

A empresa Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico que abriu as portas e me recebeu no estágio.

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela educação pública e gratuita de qualidade, que é peça chave para a inclusão social e o desenvolvimento desse país.

RESUMO

A indústria de papel de celulose possui uma expressiva importância econômica para o país, entretanto seus processos resultam em quantidades expressivas de resíduos, que são gerenciados de diferentes formas para que tenham impacto ambiental mitigado. O Estágio Curricular Obrigatório foi realizado na empresa Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico, que presta serviço a CMPC Celulose Riograndense. As atividades foram desenvolvidas nas centrais de tratamento da empresa em Eldorado do Sul - RS. Os principais objetivos deste estudo foram o conhecimento do processo de tratamento realizado pela empresa, avaliá-lo e a fazer a proposição de alternativas para melhora de suas operações. Deste modo, as principais atividades realizadas foram o acompanhamento da rotina de operação de uma central de tratamento, o monitoramento da qualidade agrônômica e ambiental dos resíduos e produtos, tendo como enfoque *dregs* e *grits*. Por fim, foi possível constatar o excelente trabalho da empresa Vida, que consegue valorizar materiais que antes iriam para aterros sanitários, gerando empregos e mitigando impactos ambientais.

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabela 1. Geração mensal de resíduos na indústria de celulose em Guaíba..... | 11 |
| Tabela 2. Produtos agrícolas comercializados pela empresa Vida..... | 11 |
| Tabela 3. Composição química do <i>dregs</i> e <i>grits</i> | 15 |
| Tabela 4. Composição dos <i>dregs</i> e <i>grits</i> da Celulose Riograndense..... | 31 |
| Tabela 5. Garantias dos corretivos de acidez comercializados pela empresa Vida..... | 35 |
| Tabela 6. Testes realizados na peneira móvel com Cinza Calcítica. Produtividade em teste com a nova peneira rotativa adquirida pela empresa..... | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Gráfico de condições climáticas para o município de Eldorado do Sul/RS..... | 9 |
| Figura 2. Croqui do Horto Florestal José Antônio Lutzenberger..... | 12 |
| Figura 3. Algumas etapas de tratamento do lodo. Lodo de ETE em vala de fermentação (A). Secagem de Humoativo em leito de secagem (B). Humoativo em área de polimento (C). A transformação do lodo durante a fermentação anaeróbia (D)..... | 20 |
| Figura 4. Leiras de Compostagem. Dimensão do tamanho das leiras de compostagem da empresa (A). Casca de eucalipto antes e após a compostagem (B)..... | 21 |
| Figura 5. Chegada de <i>dregs</i> na área aberta e remontagem do material..... | 22 |
| Figura 6. <i>Dregs</i> nos leitos de secagem. Sendo descarregado (A). Espalhando-o no leito de secagem (B)..... | 24 |
| Figura 7. <i>Dregs</i> úmido em relação ao seco em forno micro-ondas. <i>Dregs</i> úmido (A). <i>Dregs</i> seco (B). Aspecto do <i>dregs</i> seco em relação ao úmido. Laboratório de controle de qualidade (C)..... | 26 |
| Figura 8. Perda de água (g) em amostras de Cinza Calcítica submetidas a tempos cumulativos de secagem utilizando forno micro-ondas..... | 32 |
| Figura 9. Avaliação ao longo do tempo do teor de umidade em <i>dregs</i> disposto em leitos de secagem da empresa Vida durante o verão. | 33 |
| Figura 10. Gráfico de Capacidade de produção de Cinza Calcítica em condições climáticas diferentes. Cenário 1: Verão normal e inverno com estiagem; Cenário 2: verão chuvoso e inverno normal; Cenário 3: Verão e inverno normal. | 34 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1.INTRODUÇÃO | 8 |
| 2.CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO | 9 |
| 2.1.Caracterização do clima | 9 |
| 3.CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO | 10 |
| 3.1.A prestação de serviços para a Celulose Riograndense e produtos comercializados | 10 |
| 3.2.Centrals de tratamento em Eldorado do Sul | 12 |
| 4.REFERENCIAL TEÓRICO | 12 |
| 4.1.A gestão e tratamento de resíduos no Brasil..... | 13 |
| 4.2.Obtenção de polpa celulósica pelo processo <i>Kraft</i> e a geração de resíduos | 13 |
| 4.3. <i>Dregs</i> e <i>grits</i> - Caracterização, origem, propriedades e destinos. | 15 |
| 4.4.A acidez do solo e os corretivos de acidez | 17 |
| 5.ATIVIDADES REALIZADAS | 19 |
| 5.1.Visita a Celulose Riograndense..... | 19 |
| 5.2.Acompanhamento do processo de tratamento dos resíduos orgânicos nas centrais de tratamento da empresa | 19 |
| 5.3.Acompanhamento do processo de tratamento dos resíduos calcários nas centrais de tratamento da empresa | 21 |
| 5.3.1.Homogeneização e armazenamento do resíduo bruto | 22 |
| 5.3.2.Secagem e homogeneização | 23 |
| 5.3.3.Pavilhão de armazenamento | 24 |
| 5.4.Metodologia para determinação de umidade do <i>dregs</i> por micro-ondas..... | 25 |
| 5.5.Estimativa e planejamento da capacidade de produção de Cinza Calcítica..... | 27 |
| 5.6.Testes de peneira rotativa para Cinza Calcítica..... | 27 |
| 5.7.Outras atividades realizadas | 28 |
| 6.DISSCUSSÃO E RESULTADOS OBTIDOS | 29 |

| | |
|---|----|
| 6.1.Determinação de umidade do <i>dregs</i> por micro-ondas. | 31 |
| 6.2.Tempo de secagem do <i>dregs</i> nos leitos de secagem..... | 32 |
| 6.3.A capacidade de reciclagem anual de <i>dregs</i> e produção de Cinza Calcítica..... | 33 |
| 6.4.Os produtos comercializados | 35 |
| 6.5.Testes com a peneira rotativa | 36 |
| 7.CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 36 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 38 |
| APÊNDICES..... | 43 |
| ANEXOS..... | 44 |

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos gerados na agricultura e indústria possuem diferentes destinos e potencialidades. Um dos setores que possui grande geração de resíduos no Brasil é o setor de celulose e papel, setor este que possui uma crescente importância econômica. Em 2016, no Brasil, havia 7,84 milhões de hectares de reflorestamento (IBÁ, 2017), sendo 5,7 milhões de eucalipto. Do total de reflorestamento, cerca de 34% pertencem às empresas de celulose e papel.

No ano de 2016, a produção total de celulose foi de 18,80 milhões de toneladas (2º maior produtor mundial). O setor da indústria de árvores gerou cerca de 47,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo 33,7 milhões nas atividades florestais, e o restante, cerca de 14,1 milhões, nas atividades industriais (IBÁ, 2017).

No passado, as indústrias de celulose que se instalaram no país faziam o despejo ao ambiente de resíduos sem nenhum tipo de controle ambiental, contando com a omissão dos governos. Conforme os impactos foram sendo evidenciados no meio-ambiente, a sociedade civil, o Estado e o setor privado, foram abrindo espaço para que a causa fosse abraçada por grupos ambientalistas e, posteriormente, empresas que atuassem no gerenciamento de resíduos sólidos. Com o empenho da sociedade e retorno da democracia, a legislação ambiental avançou no país, além disso, certificações mundiais como a FSC (Conselho de Manejo Florestal) e a ISO 14000 contribuíram para a evolução dos processos e diminuições dos impactos gerados por essas empresas. Hoje o setor de celulose e papel se coloca como um dos principais setores que podem contribuir para uma Economia Verde (IBÁ, 2017).

Aliado a essa geração já existente de resíduos, existe uma tendência de expansão do setor de papel e celulose no país devido as condições climáticas, disponibilidade hídrica, solo, terras relativamente baratas adequadas a produção de eucalipto, bem como, uma grande estrutura e mão-de-obra técnica voltada para o setor. Com isso, faz-se provável um aumento na produção de resíduos do setor. Nesse sentido, abre-se um mercado para empresas que trabalham com gerenciamento de resíduos sólidos e profissionais com habilitação técnica necessária para atuar nesta área.

Assim, observando o contexto e o interesse do aluno, o estágio foi realizado na empresa Vida Serviços e Produtos em Desenvolvimento Ecológico, na central de tratamento do Horto José Antônio Lutzenberger, no km 10 da estrada Santa Maria em Eldorado do Sul – RS, no período de 2 de janeiro a 28 de fevereiro de 2020, totalizando cerca de 320 horas.

O objetivo do estágio foi acompanhar a rotina de uma empresa de gerenciamento de resíduos sólidos quanto as operações realizadas nos processos de reciclagem de resíduos a fim

de transformá-los em produtos comercializáveis, principalmente naqueles destinados ao setor agropecuário. Para este trabalho, foi priorizado e detalhado um dos principais resíduos, o *dregs*, desde sua origem no processo industrial, o tratamento até a sua comercialização para uso agrícola como Cinza Calcítica.

Além do acompanhamento dos processos de tratamento, a empresa sugeriu a realização de atividades que pudessem trazer informações mais detalhadas para otimizar e aprimorar seu sistema de produção. Como tal, essas atividades foram fator contribuinte, mesmo que desafiador, para a formação de Engenheiro Agrônomo.

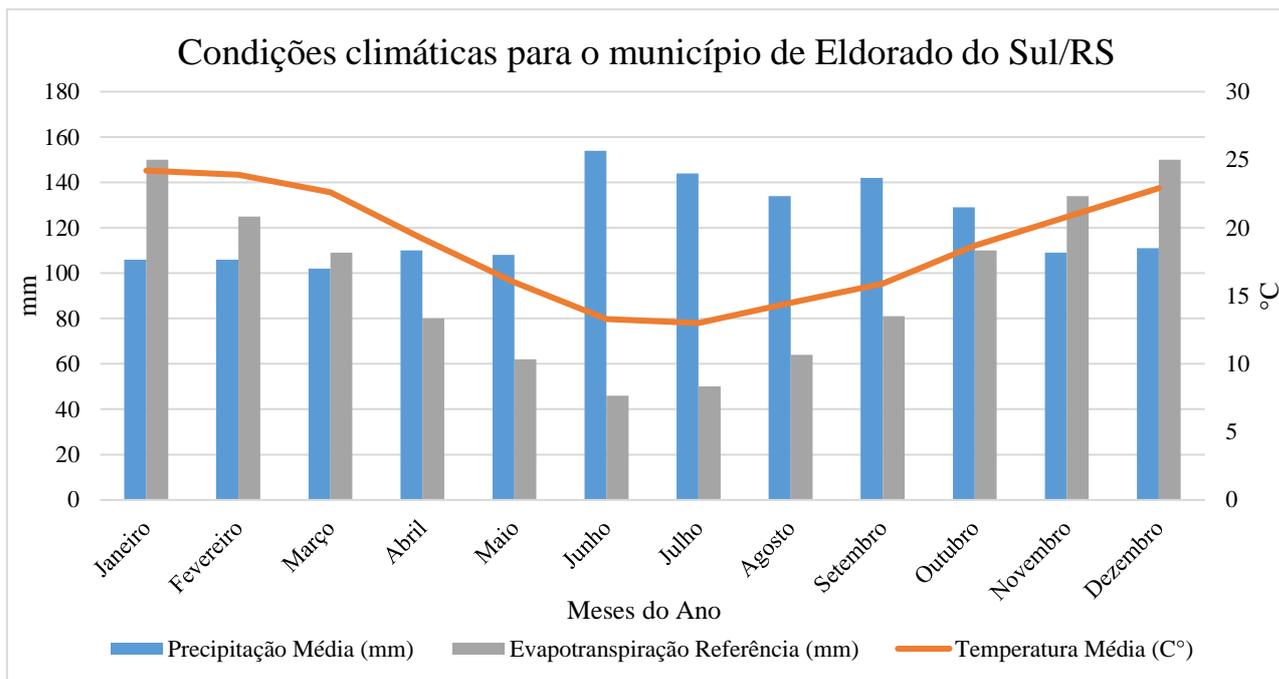
2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO

O estágio foi realizado no município de Eldorado do Sul, que se localiza a 12 km de Porto Alegre, com acessos pela BR-116 e BR-290. Está inserido na mesorregião metropolitana de Porto Alegre, tendo limite com as cidades de Triunfo, Charqueadas, Arroio dos Ratos, Mariana Pimentel, Guaíba e Porto Alegre. O PIB per capita do município foi de R\$ 41.214,19 em 2017 (IBGE), e o índice de desenvolvimento humano municipal de 0,717 (IBGE, 2010), valores semelhantes ao do estado do Rio Grande do Sul, que apresenta PIB per capita de R\$ 37.000 (IBGE, 2017) e IDH de 0,746 (IBGE, 2010). A cidade vem se tornando um polo de instalação de empresas de diversos segmentos, tem atraído investimentos do setor imobiliário devido à proximidade com a capital, a tranquilidade e qualidade de vida. No setor primário se destacam atividades como a orizicultura, a pecuária e os hortifrutigranjeiros.

2.1. Caracterização do Clima

Conforme a classificação de Koeppen, o clima de Eldorado do Sul se enquadra em Cfa, subtropical com verões quentes, as temperaturas são superiores a 22°C no verão e o mês mais seco possui precipitação superior a 30mm de chuva (PESSOA, 2017). Foram utilizados os dados de Bergamaschi (2013), de modo retratar as características mais importantes para as atividades realizadas na empresa em suas centrais de tratamento, como: a precipitação, a temperatura média e a evapotranspiração (Figura 1). Os meses mais chuvosos ocorrem no inverno e primavera, com os meses de verão tendo as menores pluviosidades e maiores evapotranspirações médias.

Figura 1 – Gráfico de condições climáticas para o município de Eldorado do Sul.



Fonte: Adaptado de Bergamaschi (2013).

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

A Vida Produtos e Serviços e Desenvolvimento Ecológico é uma empresa criada em 1979 a partir das ações do ambientalista gaúcho José Antônio Lutzenberger em propor ações ecológicas práticas. A empresa começou o primeiro trabalho com o tratamento de resíduos de acácia para a produção de fertilizantes orgânico. No mesmo ano também foi fundada a Tecnologia Convival – Consultores em desenvolvimento ecológico LTDA, que atuava na área de paisagismo e tratamento de efluentes. Nos anos 80 foram realizadas atividades junto ao setor coureiro calçadista no sentido de maior aproveitamento de insumos e reciclagem de material orgânico. Após, com a pressão social e ambiental sobre a indústria de celulose, na época Riocell, Lutzenberger virou consultor desta empresa e começou a trabalhar com alternativas de tratamento para o lodo de esgoto e os resíduos calcários. Desde então a Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico vem se aprimorando quanto a técnicos, funcionários e tecnologias aplicadas nos seus processos. Hoje conta com mais de 200 funcionários entre as fábricas e as centrais de tratamento de resíduos distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul, da Bahia e do Mato Grosso do Sul.

3.1. A prestação de serviços para a Celulose Riograndense e produtos comercializados

A empresa atualmente presta serviço a Indústria de Celulose CMPC Celulose Riograndense, realizando o trabalho de gerenciar os resíduos sólidos do processo de fabricação de celulose. A empresa trabalha desde a coleta dos resíduos dentro da fábrica, o transporte destes até as unidades de tratamento em Eldorado do Sul, ou realizando a comercialização direta daqueles resíduos que podem ser assim destinados. Por mês, são gerados os seguintes montantes de resíduos sólidos que são encaminhados para as centrais de tratamento em Eldorado do Sul, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Geração mensal de resíduos na indústria de celulose em Guaíba.

| Resíduo | Geração Mensal em 2019 (t) | Destinação |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Lodo de ETE | 12631 | Produção de Fertilizante Orgânico |
| <i>Dregs e grits</i> | 9795 | Produção de Corretivo de Acidez |
| Casca de Eucalipto | 5754 | Produção de Substrato para plantas |
| Lama de Cal | 2715 | Produção de Corretivo de Acidez |

Fonte: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2007, 2013).

Além dos resíduos sólidos enviados para as centrais de tratamento, outros destinos são dados, como o encaminhamento para empresas que usam os resíduos como matéria prima em seus processos, empresas de reciclagem, empresas que fazem a destinação de resíduos perigosos.

Os produtos comercializados pela empresa e produzidos a partir dos resíduos descritos nesse trabalho, são: a Cinza Calcítica, o Humosolo®, Humoativo® e o Substrato para Plantas Casca de Eucalipto Compostada, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Produtos agrícolas comercializados pela empresa Vida.

| Produto comercial: | Cinza Calcítica | Macro-Cálcio® | Humoativo® | Humosolo® | Casca de Eucalipto Compostada |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Classe do produto no MAPA: | Corretivo de Acidez | Corretivo de Acidez | Fertilizante Orgânico | Substrato para Plantas | Substrato para Plantas |
| Matéria prima: | <i>Dregs</i> | Lama de Cal | Lodo de ETE | Lodo de ETE + Casca de Eucalipto | Casca de Eucalipto |

Fonte: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2007, 2013).

3.2. Centrais de tratamento em Eldorado do Sul

A vida produtos e serviços em desenvolvimento ecológico opera em duas centrais de tratamento no município de Eldorado do Sul, no Horto Florestal José Antônio Lutzenberger (Figura 2), uma área com 99,57 ha onde recicla os resíduos calcários e orgânicos; e no Horto Florestal Boa Vista (Anexo A), uma área com 10,30 ha onde recicla casca de Eucalipto. No primeiro horto é onde fica localizada o pavilhão administrativo e são realizadas as vendas, também possui um laboratório para controle interno da qualidade e onde foram realizados os testes apresentados neste trabalho. O local conta com equipamentos básicos como balança de precisão, estufa de secagem, placas de Petry, medidores de pH e condutividade elétrica de bancada.

Figura 2 – Croqui do Horto Florestal José Antônio Lutzenberger.



Legenda

| | | |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Área Aberta de dregs | Leito de Secagem - Dregs | Pavilhão de Cinza Calcítica |
| Área de Polimento | Leito de Secagem - ETE | Sede |
| Aterro Sanitário | Pavilhão Cinza e Lama de Cal | Valas de Fermentação |

Fonte: Adaptado de Google Earth (GOOGLE, 2020).

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão abordadas as temáticas de maior relevância para o gerenciamento de resíduos, enfatizando resíduos provenientes do processo industrial de fabricação de celulose. Ainda, os resíduos denominados *dregs* e *grits* receberão maiores detalhamentos, uma vez que, as principais atividades desenvolvidas durante o período de estágio são referentes a esses materiais.

4.1. A gestão e tratamento de resíduos no Brasil

No Brasil, a lei nº 12.305 de 2 agosto de 2010 (BRASIL, 2010), estabelece a política nacional de resíduos sólidos e define resíduo sólido como:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”;

A mesma, define o gerenciamento de resíduos como:

“conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

A classificação de resíduos sólidos no Brasil é realizada usualmente a partir de duas normativas, a NBR 10004:2004, quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública; e a IN 13 de 18/12/2012 (BRASIL,2012), na qual a classificação ocorre de acordo com a fonte originadora, possibilitando assim, uma classificação a nível nacional.

A primeira classifica os resíduos em classe I – Perigosos e classe II – Não Perigosos. A periculosidade é caracterizada por diversas características descritas na normativa, como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Já os resíduos classe II, ainda podem ser enquadrados em classe II A e classe II B, caso sejam não inertes ou inertes respectivamente. Na segunda os resíduos são classificados quanto a sua origem, deste modo aqueles provenientes da fabricação de celulose são enquadrados no Capítulo 3 da Lista Brasileira de Resíduos Sólidos do Anexo 1, denominada “Resíduos do processamento de madeira e da fabricação de painéis, mobiliário, papel e celulose”.

4.2. Obtenção de polpa celulósica pelo processo *Kraft* e a geração de resíduos

No Brasil, o processo *Kraft* ou Sulfato é usado em 90% das fábricas de celulose, conforme Maeda, Costa e da Silva (2010). Para Castro (2009) o método é o mais utilizado, pois apresenta vantagens como ter ciclos mais curtos de cozimento, a recuperação dos agentes químicos e a polpa com bastante resistência, mesmo tendo desvantagens como maior custo de branqueamento, investimento alto nas fábricas, emissão de odores dos gases gerados no processo e um baixo rendimento de polpa. No processo *Kraft*, o sulfeto de sódio (Na_2S) e hidróxido de sódio (NaOH) são os agentes químicos ativos na digestão dos cavacos (formam uma solução chamada licor branco), em condições de pH (13 a 14), temperaturas próximas a 170 C° e pressão ajustada (MEDEIROS, 2008).

O processamento de madeira para celulose se inicia com a chegada das toras no pátio da fábrica, ocorrendo a lavagem e posteriormente o processo de picagem destas, dando origem aos cavacos. No processo de lavagem das toras e na limpeza do pátio, materiais como argila, areia e cascas que permaneceram nas toras se desprendem e são os primeiros resíduos gerados. Além disso, ao cortar e picar as toras em cavacos, gera-se serragem (STEINER; HERRERA; FOELKEL, 1988).

Os cavacos são encaminhados para os digestores onde passam pelo processo de cozimento, no qual ocorre a despolimerização e dissolução da lignina (MEDEIROS, 2008), de modo a separar a celulose e a hemicelulose. Após o processo de digestão, gera-se uma solução aquosa com a polpa marrom (celulose, mais hemicelulose e resquícios de lignina) e licor negro, um subproduto com a lignina extraída dos cavacos e os reagentes químicos usados (FIGUEIREDO, 2009). Essa polpa marrom é lavada em depuradores e passa por um processo de pré-branqueamento, que reduz o teor de lignina da polpa.

No processo de branqueamento, a lignina e outras moléculas responsáveis pela coloração marrom à celulose são alteradas ou retiradas, sendo o processo mais cotidiano, segundo Klock, Andrade e Hernandez (2013), a passagem dinâmica da polpa marrom entre a etapa ácida (dióxido de cloro – ClO_2) e a alcalina (peróxido de hidrogênio – H_2O_2 ou NaOH , com ou sem oxigênio).

O licor negro, que foi separado da polpa marrom nas etapas de cozimento e pré-branqueamento, é recuperado e passa por um processo de reaproveitamento, para que os químicos utilizados no processo sejam recuperados e sólidos orgânicos possam ser usados na caldeira de recuperação. Essa recuperação dos reagentes é o que garante a viabilidade econômica do processo (MELO *et al*; 2011) e diminui impactos ambientais (ANDREUCETTI, 2010).

Após o processo de evaporação, em que o licor negro fraco é submetido, este fica mais concentrado e passa a se chamar licor negro forte (FIGUEIREDO, 2009), que é queimado em caldeiras de recuperação, onde ocorre a redução do sulfato de sódio (Na_2SO_4) em sulfeto de sódio, recuperando um dos agentes químicos. Segundo Figueiredo (2009), os sais resultantes desse processo de queima, formam o *smelt* que é rico em Na_2S e carbonato de sódio (Na_2CO_3). O *smelt* então é dissolvido e gera o que é chamado de licor verde, que passa por um processo de clarificação onde são removidas impurezas, depois ocorre a adição de Cal (90% de Óxido de Cálcio - CaO), ocasionando a reação denominada caustificação onde o Na_2CO_3 é convertido em NaOH , desta forma recuperando todos os produtos químicos utilizados na digestão (FIGUEIREDO, 2009). Esta etapa gera a lama de cal (CaCO_3) e o licor branco, o qual retorna ao processo de digestão da celulose. A lama de cal é lavada (gera licor fraco, água resultante da lavagem da lama de cal, este é usado para diluir o *smelt* em licor verde) e após é destinada ao forno de cal com o objetivo de calcinar o carbonato de cálcio e gerar novamente a cal que é adicionada ao licor verde, assim, fechando o ciclo. Nas etapas de recuperação dos reagentes químicos ocorrem a geração de três resíduos (Anexo C), o *dregs*, o *grits* e a lama de cal.

4.3. *Dregs e grits* - Caracterização, origem, propriedades e destinos

O “*dregs* é um resíduo alcalino, sólido, de cor cinza escura, de baixa granulometria” Maeda, Costa e Silva (2010, p 13), já os *grits* “são resíduos sólidos, alcalinos, de natureza granular, de cor amarelada e sem cheiro característico” Maeda, Costa e Silva (2010, p 14). O primeiro é formado de impurezas geradas no momento da queima do licor negro forte nas caldeiras de recuperação. Estas impurezas são insolúveis no licor verde e removidas na etapa de clarificação (MAEDA; COSTA; SILVA, 2010). Conforme Modolo (2006), os *grits* são gerados na etapa de calcinação no forno de cal, onde a cal fundida com o sódio residual, do processo forma grânulos de tamanho variado que acabam por receber esta denominação. A lama de cal é gerada quando o forno de cal não está funcionando e o processo de calcinação do carbonato de cálcio (CaCO_3) não ocorre, assim o ciclo não fecha e o resíduo é gerado, sendo a Cal não recuperada.

Os principais componentes destes resíduos podem ser observados na tabela abaixo:

Tabela 3 – Composição química do *dregs* e *grits*.

| Parâmetro | <i>Dregs</i> | <i>Grits</i> |
|--------------------------------------|--------------|--------------|
| Óxido de Cálcio (CaO) - % | 35,7 | 53 |

Continua

| Parâmetro | Dregs | Grits |
|---|--------------|--------------|
| Óxido de Magnésio (MgO) - % | 3,62 | 18,3 |
| Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃) - % | < 0,005 | < 0,005 |
| Nitrogênio (N) -total - % | < 0,01 | <0,01 |
| Sulfitos - % | 20,8 | 0,7 |
| Compostos de sódio - % | 4,7 | 0,13 |
| Metais - % | 3,2 | 0,84 |
| Silicatos (balanço) - % | 30,4 | 41,5 |
| Antimônio (Sb) - mg kg ⁻¹ | 20 | 20 |
| Cádmio (Cd) - mg kg ⁻¹ | 5 | 50 |
| Chumbo (Pb) - mg kg ⁻¹ | 50 | 50 |
| Cobre (Cu) - mg kg ⁻¹ | 100 | 20 |
| Arsênio (As) - mg kg ⁻¹ | 3 | 2 |
| Ferro (Fe) - mg kg ⁻¹ | 4800 | 1600 |
| Magnésio (Mg) - mg kg ⁻¹ | 16000 | 2800 |
| Manganês (Mn) - mg kg ⁻¹ | 5800 | 200 |
| Níquel (Ni) - mg kg ⁻¹ | 100 | 40 |
| Titânio (Ti) - mg kg ⁻¹ | 500 | 500 |
| Zinco (Zn) - mg kg ⁻¹ | 400 | 10 |
| Alumínio (Al) - mg kg ⁻¹ | 4800 | 3100 |
| Poder de Neutralização (PN) - % | 72 | 100 |

Fonte: Fonte: Adaptado de Rodrigues *et al.* (2016).

Todavia, Almeida *et al.* (2007) encontraram para o *dregs* valores semelhantes para o Cálcio (35,4%), mas menores para o Magnésio (0,92%), e indicaram que a aplicação desse material pode ser um problema em solos muito pobres em Magnésio, pois o Ca pode competir com o Mg por sítios específicos de absorção nas raízes das plantas. Nesses resíduos os contaminantes que poderão ser problemas ao serem aplicados no solo são os metais pesados e o sódio, sendo os primeiros em maior quantidade no *dregs* e provenientes do desgaste dos equipamentos industriais utilizados no processo (MAEDA, COSTA E DA SILVA, 2010). Além de serem potenciais elementos tóxicos em teores elevados, Fe, Mn, Zn, Cu e Ni são micronutrientes essenciais as plantas, que podem em alguns solos, como na região do Cerrado (apresentam menor disponibilidade natural de micronutrientes nos solos) serem limitantes ao crescimento das plantas.

Conforme Dias *et al.* (2016), o aumento da concentração de sais na solução do solo leva a aumento da pressão osmótica, chegando a níveis em que as plantas não consigam superar essa pressão e absorver água e nutrientes, sofrendo com déficit hídrico e de nutrientes e, conseqüentemente, reduzindo seu desenvolvimento, como, Garcia *et al.* (2007) observaram a redução da absorção de nutrientes (Ca, Mg e K) em milho sob estresse salino. Além disso, o

aumento nas concentrações de íons, como o Sódio, Cloro e Boro nos tecidos foliares motivados pela salinização podem causar desbalanços na pressão osmótica nesses meios e após uma toxidez iônica, ocasionando danos ao citoplasma resultando em danos visíveis em bordaduras de folhas e ápices de folhas mais velhas (DIAS *et al.*, 2016). Em relação aos metais pesados a problemática é sua elevada reatividade e persistência no ambiente (OLIVEIRA *et al.*; 2010) podendo contaminar lençóis freáticos, alimentos e os demais seres vivos. Exemplos desses elementos, são: Arsênio (As), Chumbo (Pb), Manganês (Mn) e Cádmio (Cd).

Cabe salientar que a presença de metais pesados e sódio também ocorre calcários minerais, fertilizantes industriais e agrotóxicos. Portanto é necessária uma legislação que estabeleça limites legais de concentrações permitidas destes elementos, a fim de evitar a contaminação dos recursos naturais e preservar a saúde dos humanos e natureza. No Brasil existem legislações que estabelecem limites a esses elementos nos insumos utilizados na agricultura (BRASIL, 2006).

4.4. A acidez do solo e os corretivos de acidez

De acordo com Luchese, Favero e Lenzi (2002) a acidez de qualquer substância se refere a concentração de íons H^+ presentes no meio, sendo o pH a forma mais acessível de expressar a acidez. As principais fontes de acidez dos solos são as argilas e a matéria orgânica (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002). A argila contribui de três modos: Pelos íons H^+ e Al^+ presentes na área de troca entre solo e solução, e a partir dos “grupos $SiOH$ e $AlOH$ estruturais dos minerais argilosos e óxidos de Fe e Al” (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002, p71). Na matéria orgânica a acidez é proveniente dos grupos carboxílicos e fenólicos. Uma outra fonte são os ácidos solúveis provenientes de aplicações de adubos acidificantes (nitrogenados e sulfatos), da ação de microrganismos, da dissociação do CO_2 ou da permuta das bases trocáveis (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ por H^+ e Al^{3+}) por lixiviação ou absorção pelas plantas (LUCHESE; FAVERO; LENZI, 2002). Assim, o solo apresenta três estados possíveis, a acidez, a neutralidade e a alcalinidade (BRADY, 1983), sendo a acidez presente nas regiões onde as chuvas são suficientemente capazes de lixiviar as bases trocáveis das camadas superficiais, e a alcalinidade preponderantemente nas regiões semiáridas e áridas.

As reações do solo possuem diferentes influências sobre as plantas. Brady (1983) destaca que em valores de pH abaixo de 5, o ferro, manganês e alumínio podem se tornar muito solúveis em concentrações que se tornam tóxicas às plantas. O fósforo, um macronutriente que costumeiramente fica retido nas coloides do solo, fica menos adsorvido em condições de pH ao

redor de 6,5 (BRADY, 1983), tornando-se mais disponível as plantas. Assim, a acidez do solo é um dos fatores que contribuem para menor rendimento agropecuário, impactando as plantas cultivadas (SCBS, 2016a).

No Brasil os solos originalmente ácidos predominam em todas as regiões do país. Em estados, como o Rio Grande do Sul e Santa Catarina a maioria dos solos utilizados na agropecuária já passaram por correções de acidez, dessa forma solos originalmente ácidos são restritos a campos e florestas naturais em que a agropecuária não foi introduzida (SCBS, 2016b), cabe destacar, que as áreas que passaram por calagem, podem em função dos fatores mencionados anteriormente retornarem a condições de acidez.

Para as áreas onde os solos são ácidos se recomenda calagem, o intuito, é simples, diminuir a concentração dos íons de hidrogênio e aumentar o das hidroxilas. A calagem se refere a aplicação superficial ou subsuperficial de produtos denominados corretivos agrícolas sendo os mais usuais os carbonatos e óxidos de cálcio e magnésio (BRADY, 1983). Alcarde (1992) pontua que os corretivos de acidez são denominados assim, pois em sua composição química Ca^{2+} e Mg^{2+} estão associados a bases químicas ativas como CO_3^{2-} , OH^- e SiO_3^{2-} , que ao se dissociarem em água geram OH^- , e que assim, os carbonatos e óxidos de magnésio e cálcio são considerados corretivos de acidez do solo, diferentemente de outros materiais que possuem propriedades similares de liberação de OH^- , como, BaCO_3 e $\text{Li}(\text{OH})$, mas que não são encontrados com a mesma facilidade que os anteriores.

Segundo a Abracal (2019) em 2018 produziu-se cerca de 42 milhões de toneladas de calcário agrícola no Brasil. No país as reservas estimadas de calcário estão na ordem de 80 bilhões de toneladas Becker (1995 apud WIETHÖLTER, 2000, p. 58), o que seria suficiente para a atual demanda por pelo menos um milênio. Mesmo que a disponibilidade deste recurso não seja um problema neste momento, a exploração de calcário causa inúmeros impactos ambientais e sociais (BEZERRA, 2013; MARTINS NETO E RAMALHO, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Desta forma, para aqueles resíduos com propriedades corretivas de acidez tem-se buscado alternativas para sua utilização na agricultura, como Côrrea (2006) para resíduos de escória de aciaria; Lasso *et al.* (2013) para resíduos de construção; Raymundo *et al.* (2011) para resíduos de serragem de mármore e Trigueiro (2006) para resíduos alcalinos oriundos de indústria de celulose. Assim, torna-se perceptível a importância de se encontrar um uso adequado para os resíduos, evitando os aterros sanitários e possibilitando a redução de custos para as empresas geradoras, contribuindo com a diminuição pela exploração de calcário mineral.

5. ATIVIDADES REALIZADAS

Como o estágio foi realizado na maior parte do tempo na Central de Tratamento do Horto Florestal Lutzenberger, serão descritos brevemente os resíduos com utilização agrícola que são enviados para lá e o processo de tratamento. Sendo o foco para o tema principal, os resíduos *dregs* e *grits*, tratando de maneira aprofundada o trabalho realizado com estes.

5.1. Visita a Celulose Riograndense

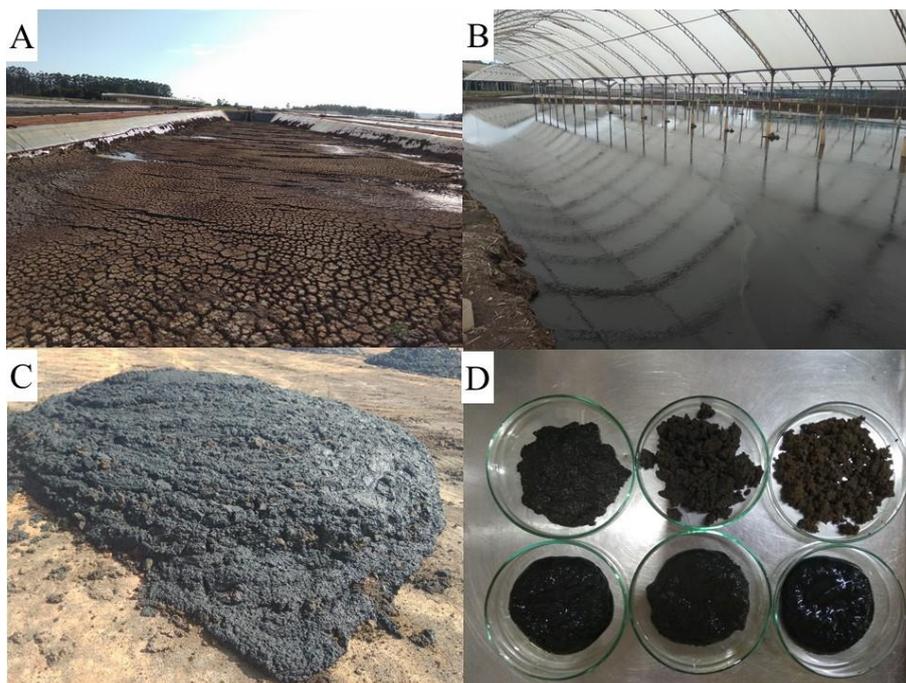
Na visita realizada na Celulose Riograndense, foi possível observar o fluxo da fabricação de celulose, da chegada das toras até o armazenamento da celulose nos galpões. O cuidado com a separação dos resíduos na origem, possibilita um bom gerenciamento com uma destinação adequada. Para que haja esse cuidado a empresa realiza há muito tempo um trabalho de educação ambiental com os funcionários da CMPC, bem como com os funcionários que participam deste processo de capacitação. Os funcionários da Vida passam por treinamentos nesse sentido desde o momento da admissão e depois reforçados todos os dias.

5.2. Acompanhamento do processo de tratamento dos resíduos orgânicos nas centrais de tratamento da empresa

O lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE) é caracterizado como um material extremamente rico em cadeias de carbono complexas, de lignina, celulose e hemicelulose, o que confere ao material grande quantidade de matéria orgânica, e relação C/N de aproximadamente 15:1. O lodo da ETE passa por um processo que estabiliza a matéria orgânica antes da utilização como fonte de nutrientes vegetais e condicionador de solos. Essa estabilização ocorre a partir de um processo de fermentação anaeróbia que promove mudanças químicas e físicas no material. O processo de fermentação anaeróbio acontece dentro de valas de fermentação (Figura 3A), depois vão para os leitos de secagem (Figura 3B) onde ficarão até que tenham a umidade reduzida, e por último nas áreas de polimento (Figura 3C), onde o material termina de secar. Após o processo de fermentação, o material se apresenta com excelentes características para a utilização agrícola, sendo comercializado como Humoativo®

(Fertilizante Orgânico) ou misturado com a casca de eucalipto compostada resultando no produto Humosolo® (Substrato para plantas).

Figura 3 – Algumas etapas de tratamento do lodo. Lodo de ETE em vala de fermentação (A). Secagem de lodo de ETE em leito de secagem (B). Humoativo® em área de polimento (C). A transformação do lodo durante a fermentação anaeróbica (D). Eldorado do Sul – RS, janeiro/2020.

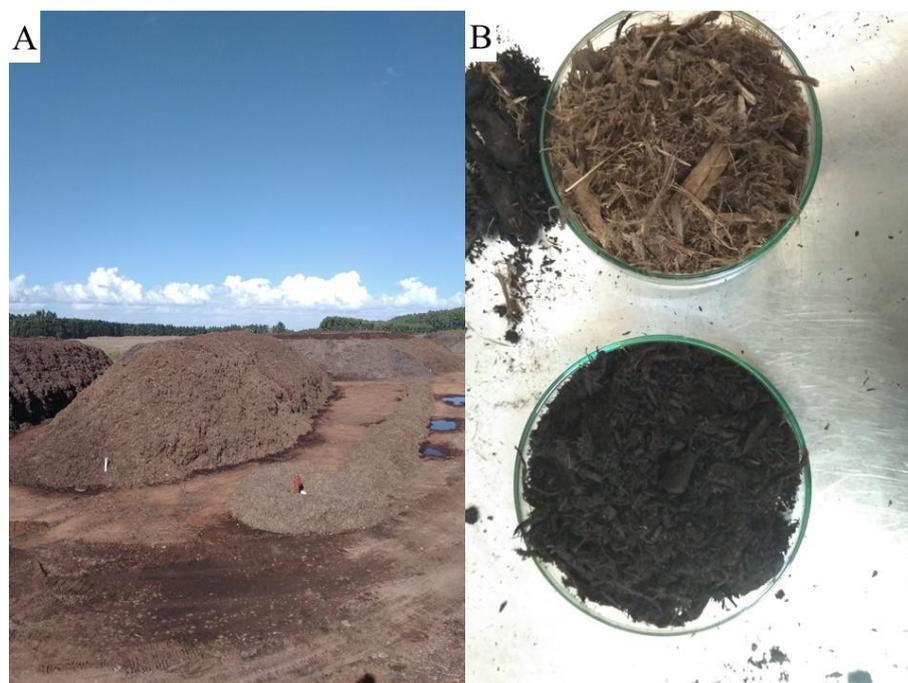


Fonte: O autor.

A casca de eucalipto apresenta relação C/N de 80:1 e possui o inconveniente de vir com lascas ou pedaços de madeira. A casca é gerada no pátio de chegada das toras, no processo de lavagem destas, antes do digestor. São geradas cascas picadas e não-picadas. O processo de tratamento para ambas é o de compostagem, realizado em leiras a céu aberto (Figura 4) na Central de Tratamento do Horto Boa Vista. A compostagem desse material é um desafio uma vez que a relação C/N é bastante alta, portanto a compostagem leva bastante tempo e por isso a área demandada para tratamento é elevada. São realizadas operações de revolvimento com escavadeira e recirculação de percolado, coletado pelas redes de coleta e que passam por sistema de tratamento por raízes, ficando armazenados em tanque. Após a compostagem o material é secado e peneirado, sendo o peneiramento uma operação de vital importância para garantir que o produto tenha a menor quantidade possível de lascas de madeira. A casca não picada tem o inconveniente de ter grandes pedaços de madeira no meio do seu volume o que indica mais uma operação necessária, a separação das madeiras, mas gera um produto sem

pequenas lascas. O produto é vendido como Substrato para plantas Casca de Eucalipto Compostada ou misturada com Humoativo[®] para gerar o Humosolo[®] (Substrato para plantas).

Figura 4 – Leiras de Compostagem. Dimensão do tamanho das leiras de compostagem da empresa (A). Casca de eucalipto antes e após a compostagem (B). Eldorado do Sul – RS, fevereiro/2020.



Fonte: O autor.

5.3. Acompanhamento do processo de tratamento dos resíduos calcários nas centrais de tratamento da empresa

Os *dregs* e *grits* são resíduos gerados na etapa de recuperação do licor negro e que, quase sempre, são tratados de maneira conjunta na literatura, possuindo potencial de uso na agricultura pelas propriedades como corretivo de acidez do solo. Na empresa Vida são tratados de maneira separada, pois possuem particularidades. O *dregs* possui umidade nas faixas de 30 e 40% e uma granulometria bastante fina, que garante alta reatividade ao material no solo. O *grits* é um material que possui teores elevados de CaO e MgO como o *dregs*, mas possui uma granulometria mais grosseira o que prejudica seu uso na agricultura e que ao ser misturado com *dregs* reduziria a qualidade em termos de reatividade do corretivo de acidez. Assim é comercializado diretamente para indústrias, ou usado para compactação dos pisos dos leitos de secagem de *dregs*, para evitar a contaminação por argila da impermeabilização. A lama de cal (CaCO₃) apresenta a particularidade de ser um resíduo com teores de umidade abaixo dos 20%

(Garantia junto ao MAPA), portanto não passa por tratamento, sendo armazenada em pavilhões para que tenha essa característica preservada, ressaltando que durante esse processo pode continuar perdendo umidade.

Como comentado anteriormente através do acompanhamento e verificação do material, o *dregs* precisa passar por um processo de tratamento para que o teor de umidade seja reduzido, para conferir as garantias de no máximo 30% de umidade e reatividade que estão registradas no MAPA. Abaixo estão descritas as etapas do processo de tratamento e beneficiamento que foram acompanhadas durante o processo de estágio.

5.3.1. Homogeneização e armazenamento do resíduo bruto

Os *dregs* e *grits* são coletados separadamente nos caminhões da empresa. Ao chegar no Horto Lutzenberger o *dregs* passa por uma triagem e, caso esteja com 30% ou mais de umidade, deve seguir para a área aberta de *dregs* onde será descarregado, remontado e armazenado, ficando neste local até que haja disponibilidade nos leitos de secagem. Durante esse período, o *dregs* armazenado perde o sódio por um processo de lixiviação pela água da chuva. Se o resíduo estiver com menos de 30% de umidade é destinado a área de pavilhão, evitando que se molhe e aumente o teor de umidade, deste modo favorecendo a secagem do material. Uma outra seleção realizada no material, ocorre em casos onde a fábrica perde muito sódio no processo de recuperação dos reagentes químicos e os teores de sódio se apresentam acima de 5%,. Neste caso, a empresa opta por direcionar o resíduo para um aterro sanitário, evitando a contaminação de seu produto e consequências no solo.

A geração destes resíduos é contínua, portanto, o transporte desses resíduos até a central de tratamento não para. Assim que o caminhão chega na área aberta de *dregs* o material é descarregado, sendo de praxe, que um operador fique nesta área procurando remontar o material e buscar a melhor ocupação possível deste espaço (Figura 5).

Figura 5 – Chegada de *dregs* na área aberta e remontagem do material. Eldorado do Sul – RS, fevereiro/2020.



Fonte: O autor.

5.3.2. Secagem e homogeneização

Os *dregs* são levados da área aberta conforme a disponibilidade dos leitos de secagem. Hoje na central do horto Lutzenberger existem dois leitos de secagem para este material. A capacidade de secagem dos leitos foi estimada em 2203 t. Desta maneira, após o *dregs* ser descarregado nos leitos de secagem (Figura 6A), o material depositado na estrutura é espalhado (Figura 6B), para que a sua espessura diminua e aumente a área de contato do material com o ar atmosférico. Com o material espalhado, ocorre uma operação de revolvimento e homogeneização, reduzindo o tamanho de agregados maiores e acelerando a secagem do material. São realizadas operações de catações, coletas e destorroamento manuais, a fim de realizar a separação de materiais como pedras e argilas presentes junto do material, bem como evitar a presença daqueles agregados de Cinza Calcítica que ainda estão com granulometria grosseira. Além disso, as catações permitem o controle constante de plantas daninhas dos arredores da estufa.

O controle da umidade nesse processo era realizado a partir de análise visual a partir da experiência adquirida por anos de trabalho com o resíduo e pelo método de secagem por estufa (65 °C por 24 horas) de análise de umidade conforme a Instrução Normativa 17 de 2007 (BRASIL, 2007). Mesmo assim, durante o estágio se buscou por alternativas que auxiliassem na tomada de decisão da retirada do material da estufa e armazenamento no pavilhão de armazenamento de Cinza Calcítica, bem como permitisse a obtenção de resultados mais rapidamente, considerando a dinâmica das operações da empresa Vida e, desta forma, foi

desenvolvido um método expedito de determinação da umidade para o processo de secagem do *dregs*, que será descrito posteriormente.

Figura 6 - *Dregs* nos leitos de secagem. Sendo descarregado (A). Espalhando-o no leito de secagem (B). Eldorado do Sul – RS, janeiro/2020.



Fonte: O autor

Outra atividade realizada durante o processo de secagem do material foi o estabelecimento de uma curva de secagem do material nos leitos de secagem a fim de determinar a velocidade de secagem do material e identificar com quais teores de umidade a Cinza Calcítica estava entrando e saindo desta etapa. Foram realizadas amostragens sistemáticas a partir momento em que o material era descarregado, e diariamente as 16 horas, durante todo o período que o material permaneceu secando, até que visualmente este estivesse apto a ser recolhido. A determinação do tempo de secagem do material no verão foi essencial para a estimativa de capacidade de tratamento de *dregs*.

Após a determinação de que a umidade do material se apresenta adequada para o armazenamento, a pá carregadeira faz uma operação de raspagem e empilhamento do material para em seguida poder carregar os caminhões e armazenar o produto nos pavilhões.

5.3.3. Pavilhão de armazenamento

Devido as características observadas do *dregs* gerado nessa fábrica, bem como do processo de tratamento e do produto resultante, não é necessário que este passe por peneiras

para beneficiamento, pois após as etapas já descritas a Cinza Calcítica apresenta granulometria adequada de acordo com as garantias registradas junto ao Ministério da Agricultura. É importante destacar que em outras fábricas que a empresa atua, conforme os tipos de resíduos e a exigência de mercado, é necessário peneirar o produto.

No pavilhão o material fica armazenado até o momento de comercialização. A comercialização se dá durante todas as épocas do ano, tendo uma equipe específica para a realização de vendas, busca por novos mercados e clientes. O volume de Cinza Calcítica comercializada atinge o pico logo antes da safra das culturas de verão, ocorrendo nesse momento inclusive filas de caminhões no pátio da central de tratamento. Os maiores compradores do produto são as cooperativas e produtores do setor de grãos.

A forma de comercialização da cinza se dá apenas a granel, sendo o produto cobrado por tonelada. Hoje com o mercado do produto bem estabelecido este tem sido comercializado com certa tranquilidade, tendo que em alguns anos limitar as vendas de acordo com a capacidade de tratamento da empresa, de modo a não faltar produto. Assim, como forma de contribuir para a empresa, foi elaborada uma estimativa da capacidade anual de produção, de modo a indicar a previsão de disponibilidade do produto para a venda.

5.4. Metodologia para determinação de umidade da Cinza Calcítica por micro-ondas

No decorrer das operações de secagem dos materiais que a empresa trabalha (orgânicos e calcários), em meio a discussões sobre estes processos, foram levantadas questões sobre como era realizado o controle do teor de umidade. A empresa realizava o controle analisando o material visualmente e por tato, o que pode estar sujeito a erros humanos e mascarar o real teor de umidade, além disso, pelo método de secagem padrão descrito na IN 17 de 2007, os resultados só seriam obtidos em no mínimo 24 horas. Diante disso e da dinâmica de operações, volumes e lotes que a empresa trabalha, foi percebido a necessidade de um método que fosse simples, com os equipamentos já existentes na empresa e que tivesse resultados rápidos e precisos.

Foram realizadas pesquisas bibliografias complementares para se criar um protocolo de determinação de umidade dos calcários que fosse mais adequado a empresa. Foram encontrados trabalhos científicos que apresentavam métodos de determinação de umidade para materiais vegetais (PASTORINI; BACARIN; ABREU, 2002) e solos (OLIVEIRA; ROQUE, 2016) o que garantiu uma base científica para a elaboração da metodologia para os produtos da empresa. Nos trabalhos citados anteriormente era empregado o uso do micro-ondas para a secagem do

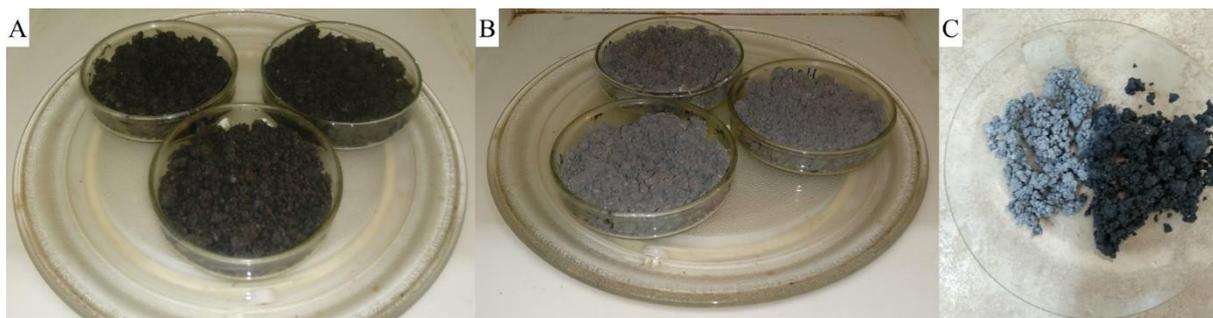
material e balança de precisão de dois dígitos, ambos equipamentos existentes na empresa, o que foi um facilitador para a execução dessa atividade.

Durante a definição da metodologia, foi identificado que seriam testadas diferentes massas de amostra para os diferentes materiais, bem como o tempo de secagem no micro-ondas, a potência utilizada, quantas amostras poderiam ser secadas ao mesmo tempo, e as diferenças que este processo teria para cada material. Assim, foi elaborada uma tabela para calibração e testagem do método e realizadas as amostragens (Apêndice A).

Neste experimento optou-se por utilizar o produto Cinza Calcítica. Foram definidas massas de amostra de 30g e 50g para todos os materiais. Para determinar o tempo necessário para a secagem elaborou-se uma curva de perda de água de minuto a minuto, ou seja, as amostras seriam acondicionadas em placas de Petry, pesadas úmidas em balança e acondicionadas em forno micro-ondas, onde, a cada minuto de secagem, as amostras eram retiradas e pesadas novamente, até peso constante. Acerca da potência do micro-ondas, foi definido que o procedimento iniciaria com a potência máxima, e se fosse necessário reduziríamos nas novas tentativas. Além disso, para ter certeza da precisão do método foi necessária a realização de uma contraprova de cada amostra analisada, assim, foi utilizada o método padrão descrito na instrução normativa 17 de 2007.

A coleta das amostras foi realizada com extremo cuidado a fim de torná-las representativas, com no mínimo 10 subamostras, estas formavam uma amostra composta que era levada para o laboratório e homogeneizada. No momento da disposição das amostras nas placas de Petry foi notado que as amostras de 50 g ficariam com uma camada bastante espessa o que poderia prejudicar a secagem do material no micro-ondas, foi optado então por utilizar amostras com 30 g, pois facilitaria a secagem e diminuiria a quantidade de produto para cada amostra.

Figura 7 - *Dregs* úmido em relação ao seco em forno micro-ondas. *Dregs* úmido (A). *Dregs* seco (B). Aspecto do *dregs* seco em relação ao úmido (C). Laboratório de controle de qualidade – Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico. Eldorado do Sul – RS, janeiro/2020.



Fonte: O autor.

5.5. Estimativa e planejamento da capacidade de produção de Cinza Calcítica

No período final de estágio foi realizada uma reunião com o intuito de avaliar o atual fluxo de reciclagem do *dregs* e produção de Cinza Calcítica. Assim, a empresa pode, dependendo da produção, ter incrementos na venda, ou ainda, controlar a comercialização, evitando vendas em condições de falta de produto. Esse planejamento também é importante para que a empresa possa avaliar ao fim do ano a operação de produção de Cinza Calcítica e observar os pontos positivos e gargalos, bem como, melhorias para a operação.

A partir de uma revisão das operações envolvidas no processo de secagem observados durante o dia a dia, foi definido o tempo médio de secagem de material nos leitos de secagem. Foram obtidas informações como a densidade dos materiais. Também sobre como se comporta a secagem nas diferentes estações do ano.

A partir das plantas do Horto Florestal Lutzenberger e das cargas ao final do processo de secagem do material, foram estimados a capacidade de secagem dos dois leitos de secagem do material e foram estimadas as capacidades mensais e anuais de secagem. Foram realizados cálculos para três cenários distintos: Cenário 1: verão normal e inverno com estiagem; Cenário 2: verão chuvoso e inverno normal; Cenário 3: verão e inverno normais.

5.6. Testes de peneira rotativa para Cinza Calcítica

No decorrer do estágio a empresa adquiriu uma peneira rotativa móvel para que atuasse aumentando a capacidade produtiva da etapa de peneiramento dos produtos da empresa e que tivesse também o ganho de operacionalidade no sentido de poder ser utilizada no local ou próximo de onde o material se apresentava, sem a necessidade de haver o transporte do material até o local das peneiras, deste modo diminuindo custos com combustível e mão-de-obra para este trabalho.

No primeiro momento, os fabricantes da peneira fizeram um breve treinamento de operação. Para realizar a avaliação da máquina foram avaliados diferentes parâmetros, como: Produtividade, Rendimento Operacional e Segurança da Operação. Foi realizada a cronometragem, análise da operação, bem como pequenas operações no comando hidráulico da peneira e da operação em si. A operação consistiu também em avaliar os diferentes produtos da empresa. Os testes foram realizados com a presença de dois estagiários, um operador de pá carregadeira, um ajudante, o operador da peneira rotativa e o supervisor da área. Foi preparado um volume de material na área de polimento e com a pá carregadeira a peneira era “alimentada”, o produto é conduzido por uma esteira a cerca de 2 m da peneira. Após a operação o produto tinha o peso quantificado e tempo total de operação era computado.

Assim, um ajudante e um estagiário ficaram responsáveis sobre a massa de material que foi peneirado, o rejeito separado pela peneira e o tempo de operação da peneira, para que se pudesse fazer uma análise da produtividade da peneira, do rejeito gerado, e do rendimento operacional quando comparado com as peneiras estáticas. Também se avaliou a operação e a segurança da mesma para os funcionários que atuavam e pontos que poderiam ser melhorados neste sentido.

A Cinza Calcítica foi o primeiro produto a ser testado, mesmo este não sendo peneirado na operação cotidiana da empresa, uma vez que tal operação não se mostra necessária pela qualidade que o produto já apresenta em tal unidade, entretanto, em outras unidades da empresa como Belmonte/BA e agora Três Lagoas/MS é necessário realizar a peneiração, devido às características dos resíduos nestes locais, como a granulometria mais irregular.

5.7. Outras atividades realizadas

Além das atividades cotidianas de operação de uma central de tratamento, inerentes do processo e de melhorias deste, foram realizadas inúmeras atividades complementares. Embora as atividades complementares não sejam de rotina da empresa e não estão diretamente relacionadas ao tema principal deste trabalho, também foram importantes durante o estágio e contribuíram no processo de formação. Desde o primeiro dia de estágio foram apresentados os documentos de licenciamento ambiental e projetos das centrais de tratamento, de forma a complementar e apresentar o significado, a importância, e os conceitos que fundamentaram as atividades de gerenciamento de resíduos pela empresa Vida. Com isso foi possível se familiarizar com o trabalho e entender a dinâmica da empresa.

A participação diária no Diálogo Diário de Segurança, trouxe à tona um tema pouco abordado na Faculdade de Agronomia, a segurança do trabalho. Foi possível perceber a importância desse tema, no que tange a preocupação com os funcionários e as obrigações legais da empresa. Além disso, o fato de existir um momento diário onde todos estão presentes, contribui de certa forma para um melhor trabalho e relacionamento de equipe.

Foram elaborados relatórios com diferentes fins. Um relatório sobre o estado de conservação das geomembranas PEAD (Polietileno de alta densidade) que são um dos itens importantíssimos para o controle ambiental, impermeabilizando o solo nas valas de fermentação, dos tanques de acúmulos de águas pluviais e de percolados, de valas de zonas de raízes e de tanques de tratamento. Assim, foi possível obter um diagnóstico geral e selecionar os pontos que prioritariamente necessitariam de reformas. Também foi elaborado um relatório sobre a segurança do trajeto entre a indústria de celulose e as centrais de tratamento da empresa Vida, motivado a partir de um acidente entre um caminhão da empresa e um veículo pessoal. Isto contribuiu para além da Agronomia, como uma atribuição complementar ao Agrônomo (a), que é responsável técnico por uma unidade ou empresa, mas que, no entanto, eventualmente se depara com situações das mais diversas, que necessitam de atenção e de soluções.

A participação na reforma do biodigestor, que possui uma importância muito grande para a empresa, que operou por anos e depois parou, foi muito gratificante, e foi uma atividade prática de um assunto abordado quase exclusivamente de maneira teórica durante o curso de agronomia. Foram feitas a regularização do leito do biodigestor com argila, e depois a implantação da geomembrana PEAD sobre o leito e posterior instalação das mangueiras de circulação e barreira divisória do biodigestor. O biodigestor é uma tecnologia de grande potencial para a empresa, pois, o processo anaeróbio gera metano, e esse gás não é aproveitado atualmente, indo para a atmosfera, dessa forma é mais um subproduto que a empresa poderia utilizar energeticamente em seus processos.

6. DISCUSSÃO E RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com a NBR 10004, os resíduos apresentados neste trabalho, a casca de eucalipto, os *dregs* e *grits*, a lama de cal e o lodo de efluentes são enquadrados na classe A, pois apresentam características de solubilidade em água e biodegradabilidade. Por não apresentarem inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, são da classe IIA – Não inertes. Mesmo os resíduos orgânicos, não sendo o objeto principal de discussão neste trabalho, são importantes algumas reflexões a partir da experiência vivenciada no estágio.

O lodo de efluentes é o resíduo gerado em maiores quantidades, e apresenta a particularidade de ser um resíduo que possui elevados teores de umidade, o que confere dificuldades operacionais para o armazenamento, transporte e tratamento. De maneira geral, ficou evidenciado que o gerenciamento desse resíduo, na empresa, está muito alinhado e organizado, com uma base que permite o acompanhamento e a gestão das valas de fermentação deste resíduo. O principal gargalo para essa atividade é a secagem no inverno, o que futuramente indica a necessidade de expansão de áreas de polimento e leitos de secagem pela empresa, ou ainda, algum processo que melhore a velocidade de secagem desse material. Um desafio, é o aproveitamento do metano gerado nesse processo anaeróbio de tratamento para geração de biogás e aproveitamento na empresa. Cabe destacar que a empresa já pensa nisso, e possui um protótipo de biodigestor que vem sendo reformado.

A casca de eucalipto possui uma particularidade bem diferente do lodo, possui uma relação C/N de 80:1, bastante elevada, o que torna o processo de tratamento lento. E particularidades na operação, pois quem transporta o resíduo é uma outra empresa, e é levada ao Horto Florestal Boa Vista, onde é compostada. De maneira geral, o gerenciamento deste resíduo vem sendo satisfatório, com processos bem estabelecidos. O ponto a ser melhorado é referente ao controle do processo de compostagem de cada leira, através do monitoramento de parâmetros como temperatura, umidade e tempo de compostagem, e das atividades realizadas em cada uma destas. O processo de compostagem tem se mostra um desafio, mas vem sendo aperfeiçoado pela empresa.

Analisando o tratamento dos *dregs* e *grits*, é possível constatar que se trata de um processo menos complexo do que aqueles observados nos resíduos orgânicos, pois os resíduos calcários não passam por transformações de natureza química de sua composição, conforme os existentes nos processos de compostagem e fermentação anaeróbia. Suas modificações basicamente são a redução da umidade e, conseqüentemente, a melhora da reatividade por redução de grânulos e agregados de *dregs*, e ao controle de contaminantes. Nesse sentido, o principal ponto a ser melhorado nesse processo foi aquele referente ao controle da principal característica indicativa do tratamento, a umidade. Deste modo foi desenvolvido e adaptado o método expedito de determinação de umidade para os resíduos calcários da empresa Vida.

Na tabela 4 é apresentada a composição química do *dregs* e *grits* gerados na CMPC. Ao comparar os *dregs* e *grits* da CMPC com os valores apresentados por Rodrigues *et al.* (2016), o que mais chama atenção é o teor mais elevado de CaO e menor de MgO. Além disso, é possível destacar os menores teores de sódio e dos metais no resíduo que a empresa Vida trabalha, o que se configura como um ponto positivo para o tratamento e posterior uso do

produto na agricultura. Os teores de Na^+ menores são explicados pelo longo trabalho de reciclagem do resíduo, que contribuiu para que a CMPC aprimorasse o seu processo de controle, reduzindo ao máximo as perdas deste elemento. Mesmo legalmente não existindo um limite da concentração de sódio (Na^+) nos corretivos de acidez, a empresa mantém o controle sobre este, resultando em um produto com teores de sódio seguros para seu uso na agricultura.

Tabela 4 – Composição dos *dregs* e *grits* da Celulose Riograndense.

| Parâmetro | <i>Dregs e Grits</i> | Parâmetro | <i>Dregs e Grits</i> |
|--|----------------------|---------------------------------------|----------------------|
| pH | 11,5 | Chumbo (Pb) - mg kg^{-1} | 15 |
| CaO - % | 49,8 | Cobre (Cu) - mg kg^{-1} | 43,1 |
| MgO - % | 0,94 | Molibdênio (Mo) - mg kg^{-1} | 16,3 |
| N-total - % | 0,04 | Ferro (Fe) - % | 0,25 |
| Fósforo (P_2O_5) - % | 0,52 | Mercúrio (Hg) - mg kg^{-1} | <0,01 |
| Potássio (K_2O) - % | 0,38 | Manganês (Mn) - mg kg^{-1} | 864 |
| Sódio (Na) - % | 1,48 | Níquel (Ni) - mg kg^{-1} | 18 |
| Enxofre (S) - % | 0,58 | Cromo (Cr) - mg kg^{-1} | 12 |
| Boro (B) - mg kg^{-1} | 14,9 | Zinco (Zi) - mg kg^{-1} | 69 |
| Cádmio (Cd) - mg kg^{-1} | 1 | Alumínio (Al) - % | 0,34 |

Fonte: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2007, 2013).

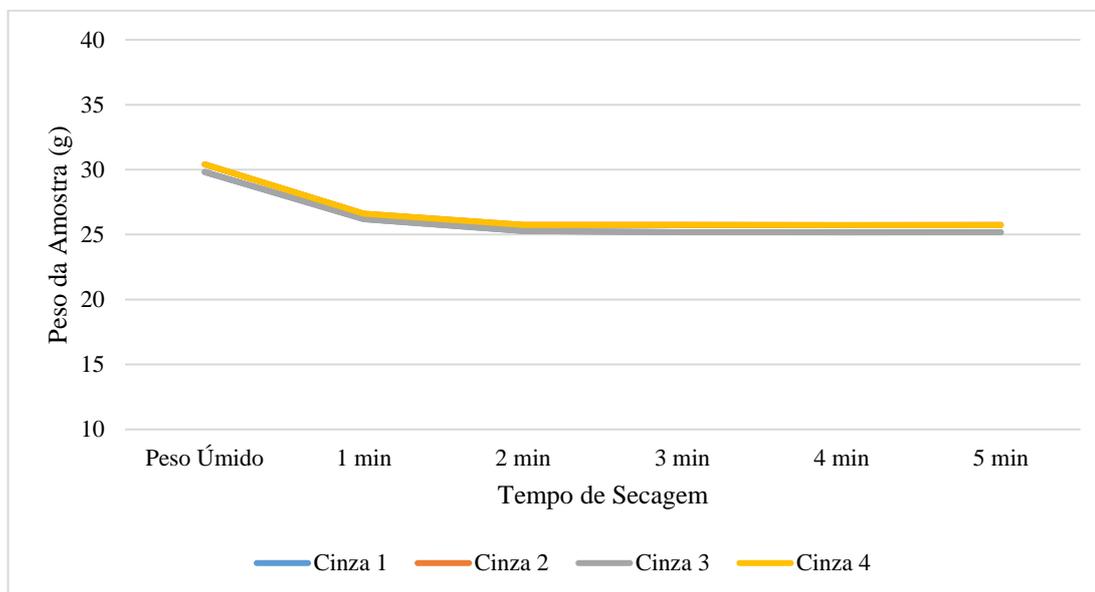
O controle ambiental desses contaminantes no produto é realizado em escalas temporais diferentes. Os teores de sódio, por serem resultado dos agentes químicos (Na_2S e NaOH) empregados ao processo de digestão de celulose, podem variar no resíduo conforme a atividade industrial. Assim para este elemento em específico são realizadas análises diárias na fábrica e mensais no corretivo de acidez. Para os metais pesados como As, Cr, Pb, entre outros, as análises são anuais, pois, os teores destes se mostraram homogêneos ao longo do tempo, sendo alguns, resultados do desgaste do maquinário industrial.

6.1. Determinação de Umidade da Cinza Calcítica por micro-ondas

No Figura 8 é possível visualizar a curva de secagem do material durante o processo de secagem em forno micro-ondas. Notadamente a maior perda de água acontece entre o tempo 0 e 1 minuto, a partir daí a curva começa a ficar menos acentuada, tendo estabilizado entre 3 e 4 minutos. Os materiais testados iniciaram com peso úmido de 29,82 g, 30,41 g, 29,82 g e 30,41 g para a Cinza 1, Cinza 2, Cinza 3 e Cinza 4 respectivamente. Após o processo de secagem os materiais tiveram o peso seco de 25,19 g, 25,75 g, 25,18 g e 25,73 g. Os materiais 1 e 3 apresentaram umidades na faixa 15,5%, enquanto os materiais 2 e 4 apresentaram umidades na

faixa de 13,6%. A umidade no método padrão por estufa (65°C) em 24 h e 48 h encontrou resultados de umidade de 15% e 14% para os materiais 1 e 2.

Figura 8 – Perda de água (g) em amostras de Cinza Calcítica submetidas a tempos cumulativos de secagem utilizando forno micro-ondas.



Fonte: O autor.

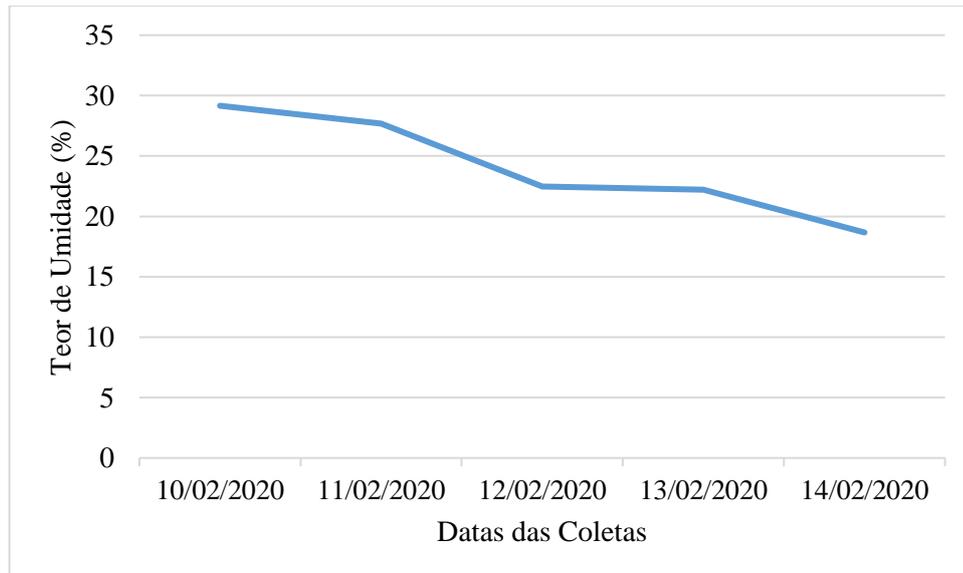
Deste modo foi determinado que para a Cinza Calcítica e sua matéria prima, a secagem no forno de micro-ondas, seria de 4 minutos e toda vez que se realizassem os testes no micro-ondas se faria uma contraprova na estufa de secagem a fim de testar a precisão do método por mais vezes. Ao final desses testes foi definido que a variação média entre o método da estufa e do micro-ondas foi de 0,5%, portanto para servir apenas como auxílio nas tomadas de decisão durante as atividades da empresa o método se mostrou eficiente.

Assim, na central de tratamento do Horto Lutzenberger se definiu como protocolo, amostras de 30 g, tempo de secagem de 4 minutos e a utilização de balança de precisão de dois dígitos. Um ponto importante para o método é a necessidade de utilização de placas de Petry ou outros materiais de vidro que possam ir ao micro-ondas, pois pelas altas temperaturas os recipientes podem quebrar. Foi criada uma tabela de calibração (Apêndice A) para o método, junto a um protocolo de determinação de umidade via micro-ondas, a fim de compartilhar o seu uso em outras unidades da empresa de outros estados como a da Bahia e a do Mato Grosso do Sul.

6.2. Tempo de secagem do *dregs* nos leitos de secagem

No período de estágio foi avaliado o quanto o material secava durante o período que permanecia nos leitos de secagem. Para tanto, foram realizados testes para se fazer uma curva de secagem do material durante o verão, conforme Figura 9.

Figura 9 – Avaliação ao longo do tempo do teor de umidade em *dregs* disposto em leitos de secagem da empresa Vida durante o verão.



Fonte: O autor.

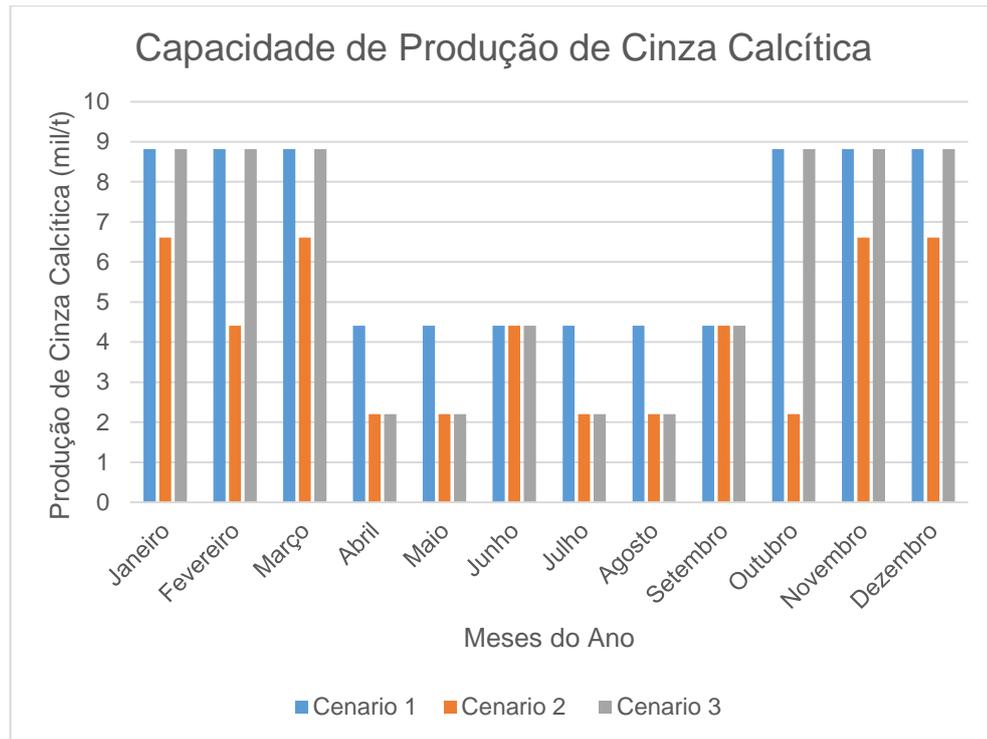
Isso indica que no verão o tempo de secagem é de quatro dias, somado com o dia para carregar e descarregar o material nos leitos, pode-se afirmar que no verão a cada semana é possível realizar a secagem do material, totalizando quatro secagens por mês. Essa informação é relevante para o planejamento da capacidade de secagem da empresa. No período de inverno onde ocorrem maiores volumes de chuvas e maior umidade relativa do ar o período de secagem pode levar de duas a três semanas.

6.3. A capacidade de reciclagem anual de *dregs* e produção de Cinza Calcítica

O sistema de tratamento desses materiais é um processo que promove a secagem desse resíduo contando quase que apenas com o clima, ainda que o armazenamento em pavilhões e nos próprios leitos de secagem configurem uma forma de manipulação. A radiação, a temperatura e o vento são as variáveis climáticas envolvidas na secagem do material, desta forma o trabalho empregado pode ser alterado significativamente nessas circunstâncias. A

Figura 10 representa um gráfico em que foram expostas as diferentes capacidades de produção a partir destas observações.

Figura 10 - Capacidade de produção de Cinza Calcítica em condições climáticas diferentes. Cenário 1: verão normal e inverno com estiagem; Cenário 2: verão chuvoso e inverno normal; Cenário 3: verão e inverno normal.



Fonte: O autor.

Entre os cenários explanados, o cenário 3 é aquele que mais representa as condições do Rio Grande do Sul, com processos de estiagem cada vez mais frequentes no estado. Como exemplo prático durante o estágio, Porto Alegre registrou apenas quatro dias com chuvas acima de 10 mm nesse período, (INMET, 2020), sendo que a chuva acumulada nos dois meses, foi metade da esperada.

Portanto, normalmente, a capacidade de produção anual de Cinza Calcítica da empresa, é de 70.506 t. Isso indica a quantidade disponível a ser comercializada pela empresa. Nesse sentido, de estimativas e projeções de produção de cinza, é importante que o setor de comercialização possua essa informação de capacidade, de modo a orientar as vendas. Contudo, podem ser incorporadas nessas estimativas, fenômenos que são comuns para o estado. Anomalias climáticas, como o El Nino e La Nina impactam diretamente e são indicativos de mudanças nessas projeções. O cenário 2, poderia ser aplicado em condições de El Nino, onde

são registradas pluviosidades acima do normal no estado, principalmente no verão. O cenário 1 por sua vez, demonstra invernos com pluviosidades abaixo da média, uma das características do fenômeno La Niña. Desta forma, a empresa pode se precaver quanto aos seus processos rotineiros, como reformas em leitos de secagem, necessidade de acelerar trabalhos, definir prioridades, enfim, se preparar para as diferentes condições climáticas.

6.4. Os produtos comercializados

As garantias de qualidade registradas junto ao MAPA, para os corretivos de acidez são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Garantias dos corretivos de acidez comercializados pela empresa Vida.

| Corretivos de Acidez do Solo | Cinza Calcítica¹ | Macro-Cálcio^{®-2} |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Poder de Neutralização (PN): | 90% | 95% |
| Reatividade (RE) | 82% | 96,80% |
| PRNT: | 74% | 91% |
| Óxido de cálcio (CaO): | 50% | 53% |
| Óxido de magnésio (MgO): | 0,50% | 0,20% |
| Umidade máxima: | 30% | 20% |

Fonte¹: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2015a).

Fonte²: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2015b).

Os produtos oriundos de *dregs* e lama de cal apresentam excelentes características como corretivos de acidez. Ambos apresentam elevado poder de neutralização, referentes a elevada capacidade dos produtos em neutralizar a acidez. Quanto ao PRNT o corretivo Cinza Calcítica apresenta um valor menor que o do Macro-Cálcio[®], resultado dos maiores teores de umidade nesse corretivo, que reagrupam as partículas, tornando-as maiores, diminuindo a sua reatividade. Ambos corretivos possuem similaridades com calcários calcíticos, pelas concentrações de cálcio e magnésio. A lama de cal pelo alto valor de PN e RE, apresenta também uma semelhança com calcários filler, que apresentam alta reatividade, reagindo rapidamente no solo. Uma outra característica desses produtos é que apresentam outros nutrientes em sua composição, um diferencial quando comparados aos produtos tradicionais. Portanto são corretivos de acidez eficientes, que possuem custos mais baixos que os produtos minerados, e contam com apelo ambiental.

6.5. Testes com a peneira rotativa

Nos testes com a peneira rotativa, a produtividade para a Cinza Calcítica (tabela 6) se mostrou bastante promissora, tendo seguido uma tendência de aumento da produtividade até o teto máximo de 5.000 t produzidas por mês de trabalho, o que se mostrou uma boa produtividade para a empresa, e está tendo espaço para melhorar com o aumento da experiência dos funcionários e operadores da máquina. Ainda assim a máquina apresentou alguns problemas de operação. Foram observados problemas quanto a saída do rejeito da peneira e parte final da peneira, local onde possíveis pedregulhos, pedaços de madeira poderiam causar acidentes de trabalho.

Assim, a peneira rotativa se mostra uma boa opção de peneira para a respectiva operação, uma vez que apresenta a praticidade de ser operada em campo, sem precisar estar ocupando um pavilhão coberto, diminui o volume de produto necessário a ser carregado pois os rejeitos são retirados, com uma boa produtividade. Contudo devem ser providenciadas melhorias no sentido de executar a operação com maior segurança para funcionários e operadores, principalmente no que tange a saída de rejeitos e o final da peneira.

Tabela 6 – Testes realizados na peneira móvel com Cinza Calcítica. Produtividade em teste com a nova peneira rotativa adquirida pela empresa.

| Data do Teste | Total Peneirado (kg) | Tempo de Operação (min) | Produtividade (t/mês) |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 15/01/2020 | 1075,8 | 3 | 2581 |
| 16/01/2020 | 8480 | 13 | 4696 |
| 16/01/2020 | 6860 | 10,5 | 4704 |
| 16/01/2020 | 9220 | 13 | 5106 |

Fonte: O autor.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O período em uma das empresas pioneiras no gerenciamento de resíduos foi importantíssimo para aprofundar os conhecimentos nesta área de atuação. O trabalho que a empresa Vida realiza é excelente, possuindo processos bem estabelecidos e que são referência. A destinação correta dos resíduos é uma excelente forma de mitigar impactos ambientais, gerar empregos e riqueza, contribuindo para a sociedade.

A liberdade e receptividade dada pela empresa durante as atividades, contribuiu para que a todo momento se buscassem alternativas, melhorias e contribuições para as operações. O

contato com outros engenheiros agrônomos e demais funcionários foi importante, oportunizando trocas de saberes entre gerações. Mesmo quando se alcança níveis excelentes de trabalho, ainda pode-se melhorar, nesse sentido, a empresa deve trabalhar para continuar o aperfeiçoamento no controle dos seus processos. A criação de um método expedito de determinação de umidade a partir de secagem em forno de micro-ondas é um exemplo e se mostrou bem-sucedido.

Referente ao curso de Agronomia da UFRGS, este teve a capacidade de suprir as necessidades básicas do gerenciamento de resíduos, solos, fertilizantes e corretivos. Os conceitos básicos transmitidos ao longo do curso, contribuíram e facilitaram o entendimento acerca das atividades realizadas no estágio. E mesmo para aqueles que não foram apresentados de maneira tão aprofundada, a universidade mostrou os meios de buscá-los.

O estágio é um ponto crucial na formação de qualquer estudante, pois mesmo que os currículos tenham aulas práticas, a graduação tende a ser muito teórica e, portanto, carece nesse aspecto. Desta forma, o estágio promove a complementação daqueles conteúdos que a graduação trouxe, além de contribuir para a inserção de novos aprendizados que nenhuma aula teórica é capaz de oferecer. Contudo, o tempo de estágio é muito pequeno para a grandiosidade de conhecimento que é apresentada e a realização deste nas férias pode prejudicar essa experiência. Além disso, o retorno após o estágio para cursar as disciplinas do final de curso, muitas vezes impede a inserção profissional imediata dos alunos, por isso, este, precisaria ser a última atividade realizada.

Por fim, o trabalho da empresa transforma um passivo ambiental em produtos com boas características agronômicas, gerando empregos e movimentando a economia local. Assim, o gerenciamento de resíduos, principalmente voltado a reciclagem e reinserção dos produtos na economia é chave para o desenvolvimento de uma nação, principalmente quando os caminhos da humanidade apontam para escassez de recursos naturais e uma maior preocupação com o meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020.

ABRACAL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTOS DE CALCÁRIO AGRÍCOLA. **Calcário agrícola** - Produção, entrega e consumo aparente por estado - 2018. *In*: ABRACAL. Porto Alegre, 10 jun. 2019. Disponível em: <http://www.abracal.com.br/arquivos/documentos/PRODU%C3%87%C3%83O%20-%20ENTREGAS%20-%20CONSUMO%20APARENTE.pdf>. Acesso em: 1º abr. 2020.

ALCARDE, J. C. **Corretivos de acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. (ANDA. Boletim técnico, 6).

ALMEIDA, Henrique Cesar. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de celulose (dregs). **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1669-1672, 2007. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol30No7_1669_31-AR06444.pdf. Acesso em: 2 abr. 2020.

ANDREUCCETTI, Melissa Tatiana. **Caracterização do licor negro de eucalipto na etapa de evaporação e correlação de suas propriedades**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/266948/1/Andreuccetti_MelissaTatiana_M.pdf. Acesso em: 1º abr. 2020.

BERGAMASCHI, Homero *et al.* **Boletins Agrometeorológicos da Estação Experimental Agrônoma da UFRGS**: série histórica 1970 - 2012. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, 2013. Disponível em: https://www.ufrgs.br/agronomia/joomla/files/EEA/Srie_Meteorologica_da_EEA-UFRGS.pdf. Acesso em: 14 mar. 2020.

BEZERRA, Lireida Maria Albuquerque. **Análise dos impactos socioambientais decorrentes da mineração na chapada do Areripe-Nova Olinda/Ceará**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/20230>. Acesso em: 1º abr. 2020.

BRADY, Nyle C. Reações do solo: acidez e alcalinidade. *In*: BRADY, Nyle C. **Natureza e propriedade dos solos**. 6. ed. rev. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983. cap. 14, p. 386-418.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. Instrução Normativa IBAMA nº 13, de 18 de dezembro de 2012. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 20 dez. 2012. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=248656>. Acesso em: 16 mar. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 147, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 1º abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 24 maio 2007. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-17-2007_76677.html. Acesso em: 15 abr. 2020.

BRASIL. Secretária de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa SDA nº 27, de 5 de junho de 2006. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 110, p. 15, 9 jun. 2006. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf/@_download/file/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf. Acesso em: 1º abr. 2020.

CASTRO, Heizir F. **Papel e celulose**. Lorena: Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena, 2009. Processos Químicos Industriais II. Apostila 4. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2020.

CORRÊA, Mauro Lúcio Torres. **Utilização de escória de aciaria como corretivo de acidez de solos para cultivos de soja e cana-de-açúcar e avaliação da contaminação ambiental**. 2006. 164 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/1653>. Acesso em: 1º abr. 2020.

DIAS, Nildo da S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In*: GHEYL, Hans Raj *et al.* **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. cap. 11, p. 151-161. Disponível em: <https://ppgea.ufc.br/wp-content/uploads/2018/04/manejo-da-salinidade-na-agricultura.pdf>. Acesso em: 1º abr. 2020.

FIGUEIREDO, L. S. **Modelagem matemática do estado estacionário de um real sistema de caustificação em uma fábrica de celulose**. 2009. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Centro Universitário do Leste de Minas, Coronel Fabriciano, 2009. Disponível em: https://www.unileste.edu.br/portal/mestrado/dissertacoes/dissertacao_014.pdf. Acesso em: 26 mar. 2020.

GARCIA, Giovanni de Oliveira *et al.* Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, Arica, v. 25, n. 3, p. 93-106, set./dez. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292007000300010>. Acesso em: 2 abr. 2020.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.2.5776. [S. l.]: Google LLC. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 4 de abr. 2020.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 19 mar. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Eldorado do Sul**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/eldorado-do-sul/panorama>. Acesso em: 13 mar. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/panorama>. Acesso em: 16 ago. 2020.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados Meteorológicos - Estações Automáticas. *In*: INMET. **Dados meteorológicos - Estações automáticas**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTgwMQ==. Acesso em: 10 abr. 2020.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Polpa e papel**. 3. ed. rev. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, 2013. 118 p. Material didático polpa e papel. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2020.

LASSO, Paulo Renato Orlandi *et al.* Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, p. 1659-1668, nov./dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600022>. Acesso em: 1º abr. 2020.

LUCHESE, Eduardo Bernardi; FAVERO, Luzia Otília Bortotti; LENZI, Ervim. Reações dos solos. *In*: LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002. cap. 5, p. 67-78. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/17593407/fundamentos-da-quimica-do-solo-livro-luchese>. Acesso em: 20 mar. 2020.

MAEDA, Shizuo; COSTA, Epítagoras Rodson Oliveira; SILVA, Helton Damin da. **Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2010. Disponível em: https://www.academia.edu/3179932/Uso_de_res%C3%ADduos_da_fabrica%C3%A7%C3%A3o_de_celulose_e_papel_e_da_reciclagem_de_papel. Acesso em: 31 mar. 2020.

MARTINS NETO, Rafael Gioia; RAMALHO, Júlia Soldati. A evolução do impacto ambiental acarretado pela extração de calcário, tendo como exemplo a mineração patercal-partezani, no Estado de São Paulo. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 24, n. 1, p. 31-42, abr. 2016. Disponível em: <https://seer.cesjf.br/index.php/cesRevista/article/view/662/520>. Acesso em: 1º abr. 2020.

MEDEIROS, João Carlos. **Resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na correção da acidez de um cambissolo húmico álico**. 2008. 69 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do

Solo) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008. Disponível em: <http://tede.udesc.br/handle/tede/2220>. Acesso em: 22 mar. 2020.

MELO, Joelma Ribeiro de *et al.* Estudo das características do licor negro. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 3, n. 1, p. 1-11, abr. 2011. Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11302/209209209314>. Acesso em: 29 mar. 2020.

MODOLO, Regina Célia Espinosa. **Valorização de resíduos do sector de pasta e papel em produtos da construção civil**. 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental Materiais e Valorização de Resíduos) - Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2006. Disponível em: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2243/1/2007001047.pdf>. Acesso em: 1º abr. 2020.

OLIVEIRA, E. A. F. *et al.* Impactos ambientais oriundos da extração de calcário laminado em Santana do Cariri (CE). **Natural Resources**, Aquidabã, v. 8, n. 2, p. 21-30, 2018. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2018.002.0003>. Acesso em: 1º abr. 2020.

OLIVEIRA, L. F. C.; ROQUE, C. G. Determinação da umidade do solo por micro-ondas e estufa em três texturas de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 4, p. 60-64, out./dez. 2016. Disponível em <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1163>. Acesso em: 1º abr. 2020.

OLIVEIRA, Luiz F. C. *et al.* Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 776-782, Jul. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700014>. Acesso em: 20 abr. 2020.

PASTORINI, L. H.; BACARIN, M. A.; ABREU, C. M. Secagem de material vegetal em forno de microondas para determinação de matéria seca e análises químicas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1252-1258, nov./dez. 2002. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/index.php/component/phocadownload/category/50-volume-26-numero-6?download=904:vol26numero6>. Acesso em: 2 abr. 2020.

PESSOA, M. L. (org.). Clima do RS. *In*: ATLAS FEE. Porto Alegre: FEE, 2017. Disponível em: <http://atlas.fee.tche.br/rio-grande-do-sul/socioambiental/clima/>. Acesso em: 1º abr. 2020.

RAYMUNDO, Valério *et al.* Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 47-53, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100007>. Acesso em: 1º abr. 2020.

RODRIGUES, L. R. *et al.* Caracterização de resíduos sólidos da indústria de celulose tipo kraft visando sua aplicação no desenvolvimento de materiais cerâmicos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22., 2016, Natal- RN. **Anais [...]**. Natal: UFERSA, UFRN, 2016. p. 1-11. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/104-057.pdf>. Acesso em: 2 de abril de 2020.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Diagnóstico da acidez e recomendação da calagem. *In*: SBCS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS. Núcleo Regional Sul, 2016a. cap. 5, p. 65-87.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Diagnóstico da fertilidade do solo e recomendações de adubação. *In*: SBCS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. Porto Alegre: SBCS. Núcleo Regional Sul, 2016b. cap. 6, p. 89-134.

STEINER, Claudia; HERRERA, Jorge; FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti. Resíduos sólidos industriais ou bens de produção? O conceito da Riocell. *In*: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABCP, 21., 1988, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABTCP, 1988. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1988.%20Res%EDduos%20ou%20bens%20de%20produ%E7%E3o.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020.

TRIGUEIRO, Rodrigo de Menezes. **Efeito "Dregs e Grits" nos atributos de um neossolo quartzarênico e na produção volumétrica de eucalipto**. 2006. 73 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101719>. Acesso em: 1º abr. 2020.

VIDA PRODUTOS E SERVIÇOS EM DESENVOLVIMENTO ECOLÓGICO. **Destinação de resíduos sólidos da Aracruz S. A.**: ampliação da unidade Guaíba/RS: anteprojeto da central de tratamento, reciclagem e disposição final de resíduos sólidos não-perigosos. Guaíba, jan. 2007. v. 1 - Memorial Descritivo, p. 1-55.

VIDA PRODUTOS E SERVIÇOS EM DESENVOLVIMENTO ECOLÓGICO. **Destinação de resíduos sólidos industriais da Celulose Riograndense**: Eldorado do Sul/RS: memorial descritivo da ampliação da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos do Horto Florestal José A. Lutzenberger. Porto Alegre, out. 2013. p. 1-53.

VIDA PRODUTOS E SERVIÇOS EM DESENVOLVIMENTO ECOLÓGICO. **Produtos no Rio Grande do Sul**: corretivos de acidez de solo: cinza calcítica®: garantias. Porto Alegre, 2015a. Disponível em: <http://vida-e.com.br/produtos/produtos-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 15 abr. 2020.

VIDA PRODUTOS E SERVIÇOS EM DESENVOLVIMENTO ECOLÓGICO. **Produtos no Rio Grande do Sul**: corretivos de acidez de solo: macro-cálcio®: garantias. Porto Alegre, 2015b. Disponível em: <http://vida-e.com.br/produtos/produtos-no-rio-grande-do-sul/>. Acesso em: 15 abr. 2020.

WIETHOLTER, Sírio. Dados estatísticos sobre o consumo e disponibilidade de calcário e perspectivas da calagem. *In*: WIETHOLTER, Sírio. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p. 51-58. (Documentos, 22). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/820412>. Acesso em: 2 abr. 2020.

APÊNDICES

Apêndice A – Tabela de calibração do método de determinação de umidade via micro-ondas.

CALIBRAÇÃO DO TEMPO DE SECAGEM PARA DETERMINAÇÃO DE UMIDADE EM MICROONDAS 

Responsável: _____ Data: ____/____/____ Horário: ____:____

Material Analisado: _____

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Identificação da Amostra: | | | | | | | | | |
| Peso do Vidro : | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Úmida: _____ min | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Seca xxxxxx | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Identificação da Amostra: | | | | | | | | | |
| Peso do Vidro : | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Úmida: _____ min | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Seca xxxxxx | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Identificação da Amostra: | | | | | | | | | |
| Peso do Vidro : | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Úmida: _____ min | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Seca xxxxxx | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Identificação da Amostra: | | | | | | | | | |
| Peso do Vidro : | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Úmida: _____ min | | | | | | | | | |
| Peso da Amostra Seca xxxxxx | | | | | | | | | |

Apêndice B – Tabela de cálculos de estimativa de produção de Cinza Calcítica para o cenário

1.

| Capacidade de Produção de Cinza Calcítica | | | | | | |
|---|------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Meses | Dias | Tempo de Secagem (Dias) | Secagens Por Mês (Calculado) | Secagens Por Mês (Ajustado) | Capacidade de Secagem (t) | Capacidade de Secagem (t/mês) |
| Janeiro | 31 | 7 | 4,43 | 4 | 2.203,32 | 8813,27 |
| Fevereiro | 29 | 7 | 4,14 | 4 | 2.203,32 | 8813,27 |
| Março | 30 | 7 | 4,29 | 4 | 2.203,32 | 8813,27 |
| Abril | 31 | 14 | 2,21 | 2 | 2.203,32 | 4406,63 |
| Maio | 30 | 14 | 2,14 | 2 | 2.203,32 | 4406,63 |
| Junho | 31 | 14 | 2,21 | 2 | 2.203,32 | 4406,63 |
| Julho | 30 | 14 | 2,14 | 2 | 2.203,32 | 4406,63 |
| Agosto | 31 | 14 | 2,21 | 2 | 2.203,32 | 4406,63 |
| Setembro | 30 | 14 | 2,14 | 2 | 2.203,32 | 4406,63 |
| Outubro | 31 | 7 | 4,43 | 4 | 2.203,32 | 8813,27 |
| Novembro | 30 | 7 | 4,29 | 4 | 2.203,32 | 8813,27 |
| Dezembro | 31 | 7 | 4,43 | 4 | 2.203,32 | 8813,27 |
| Capacidade de Secagem Anual | | | | | | 79319 (t/ano) |
| | | | | | | 72108 (m³/ano) |

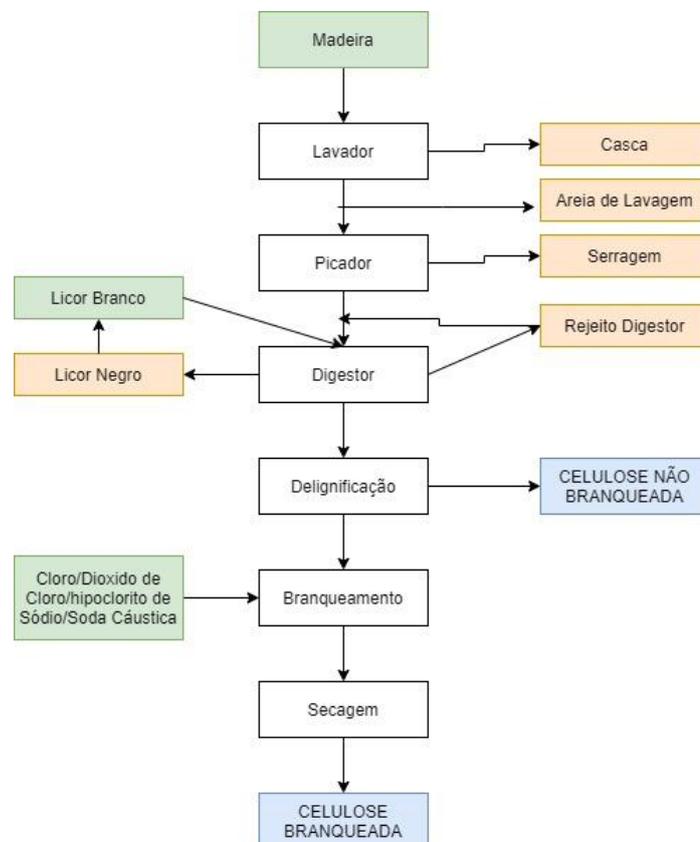
ANEXOS

Anexo 1 – Imagem aérea da central de tratamento do Horto Florestal Boa Vista



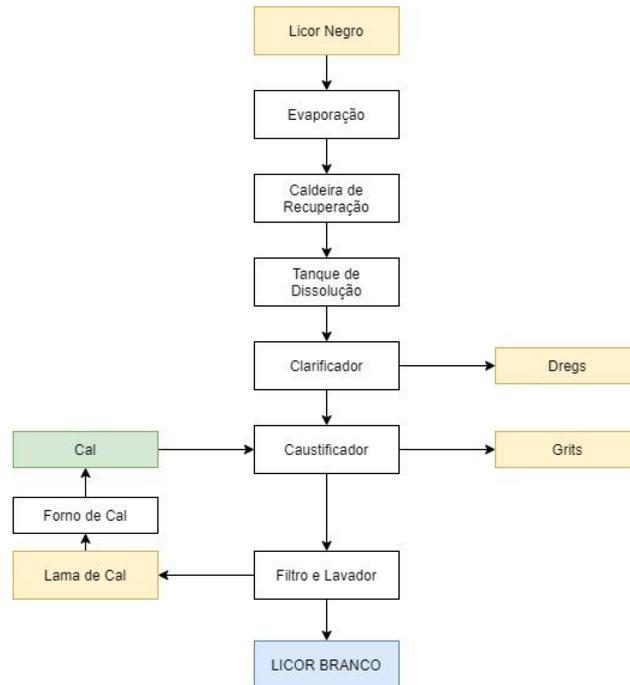
Fonte: Adaptado de Google Earth (GOOGLE, 2020).

Anexo B – Fluxograma do processo de fabricação de celulose e geração dos resíduos.



Fonte: Fonte: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2007, 2013).

Anexo C – Fluxograma de geração de resíduos no processo de recuperação do licor negro.



Fonte: Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico (2007, 2013).