

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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Alexssander Henrique Sausen

00250340

***“O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA
INDÚSTRIA DE CELULOSE CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE, COM
ENFOQUE NA COMPOSTAGEM DA CASCA DE EUCALIPTO”***

Supervisora de campo: Eng. Agr^a. Renata Maltz

Orientador Acadêmico: Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist

Porto Alegre, Maio de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE AGRONOMIA

AGR99006 - DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO

***“O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA
INDÚSTRIA DE CELULOSE CMPC CELULOSE RIOGRANDENSE, COM
ENFOQUE NA COMPOSTAGEM DA CASCA DE EUCALIPTO”***

Alexssander Henrique Sausen

00250340

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: Eng.^o Agr.^o Dr. Carlos Gustavo Tornquist

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof. Pedro Selbach..... Departamento de Solos

Prof. Alberto Vasconcellos Inda Junior..... Departamento de Solos

Prof. André Brunet..... Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Prof. José Antônio Martinelli..... Departamento de Fitossanidade

Prof. Sérgio Tomasini..... Departamento de Horticultura e Silvicultura

Prof. Renata Pereira da Cruz..... Departamento de Plantas de Lavoura

Prof. Alexandre de Mello Kessler..... Departamento de Zootecnia

Porto Alegre, Maio de 2021.

AGRADECIMENTOS

À sociedade brasileira, por permitir a existência da universidade pública, dando oportunidade para muitas pessoas cursarem o ensino superior gratuito e de qualidade;

À minha família, pela educação, incentivo e compreensão da minha ausência;

A minha tia Lisane Sausen que permitiu o início da realização de um sonho. Aos familiares Odilo, Blacídia, Jorge, Ana, Mônica e Gilmar, pelo apoio, incentivo e compreensão pela necessidade de adiar alguns momentos de lazer;

Ao meu querido amigo Eng^o Agrônomo Luís Henrique Dieter pela oportunidade de dividir muitos momentos bons na faculdade e também pela realização do estágio juntos. Também aos colegas e amigos Mateus W. Goulart, Rafael H. Caramori, Larissa J. Rocha, Maiz Bortolomiol e Marco Antonio Melo, além do pessoal do grupo “Nego Bissa e os Baitellis” por todos os momentos alegres e de parceria que tivemos ao longo da graduação, certamente a amizade de vocês tornou esse período muito mais prazeroso;

Ao prof^o Carlos Gustavo Tornquist pela orientação e auxílio em encontrar um bom local para realização do estágio. A supervisora de estágio Eng.^a Agrônoma Renata Maltz pela experiência e ensinamentos compartilhados nesse período, além da importante contribuição na realização deste trabalho;

Ao supervisor de campo Flávio Klein, assistentes de operação Hans e Marco pela parceria e experiência compartilhada durante o estágio. E a todos os demais funcionários da empresa;

A empresa Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico por abrir as portas para a realização do estágio;

A Faculdade de Agronomia da UFRGS e todos os professores do curso de graduação, que através de seus ensinamentos, permitiram a construção de uma visão crítica e um conhecimento sólido para a formação de Engenheiro Agrônomo.

RESUMO

No presente trabalho, foram abordadas e analisadas as atividades realizadas durante o Estágio Curricular Obrigatório na empresa “Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico”. A empresa atua no tratamento de resíduos da indústria de celulose e o estágio ocorreu nos meses de janeiro e fevereiro de 2020, nas centrais de tratamento de resíduos da empresa, no município de Eldorado do Sul – RS. O principal objetivo foi realizar o acompanhamento dos processos da empresa, visualizando e complementando os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em Agronomia, principalmente na área de gerenciamento de resíduos com destinação à agricultura. Foram realizadas atividades de acompanhamento de equipes de trabalho e rotina de operação nas centrais de tratamento, controle e monitoramento de qualidade de produtos no aspecto ambiental e também agrônômico, com enfoque no processo de compostagem da casca de *eucalipto*. Também foram desenvolvidas atividades que possibilitassem melhorias em algumas etapas da operação da empresa.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção mensal média de resíduos na CMPC Celulose Riograndense (2019).....	11
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Normais climáticas para Eldorado do Sul.....	10
Figura 2 - Armazenagem de dregs. Área aberta (A). Pavilhão (B).	21
Figura 3 - <i>Dregs</i> nas estufas de secagem. Descarga na estufa (A). Revolvimento e homogeneização do <i>dregs</i> no leito de secagem (B).	22
Figura 4 - Processo de secagem de <i>dregs</i> em micro-ondas. <i>Dregs</i> úmido (A). <i>Dregs</i> após a secagem (B). Comparativo do <i>dregs</i> antes e após a secagem (C).	23
Figura 5 - Etapas de tratamento do lodo de <i>ETE</i> . Vala de fermentação (A). Pré- secagem em leito (B). Secagem em área de polimento (C). Fases da transformação do lodo durante a fermentação anaeróbia (D).....	24
Figura 6 - Canal vegetado com <i>Thypha</i> sp.....	26
Figura 7 - Recirculação do percolado.....	27
Figura 8 - Decomposição da casca de eucalipto ao longo do tempo de compostagem. Um mês de compostagem (A); Três meses de compostagem (B); Nove meses de compostagem (C); Doze meses de compostagem (D).	29
Figura 9 - Temperatura da leira pelo método direto	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO	9
2.1. Clima	9
3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO	10
3.1. Serviços prestados para a CMPC Celulose Riograndense em Guaíba.....	11
3.2. Centrais de tratamento em Eldorado do Sul.....	12
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
4.1. Gestão e tratamento de resíduos no Brasil	12
4.2. Legislação	13
4.3. Produção da polpa celulósica e a geração de resíduos	14
4.4. Tratamento de resíduos orgânicos	16
5. ATIVIDADES REALIZADAS.....	19
5.2. Visita à indústria de Celulose	19
5.3. Acompanhamento do processo de tratamento de resíduos calcários nas centrais de tratamento	19
5.3.1. Recebimento e armazenagem.....	20
5.3.2. Secagem e homogeneização	21
5.3.3. Determinação de umidade do <i>dregs</i> por micro-ondas.....	22
5.4. Acompanhamento do processo de tratamento do lodo de ETE	23
5.5. Acompanhamento do processo de compostagem da casca de <i>eucalipto</i>	25
5.5.1. Geração, transporte e recebimento	25
5.5.2. Compostagem da casca	25
5.5.3. Beneficiamento.....	29
5.5.4. Monitoramento da temperatura das leiras de compostagem.....	30
5.6. Outras atividades.....	31
6. DISCUSSÃO E RESULTADOS OBTIDOS	32
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXOS	40
APÊNDICES	43

1. INTRODUÇÃO

Resíduos gerados a partir de processos agrícolas e industriais podem apresentar diversas potencialidades de uso na agricultura, embora muitas vezes tenham que passar por tratamentos visando eliminar patógenos e contaminantes presentes e melhorando a qualidade para uso final. As indústrias de papel e celulose têm grande importância na economia brasileira, mas segundo Venancio (2020), apresentam intensiva utilização de recursos naturais, principalmente água e madeira gerando muitos efluentes e resíduos sólidos com potencial de uso na agricultura.

De acordo com o relatório anual da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), o setor de base florestal é de grande importância econômica no Brasil, tendo sido responsável no ano de 2019 por 1,2% do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, com uma receita bruta de R\$ 97,4 bilhões, e gerado oportunidade de trabalho para 3,75 milhões de pessoas no país. A área com florestas plantadas atingiu em 2019 nove milhões de hectares, dos quais 77% corresponde ao cultivo de *eucalipto*. Ainda de acordo com o relatório, o Brasil é o segundo maior produtor de celulose no mundo, tendo atingido 19,7 milhões de toneladas em 2019, dos quais 75% foi destinado para a exportação.

Atuando com princípios de sustentabilidade, o setor tem aderido cada vez mais a programas de certificação e rastreabilidade dos produtos, incluindo certificações como o Forest Stewardship Council® (FSC®) e Cerflor (Programa Brasileiro de Certificação Florestal), que são reconhecidos internacionalmente pelo PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification), além da ISO 14000, que visa criar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) nas empresas, garantindo que estejam de acordo com todas as políticas e leis ambientais.

A pressão socioambiental sobre o setor nos últimos anos obrigou o setor a fazer uma gestão rigorosa dos resíduos sólidos em suas atividades. Conforme IBÁ (2019), o setor gerou 52 milhões de toneladas de resíduos sólidos em 2018, dos quais 36,9 milhões (70,9%) foram gerados pelas atividades florestais e 15,1 milhões (29,1%) pelas operações industriais. Dos resíduos florestais, 98% permanece no campo,

incluindo cascas, galhos e folhas. Em relação aos resíduos industriais, 63,2% são destinados para geração de energia dentro das próprias unidades, e 34% são reutilizados como matéria-prima em outras empresas.

O Brasil apresenta alta eficiência na produção de celulose, que confere ao país vantagens competitivas por condições edafoclimáticas favoráveis, extensão territorial, tecnologias evoluídas através de um longo histórico de investimento em pesquisa e desenvolvimento florestal (MORALES et. al., 2012; HORA, 2017). Tais condições conferem potencial de crescimento ao setor, e com isso um aumento também na geração de resíduos, que por sua vez abre mais espaço no mercado para empresas que trabalham com o gerenciamento e tratamento dos resíduos sólidos, bem como para profissionais atuantes na área.

Este contexto associado ao interesse do aluno, inspirou para a realização do estágio na empresa Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico, mais especificamente na central de tratamento do Horto Florestal José Antônio Lutzenberger, localizada no km 10 da estrada Santa Maria em Eldorado do Sul – RS, entre os dias 2 de janeiro a 28 de fevereiro de 2020, totalizando 320 horas.

O objetivo do estágio foi conhecer e acompanhar a rotina da empresa no que tange ao gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos, as operações necessárias nos processos de reciclagem para que os resíduos sejam transformados em produtos comercializáveis e destinados ao setor agropecuário. No desenvolvimento deste trabalho, foi dada maior ênfase no processo de compostagem da casca de *eucalipto*, um dos resíduos recebidos e transformados na central de tratamento da empresa.

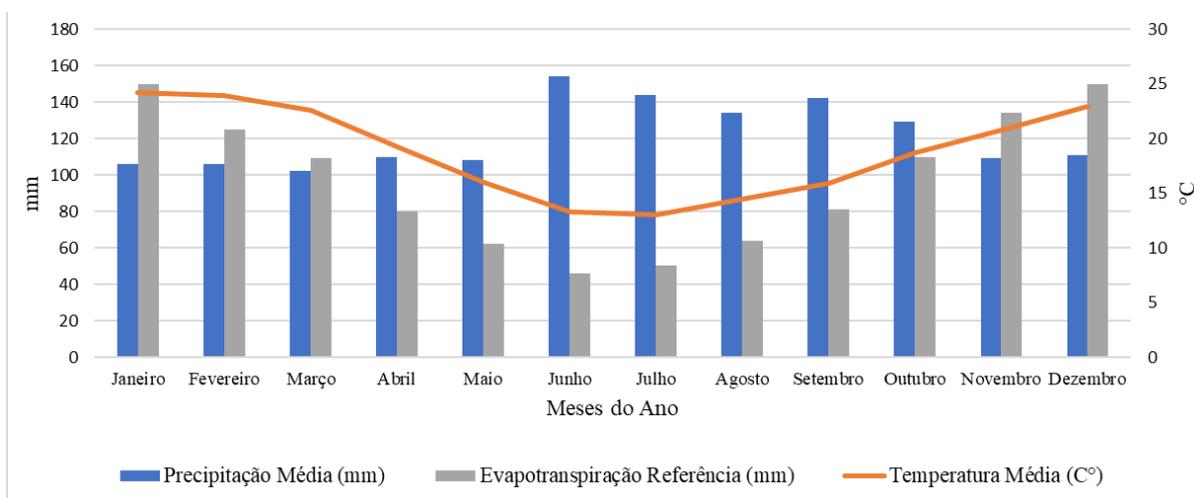
Ao longo da realização do estágio, além do acompanhamento das atividades da empresa, buscou-se desenvolver também atividades paralelas que pudessem contribuir nos processos da empresa. A realização do estágio permitiu conhecer melhor a complexidade e os desafios na área de gestão de resíduos, tendo sido de grande valia para a formação de Engenheiro Agrônomo.

2. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

O estágio foi realizado no município de Eldorado do Sul no Rio Grande do Sul (RS), localizado à 12 km de Porto Alegre, sendo acessado via BR-116 e BR-290. Está inserido na mesorregião metropolitana de Porto Alegre e possui limites geográficos com os municípios de Porto Alegre, Guaíba, Triunfo, Mariana Pimentel, Charqueadas e Arroio dos Ratos. De acordo com o IBGE, Eldorado do Sul possui uma população estimada em 41.902 pessoas e apresentou no ano de 2018 um PIB per capita de R\$ 39.551,13, com Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de 0,717. O município tem atraído investimentos em diversos segmentos empresariais, com destaque para empreendimentos no setor imobiliário em função da sua proximidade com a Capital, a tranquilidade e qualidade de vida. No setor primário destacam-se a orizicultura, a pecuária e a produção de hortifrutigranjeiros.

2.1. Clima

Para caracterização climática foram utilizados dados de Bergamaschi (2013) e são apresentados na Figura 1, indicando que Eldorado do Sul se enquadra no grupo climático Cfa (subtropical húmido) conforme classificação de Koeppen, com temperaturas superiores a 22°C no verão e com precipitação superior a 30 mm no mês mais seco. Dentre as características mais relevantes para as atividades realizadas nas centrais de tratamento da empresa, destacam-se a precipitação, a temperatura média mensal e a evapotranspiração. Os meses com maior volume de chuva ocorrem entre junho e setembro, enquanto que nos meses de novembro a março a precipitação média é inferior aos valores da Evapotranspiração de Referência, sendo estes os meses mais propícios para a secagem de produtos realizada a céu aberto na empresa.

Figura 1 – Normais climáticas para Eldorado do Sul.

Fonte: Dieter, 2020, adaptado de Bergamaschi (2013).

3. CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO

A empresa “Vida Produtos e Serviços e Desenvolvimento Ecológico” possui mais de 30 anos de experiência na área de tratamento de resíduos, tendo sido fundada em 1979 pelo ambientalista gaúcho, formado em agronomia e ciências naturais, José Antônio Lutzenberger, com o objetivo de propor soluções práticas aos problemas ambientais causadas pela destinação inadequada de resíduos e efluentes da indústria florestal da época. O início das atividades foi marcado pela transformação de cascas de acácia em fertilizante. No mesmo ano também foi fundada a “Tecnologia Convivial - Consultores em Desenvolvimento Ecológico Ltda.”, voltada para realização de consultorias para o tratamento de efluentes de indústrias e que também atuava na área de paisagismo.

A década de 80 foi marcada pelas consultorias ao setor coureiro calçadista, promovendo melhorias nos processos industriais, o que resultou no melhor aproveitamento de insumos e reciclagem de materiais orgânicos. Ainda durante a década de 80, a então indústria de Celulose Riocell, localizada às margens do Rio Guaíba, no município de Guaíba, sofria grande pressão social e do movimento ambientalista do estado do RS em função dos fortes odores emitidos pela fábrica e também dos resíduos que eram despejados diretamente no rio. Os problemas do forte odor foram solucionados por melhorias nos processos industriais, enquanto que

Lutzenberger tornou-se consultor da empresa visando alternativas ao tratamento para o lodo de esgoto e os resíduos calcários.

Desde então a Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico tem aprimorado suas técnicas, funcionários e tecnologias de processos, contando atualmente com mais de 200 funcionários nas centrais de tratamento de resíduos nos estados do Rio Grande do Sul, Bahia, Mato Grosso do Sul e Maranhão.

3.1. Serviços prestados para a CMPC Celulose Riograndense em Guaíba

A empresa é prestadora de serviços à fábrica CMPC Celulose Riograndense, sendo responsável pela coleta e destinação correta dos resíduos gerados no processo de produção da celulose. Os resíduos são coletados dentro da fábrica e transportados até as centrais de tratamento em Eldorado do Sul. As quantidades mensais geradas e destinadas ao tratamento no ano de 2019, bem como a finalidade de cada tipo de resíduo, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Produção mensal média de resíduos na CMPC Celulose Riograndense (2019).

Resíduo	Toneladas	Finalidade
Lodo de ETE	12631,7	Produção de Fertilizante Orgânico
<i>dregs e grits</i>	9795,91	Produção de Corretivo de Acidez
Casca de <i>eucalipto</i>	5754,47	Produção de Substrato para plantas
Lama de Cal	2715,75	Produção de Corretivo de Acidez
Total	30897,83	-

Fonte: Memorial Descritivo das operações da empresa.

O resíduo em maior quantidade no ano de 2019 foi o lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE), com mais de 150 mil t, seguido por *dregs e grits*. Além destes resíduos sólidos enviados para as centrais de tratamento, existem outros que recebem destinações distintas, sendo encaminhadas para empresas de reciclagem, empresas que recebem resíduos classificados como perigosos ou ainda empresas que utilizam resíduos como matéria prima para processos industriais.

3.2. Centrais de tratamento em Eldorado do Sul

A Vida Produtos e Serviços em Desenvolvimento Ecológico Ltda. desenvolve suas atividades em duas centrais de tratamento no município de Eldorado do Sul: o Horto Florestal José Antônio Lutzenberger (ANEXO A), com uma área de 99 ha, onde recebe e recicla principalmente os resíduos calcários (*dregs* e *grits* e lama de cal) e o lodo de ETE; e o Horto Florestal Boa Vista (ANEXO B), com uma Central de Tratamento com 10 ha de área, onde é recebida e compostada a casca de *eucalipto*. Esta última, após a compostagem, é levada para o Horto Lutzenberger para processamento e comercialização.

No Horto Lutzenberger fica localizada a central administrativa dos hortos e o pavilhão de beneficiamento, onde o lodo de ETE e a casca de *eucalipto* já tratados e estabilizados são peneirados e comercializados, à granel ou ensacados. Anexo ao pavilhão também existe um laboratório para controle interno de qualidade e monitoramento, com alguns equipamentos básicos como balança de precisão, estufa de secagem, vidrarias, medidor de pH e medidor de condutividade elétrica. Neste laboratório foram realizados e desenvolvidos alguns testes que serão apresentados no presente trabalho.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Gestão e tratamento de resíduos no Brasil

Ao longo do desenvolvimento das civilizações e das cidades no mundo, a produção de resíduos sólidos tem aumentado, mas apenas após a Revolução Industrial que os resíduos passaram a ganhar importância, principalmente, no que tange a saúde pública, enquanto que apenas na década de 1970 que estes tiveram um peso maior também na questão ambiental (DEUS et al., 2015).

No Brasil foi instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos (CIVIL, 2010) através da Lei Nº 12.305 de 2 agosto de 2010, que dispõe sobre os instrumentos necessários para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos. Segundo DA SILVA

et al. (2016), esta Lei preencheu uma lacuna na legislação ambiental brasileira, dispondo sobre todos os instrumentos necessários para o correto gerenciamento dos resíduos sólidos, sendo tida como referência mundial em normativa ambiental. No entanto, os mesmos autores defendem que existem inúmeros desafios para a sua execução, principalmente relacionados às burocracias no acesso a recursos financeiros e incentivos fiscais concedidos pela União.

4.2. Legislação

A Lei nº 12.305/2010 define resíduos sólidos 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”.

O gerenciamento de resíduos sólidos é definido pela mesma Lei 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 NBR 10004 classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública (ABNT,2004): podem ser classificados em Classe I – Perigosos, quando apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade; Classe II – A (não perigosos e não inertes) quando apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade; Classe II – B (não perigosos e inertes) quando não se enquadram nas classes anteriores.

Outras regulamentações devem ser consideradas no que diz respeito ao pós tratamento dos resíduos, pois a destinação final dos produtos é a agricultura, e são descritas a seguir:

- IN N° 61, DE 8 DE JULHO DE 2020: Estabelece normas sobre as exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e biofertilizantes destinados à agricultura;
- IN N° 35, de 04 de julho de 2006: Estabelece as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura;
- IN N° 27 de 05 de junho de 2006 (alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016): Estabelece às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas, para produção, importação ou comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

4.3. Produção da polpa celulósica e a geração de resíduos

O processo *Kraft* tem sido dominante na produção e obtenção da celulose (CORREIA, 2010; ALVES, 2015; VENANCIO, 2020), sendo sua principal função dissolver a lignina, separando as fibras de celulose e hemicelulose em meio alcalino sem degradá-las, em um processo de cozimento contínuo. Para Foelkel (2009), a grande vantagem do processo *Kraft* consiste na sua capacidade de ter mínimas perdas químicas e máxima eficiência energética, uma vez que de 96 a 97% dos reagentes químicos utilizados na polpação são recuperados. Além disso, uma fábrica é capaz de ser autossuficiente em geração de energia a partir da queima da fração de madeira dissolvida no licor residual denominado licor preto.

As principais etapas em uma fábrica de processo *Kraft* e a geração de resíduos estão apresentados nos Anexos C e D. As etapas de extração e produção de celulose são o descascamento da madeira, picagem da madeira em cavacos, cozimento, depuração, lavagem, branqueamento e secagem (CORREIA, 2010). O processo inicia com a chegada das toras de madeira no pátio da fábrica, sendo então lavados e posteriormente encaminhados para o picador para obtenção dos cavacos de madeira, que antes de serem encaminhados para o digestor, ainda são peneirados para padronizar o tamanho. Nessas etapas os primeiros resíduos são gerados, na limpeza

do pátio são coletados pedaços de madeira e toras, cascas que vieram dos hortos florestais e que se desprendem no manuseio das toras, além de argilas, areia, serragem e pequenos cavacos gerados no peneiramento (MAEDA, 2010).

Os cavacos, então, entram no processo de cozimento ou digestão, juntamente com uma solução alcalina denominada de licor branco, composta por hidróxido de Sódio (NaOH) e sulfato de Sódio (Na₂S), sob pressão e altas temperaturas (150 a 170 °C), separando as fibras de celulose da lignina (VENANCIO, 2020). Nesse processo de digestão são gerados a pasta de celulose, ou *polpa marrom* (celulose, mais hemicelulose e resquícios de lignina), e um subproduto, conhecido como *licor preto*, rico em lignina e compostos químicos utilizados na digestão (COSTA, 2015; ALVES, 2015).

A pasta de celulose (*polpa marrom*), resultante do processo de cozimento, contém lignina e outras moléculas remanescentes que conferem a cor referida no nome. Para melhorar as propriedades industriais da pasta de celulose, ela passa por um processo de *branqueamento*, no qual é lavada e depurada para deixá-la mais branca, com maior pureza química, sendo por fim, levada ao processo de secagem (POLOWSKI, 2009; FAVERO et. al. 2014).

O *licor preto* é encaminhado para o processo de recuperação química e energética, o qual envolve fases de evaporação, recuperação e caustificação (CAMPOS & FOELKEL, 2016). Conforme Favero et. al. (2014), a primeira etapa da recuperação química é a evaporação, que visa elevar o teor de sólidos do licor para que seja possível a próxima etapa que é a queima do licor, gerando energia. Para Campos e Foelkel (2016), o *licor preto* logo após ser gerado, ainda é bastante diluído (denominado de *licor preto fraco*), com 14 a 16% de sólidos secos, após a evaporação da água o teor de sólidos passa para mais de 60%.

No processo de queima do *licor preto*, o sulfato de sódio (Na₂SO₄) é reduzido em sulfeto de sódio (Na₂S), recuperando um dos reagentes do *licor branco*, utilizado no início do processo de polpação (FIGUEIREDO, 2009 apud ALVES, 2015). No fundo da caldeira é formada uma massa líquida composta por carbonato de sódio (Na₂CO₃) e sulfeto de sódio (Na₂S), designada de *smelt* que, ao ser dissolvida, é denominado de *licor verde* (NAVIGATOR PULP SETÚBAL S.A., 2018 apud VENANCIO, 2020).

O *licor verde* vai para a próxima etapa denominada de caustificação, onde adiciona-se óxido de cálcio (CaO), que converte o carbonato de sódio em hidróxido de sódio (NaOH) produzindo e recuperando o segundo reagente do *licor branco* (POLOWSKI, 2009). Nessa etapa também é formado um precipitado de carbonato de cálcio (CaCO₃), porém contaminado com reagentes do *licor branco*, conhecido como *lama de cal* (CAMPOS & FOELKEL, 2016). A *lama de cal* é enviada para o forno de cal para a queima (calcinação) do carbonato de cálcio, recuperando o óxido de cálcio (cal virgem) utilizada no início do processo de caustificação, assim funcionando como um sistema de ciclo fechado (ALVES, 2015).

Para Melo (2011) as etapas de recuperação química e energética garantem viabilidade econômica ao processo de polpação, pois recuperam os insumos utilizados no licor de cozimento e geram energia, reduzindo os custos de produção, além de diminuir a geração de resíduos. Os resíduos gerados no processo de recuperação química são o *dregs* (impurezas insolúveis do licor verde), o *grits* (cal não reagida na caustificação) e a *lama de cal* quando o forno de cal não está em operação (GUERRA, 2007).

Para Maeda (2007), os resíduos gerados no processamento mecânico e químico da madeira pelas indústrias apresentam alto teor de matéria orgânica podendo conter compostos com risco ambiental, sendo, portanto necessária a disposição final adequada. Para cada 100 t de celulose produzidas, são gerados 48 t de resíduos que necessitam de destinações técnica, econômica e ambientalmente aceitáveis, como a disposição em aterros sanitários ou então devem ser tratados.

4.4. Tratamento de resíduos orgânicos

Para Guerra (2007), os resíduos mais expressivos gerados no processo de obtenção da celulose são as cascas da madeira. Devido a esse grande volume, empresas do setor tem adotado uma estratégia de realizar o descascamento das toras no campo e/ou realizar a queima das mesmas para geração de energia elétrica e vapor para processos industriais. Barreto (2008) descreve que existem variações entre as empresas nas quantidades de resíduos gerados, e segundo Nolasco (2000,

apud Barreto, 2008) as cascas representam, 24% dos resíduos, seguidos pelo *lodo de ETE* (17%), *dregs e grits* (14%) e cinzas de biomassa (11%).

Entretanto, diferentemente do que é apresentado por Barreto (2008), na CMPC Celulose Riograndense, o resíduo gerado em maior quantidade é o *lodo de ETE*, seguido por *dregs e grits* (Tabela 1), justamente porque a CMPC adota o descascamento das toras de *eucalipto* no campo, permanecendo a maior parte da casca nas áreas de colheita. Mesmo assim, no desembarque das toras na planta industrial ainda foi produzido um volume expressivo de quase 6 mil toneladas mensais em 2019. De fato, existem diferenças nos processos adotados entre as empresas de celulose, portanto não é possível fazer comparações diretas.

Em muitas indústrias de celulose a biomassa é utilizada para geração de energia, mas não é o que acontece na CMPC Celulose Riograndense, ocorrendo, portanto, a necessidade da correta destinação desse resíduo. Dentre as principais alternativas ao tratamento de resíduos orgânicos destaca-se a compostagem (GUERRA, 2007). A compostagem é um processo de decomposição aeróbia, que permite a estabilização de substratos orgânicos, passando por uma elevação da temperatura devida à atividade biológica, e que permite a obtenção de um produto final (composto) estável e sanitizado (BUDZIAK et al., 2004; HAUG e BUENO, 2008; VALENTE, 2009). O processo é mediado por microorganismos que reduzem a relação C/N dos resíduos, e quando bem conduzido, permite a aplicação direta do composto em solos agrícolas, favorecendo o desenvolvimento vegetal.

De acordo com Silva (2009), o processo de compostagem pode ser simplificado em três fases, sendo a inicial marcada pela atividade de microorganismos mesófilos, uma fase intermediária onde atuam os termófilos, e uma fase de maturação onde ocorrem os principais processos de humificação.

Na primeira fase do processo de compostagem, predominam bactérias responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica e degradação de compostos orgânicos simples como açúcares, liberando calor na massa (Azevedo, 1997, apud Herberts, 2005). Nesta fase também atuam fungos que utilizam como fonte de energia a matéria orgânica sintetizada principalmente pelas bactérias, produzindo ácidos que

degradam proteínas, amidos e açúcares (CORRÊA et al., 1982; PEREIRA NETO, 2007; TURNER, 2002, apud VALENTE, 2009).

Na segunda fase do processo ocorre a morte dos microorganismos mesófilos em função da grande liberação de calor durante a fase inicial, multiplicando-se actinomicetos, bactérias e fungos termófilos. Actinomicetos e fungos atuam principalmente na decomposição da celulose e lignina, enquanto que bactérias degradam lipídeos e hemicelulose (RIFFALDI et al., 1986; KIEHL, 1986, apud VALENTE, 2009; PEIXOTO, 1988).

Na fase de maturação do composto ocorre um decréscimo da temperatura, onde são encontrados actinomicetos e fungos mesofílicos (HERBERTS, 2005).

Brito (2005) afirma que o composto estará maduro quando a temperatura se mantém constante durante a movimentação do material, no entanto Valente (2009), ao estudar os fatores que afetam a compostagem, conclui que a avaliação da maturidade de compostos orgânicos deve ser realizada, associando-se vários parâmetros, pois a degradação das frações orgânicas depende da origem e dos materiais utilizados na compostagem.

Segundo Costa et al. (2005) e Herberts (2005), os fatores que mais influenciam o processo de compostagem são a temperatura, aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio e nutrientes. Tais fatores influenciam o tempo necessário para estabilização e a qualidade final do composto (FIORI, 2008).

Guerra (2007) avaliou a capacidade de eliminação da contaminação microbiológica (coliformes termotolerantes, *Salmonella*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos) por meio da compostagem. As pilhas de compostagem foram formadas com casca de *eucalipto* e lodo biológico na proporção 1:1 e conduzidas por 90 dias. Os resultados obtidos comprovaram a eficiência da compostagem em eliminar os microorganismos indicadores e patogênicos.

Conforme Guerrini (2003) a compostagem com o uso das cascas de espécies florestais é uma alternativa viável, pois são ricas em cálcio mas pobres em nitrogênio o que dificulta a sua decomposição. Além disso, substâncias fenólicas e/ou aromáticas presentes na parede celular da casca, podem apresentar funções bactericidas, fungicidas ou inibidoras de crescimento (Zoettl, 1980, apud Guerrini, 2003).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

5.1. Acompanhamento da rotina da empresa

O estágio foi realizado nas Centrais de Tratamento da empresa, conhecendo e acompanhando a rotina de atividades da empresa no Horto Florestal Lutzenberger e no Horto Florestal Boa Vista. Foi possível acompanhar todo o processo de tratamento dos diferentes resíduos enviados para as Centrais de Tratamento (*dregs e grits, lama de cal, lodo de ETE e casca de eucalipto*), bem como as fases finais que envolvem o beneficiamento e comercialização dos mesmos, já convertidos em produtos. Após passar por estas etapas, buscou-se dar maior ênfase ao processo de compostagem da casca de *eucalipto*, embora outras atividades paralelas também tenham sido realizadas.

5.2. Visita à indústria de celulose

Na visita realizada à indústria “CMPC Celulose Riograndense” foi possível observar as principais etapas da produção da celulose, desde a chegada das toras de madeira no pátio até o pavilhão de estocagem da celulose. Foi possível compreender a complexa logística na qual a fábrica opera, e da mesma forma a importância da adequada separação e coleta dos resíduos, permitindo que cada um tenha a destinação correta, pois só é possível coletar e tratar eficientemente os resíduos quando são separados adequadamente na origem.

Inúmeras capacitações e treinamentos são realizados em educação ambiental, de modo que sejam tomados os devidos cuidados tanto na separação e operação dos diversos resíduos, como também em segurança do trabalho, visando orientar e prevenir quaisquer incidentes que possam prejudicar a saúde dos trabalhadores.

5.3. Acompanhamento do processo de tratamento de resíduos calcários nas centrais de tratamento

Os resíduos calcários recebidos e tratados na empresa são os *dregs e grits*, além da lama de cal, eventualmente, quando ocorrem manutenções ou quebra no forno de cal. O enfoque será dado ao *dregs e grits* pois são recebidos constantemente,

são tratados e apresentam potencial de uso na agricultura devido às propriedades corretivas de acidez do solo.

5.3.1. Recebimento e armazenagem

Os *dregs* e *grits* são tratados de maneira separada na empresa. Embora quimicamente ambos possuam características similares como teor de nutrientes e pH elevado com potencial para corrigir a acidez do solo, *grits* possui uma granulometria mais grosseira comparado ao *dregs*, o que diminuiria a reatividade no solo caso fossem misturados. Desta forma o Grits é comercializado diretamente para indústrias de cimento que o utilizam em seus processos, ou então é utilizado na própria central de tratamento para compactação dos pisos dos leitos de secagem de *dregs*, evitando a contaminação do mesmo com a argila compactada (impermeabilização do solo).

O principal tratamento dado aos *dregs* é a secagem do material em estufas para reduzir o teor de umidade, conferindo as garantias de no máximo 30% de umidade, conforme registro no MAPA. Especialmente no inverno a capacidade de secagem nas estufas é inferior aos volumes gerados, portanto existem dois locais de armazenagem do *dregs* no recebimento, um em área aberta (Figura 2 – A) e outro em pavilhão coberto (Figura 2 – B), porém antes de ser descarregado são realizadas duas etapas de triagem.

Figura 2 - Armazenagem de *dregs*. Área aberta (A). Pavilhão (B).



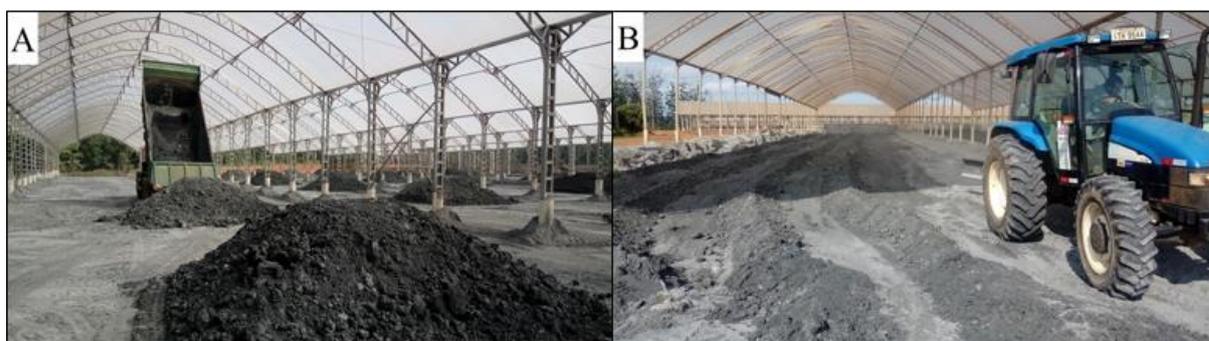
Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

Na primeira etapa de triagem, admite-se um teor máximo de 5% sódio no *dregs*, que pode ocorrer quando ocorre alguma falha no processo de recuperação dos reagentes químicos na fábrica, neste caso o resíduo é direcionado diretamente para um aterro sanitário. A segunda triagem é em relação ao teor de umidade, quando o material apresenta teor de umidade superior a 30%, é destinado para a área aberta de *dregs* armazenado (Figura 2 – A), e quando o material apresenta um teor de umidade inferior a 30%, é direcionado para armazenagem no pavilhão (Figura 2 – B), protegendo-o do molhamento por precipitações o que aumentaria o teor de umidade para níveis indesejados, assim, otimizando a próxima etapa que é a secagem e homogeneização. No *dregs* armazenado na área aberta ocorre a lixiviação do sódio remanescente através das precipitações, essa água residual é acumulada num tanque cuja principal finalidade é armazenar o percolado com maior concentração de sódio.

5.3.2. Secagem e homogeneização

Na central do Horto Lutzenberger existem dois leitos cobertos para secagem de *dregs* com capacidade estimada de aproximadamente 2200 toneladas. Conforme disponibilidade de leitos, os *dregs* são levados da área aberta e descarregados nos leitos de secagem (Figura 3 - A), sendo posteriormente espalhado e revolvido (Figura 3 - B), de modo a garantir a homogeneização do material e quebrar agregados que se formam devido a umidade.

Figura 3 - *Dregs* nas estufas de secagem. Descarga na estufa (A). Revolvimento e homogeneização do *dregs* no leito de secagem (B).



Fonte: DIETER, 2020.

O monitoramento do teor de umidade do *dregs* no leito é realizado empiricamente com base na experiência adquirida ao longo dos anos com o resíduo e, eventualmente, pelo método de secagem em estufa (65°C por 24hs) conforme a IN 17 de 2007 do MAPA. No entanto este método apresenta a desvantagem do tempo necessário para obter o resultado, por isso não é utilizado para tomada de decisão. Baseado nisso, buscou-se ao longo do estágio alternativas para se obter resultados mais rápidos e precisos para auxiliar na tomada de decisão da retirada ou não do material do leito de secagem.

O processo de secagem dura entre 4 e 8 dias, conforme condições climáticas, e ao atingir a umidade desejada, o *dregs* é coletado e armazenado no pavilhão até o momento da comercialização. Os maiores compradores são cooperativas e produtores do setor de grãos, e a venda é feita à granel e ocorre ao longo do ano, mas atinge o pico antes do início da safra de verão, sendo assim há a necessidade de otimizar o processo de secagem ao longo do verão para garantir o estoque.

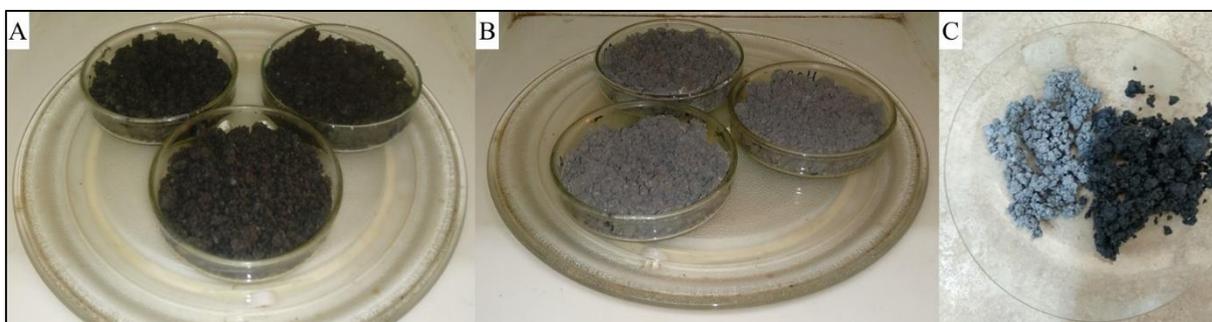
5.3.3. Determinação de umidade do *dregs* por micro-ondas

O método oficial para determinação de umidade necessita de 24 h para ser concluído, no entanto, em um dia com condições climáticas favoráveis para secagem (basicamente vento e temperaturas elevadas), o teor de umidade final (após 24h da coleta) poderá ser muito diferente daquele que o material apresentava no momento da coleta das amostras, portanto, acaba não oferecendo um resultado preciso. Deixar

o material secar demasiadamente pode reduzir a capacidade de secagem na central de tratamento, visto que poderia ter sido retirado antes e um novo lote poderia ter sido colocado.

Foram realizadas coletas de amostras de *dregs* em processo de secagem no leito, colocados para secar em forno micro-ondas e, paralelamente, contra amostras eram postas a secar no método padrão em estufa para comparar e validar os resultados. Após vários testes e calibrações utilizando diferentes quantidades de amostras, tempos de secagem e potência no micro-ondas, foi desenvolvido um procedimento fácil, rápido e preciso para determinação do teor de umidade de *dregs*, cujos resultados podem ser obtidos em cinco minutos. Na Figura 4 é possível perceber a redução do teor de água no material (mais escuro apresenta mais água) através do processo de secagem em micro-ondas. Além disso foi desenvolvida uma planilha para calibração, visando aplicar o método à diferentes materiais ou utilizando um micro-ondas de modelo/potência diferente.

Figura 4 - Processo de secagem de *dregs* em micro-ondas. *Dregs* úmido (A). *Dregs* após a secagem (B). Comparativo do *dregs* antes e após a secagem (C).



Fonte: DIETER, 2020.

5.4. Acompanhamento do processo de tratamento do lodo de ETE

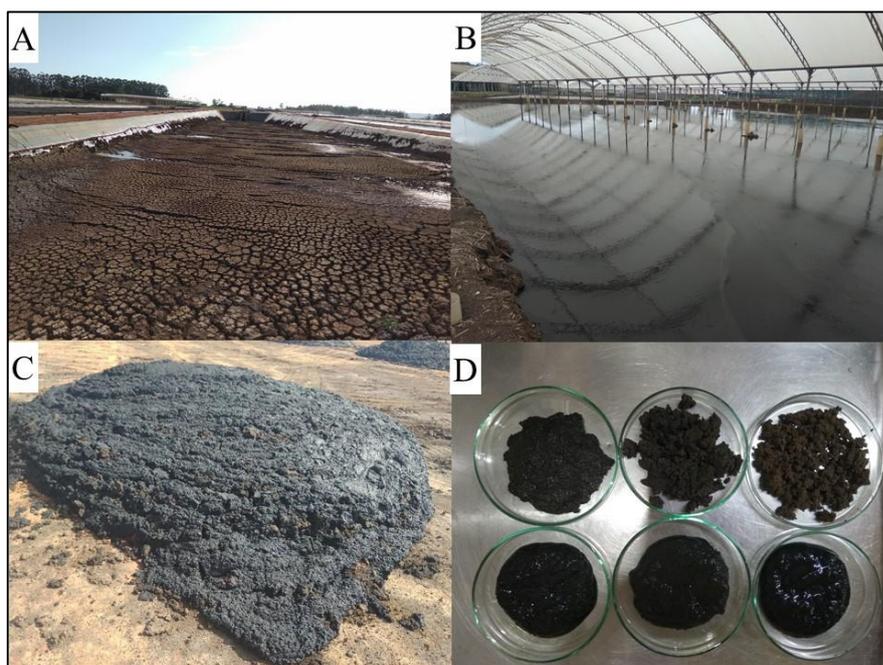
O lodo de ETE é o resíduo recebido em maior quantidade para ser tratado na empresa. Em suma, ele sofre um processo de fermentação, pré-secagem, secagem (Figuras 5-A, 5-B e 5-C, respectivamente) e posterior peneiramento e beneficiamento, sendo comercializado como fertilizante orgânico (produto comercial Humoativo), ou

então misturado a casca de *eucalipto* compostada e sendo comercializado como substrato para plantas (Produto comercial Humosolo).

O lodo de ETE recebido na empresa é gerado ao longo de várias etapas da extração da celulose, sendo rico em compostos orgânicos complexos, principalmente lignina, celulose e hemicelulose. Ao chegar na central de tratamento, apresenta uma consistência pastosa e relação C:N de 15:1, é descarregado em valas onde ocorre a fermentação anaeróbica, sofrendo alterações químicas e físicas que estabilizam a matéria orgânica permitindo sua utilização como fonte de nutrientes e também como condicionador de solo. Essas alterações podem ser observadas na Figura 5-D.

O processo de fermentação ocorre por no mínimo quatro meses dentro das valas, após é diluído com água de reuso e por gravidade é direcionado para leitos de secagem, que visam reduzir a quantidade de água presente no material. Quando atinge o teor de umidade adequado para ser carregado, é transportado para áreas de polimento a céu aberto, onde termina de secar. Quando atinge a umidade ideal, é então peneirado e beneficiado.

Figura 5 - Etapas de tratamento do lodo de ETE. Vala de fermentação (A). Pré-secagem em leito (B). Secagem em área de polimento (C). Fases da transformação do lodo durante a fermentação anaeróbia (D)



Fonte: DIETER, 2020.

5.5. Acompanhamento do processo de compostagem da casca de *eucalipto*

5.5.1. Geração, transporte e recebimento

No processo de colheita da madeira é realizado o descascamento das toras pelas máquinas, portanto a maior parte do volume de cascas de *eucalipto* permanece no horto florestal de origem, 98% conforme IBÁ (2019). Apesar disso, um volume significativo ainda fica aderido às toras, sendo transportado até o pátio de recebimento das mesmas, na indústria de celulose. Na descarga e manuseio das toras até a chegada no picador de cavacos, as cascas vão se desprendendo e permanecem no chão, bem como lascas de madeira (toras quebradas, galhos e pedaços de madeira). Este material é coletado quando se faz a limpeza do pátio, parte é encaminhada diretamente (denominada casca não picada) para o horto florestal Boa Vista da empresa “Vida” e outra parte é direcionada para um picador projetado para picar a casca e as lascas de madeira (denominada casca picada), sendo posteriormente também encaminhado para tratamento.

O recebimento e tratamento das cascas (através de compostagem aeróbica) é realizado no HF Boa Vista, enquanto que o peneiramento, beneficiamento e comercialização é realizado no HF Lutzenberger.

5.5.2. Compostagem da casca

São gerados dois tipos de casca, a casca não picada (APÊNDICE A) e a casca picada (APÊNDICE B), sendo formadas leiras de compostagem específicas para cada material, uma vez que a casca não picada apresenta alguns inconvenientes nas operações de manejo das leiras em função da presença de lascas de madeira e toretes, os quais necessitam de mais tempo de compostagem. As leiras de compostagem são formadas assim que o material é descarregado, no entanto, para a casca não picada, ainda é realizada a separação dos toretes (APÊNDICE C), que são comercializados para outras indústrias da região que as utilizam em caldeiras para queima.

Toda área do horto florestal possui uma camada de argila compactada como impermeabilizante do solo, além de apresentar uma pequena declividade, de modo que o excesso de água da chuva e o percolado gerado pelo excesso de umidade nas leiras de compostagem, escoam para um canal que fica nas extremidades da área. Esse canal é vegetado com plantas aquáticas do gênero *Thypha sp.*, caracterizando um sistema de tratamento por raízes (Figura 6).

Figura 6 - Canal vegetado com *Thypha sp.*



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A declividade do canal direciona a água para um tanque de armazenagem de percolado, cuja principal função é coletar as águas residuais que podem ser prejudiciais ao ambiente pelo excesso de carga orgânica. A água residual armazenada retorna para o sistema de compostagem através da recirculação de percolado (Figura 7) com o objetivo de umedecer as leiras de compostagem quando as precipitações são irregulares, evitando que o processo de decomposição não seja interrompido por falta de umidade. Outra finalidade é para o controle de eventuais princípios de incêndios que podem ocorrer nas leiras de compostagem.

Figura 7 - Recirculação do percolado



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

A recirculação do percolado nas leiras em compostagem, além de repor a água perdida no processo por evaporação, mantendo a umidade, também pode ser considerada como um processo de inoculação das leiras, principalmente as mais novas. A compostagem já é realizada há muitos anos e o material de composição das leiras é sempre o mesmo (casca de *eucalipto*), possivelmente permitindo que organismos mais eficientes tenham sido selecionados naturalmente no processo e estejam contidos no percolado, reintroduzidos no processo através da recirculação.

Apenas a casca de madeira é utilizada para montagem das leiras, no entanto, em função da relação C:N bastante elevada (80:1), o processo de compostagem necessita de bastante tempo. No caso da casca não picada, a presença de toretes e madeira bruta (embora parte seja separada no recebimento, parte ainda permanece) faz com que o processo de compostagem desse material seja mais lento em comparação a casca picada, cuja área superficial de contato para ação dos microorganismos é maior. Além disso, outra característica importante da casca não picada, é a necessidade de um espaço maior para montagem da leira.

O tempo mínimo previsto para compostagem é de quinze meses, mas eventualmente o material pode ficar até dois anos compostando. Um tempo maior de compostagem gera um composto de maior qualidade e de maior rendimento no peneiramento (menos rejeito gerado), principalmente no caso das leiras de casca não

picada, em que o material de origem com diferentes tamanhos e composição (casca e toretes, por exemplo) não é decomposto na mesma velocidade. Apesar disso, após o tempo mínimo de compostagem, o composto está pronto para ser encaminhado ao peneiramento e beneficiamento, o que também se faz necessário para liberar espaço no HF para recebimento de novos materiais.

Outra característica importante do processo de compostagem, é a redução no volume das leiras ao longo do tempo, principalmente em função da perda de carbono pela respiração microbiana. Com a diminuição do volume, leiras que se encontram uma ao lado da outra são unificadas para formar uma só desde que sejam do mesmo material (ambas de casca picada, por exemplo), abrindo espaço para recebimento de material novo. Nem sempre é possível que a montagem de leiras seja distribuída numa sequência por data de formação, deste modo, eventualmente leiras em diferentes estágios de compostagem são unidas, nestes casos principalmente, definir o ponto de maturação apresenta-se como um desafio, pois não pode ser baseado apenas no tempo de compostagem, mas sim em função do histórico da leira e do aspecto visual do composto.

A Figura 6 apresenta quatro amostras da casca em diferentes estágios de compostagem, coletadas de leiras formadas com casca picada. As amostras são de leiras diferentes, visto que o período de estágio foi inferior ao tempo necessário para acompanhar o ciclo completo de compostagem. Embora o histórico de cada leira seja diferente (revolvimentos, recirculação de percolado e variações de umidade), é possível perceber visualmente as alterações que ocorrem na coloração e granulometria da casca ao longo do tempo.

Na figura 8-A percebe a casca de *eucalipto* praticamente inalterada após um mês de compostagem, indicando um processo inicial bastante lento. Nas figuras 8-B e 8-C (três e nove meses de compostagem, respectivamente) percebe-se uma gradual redução no tamanho das partículas e o escurecimento do material, indicando que o processo de decomposição está ocorrendo. Após doze meses (Figura 8-D) de compostagem, observa-se o material já bastante decomposto, com granulometria bem inferior comparado com o material do início do processo e uma coloração bem escura, indicando a presença de material já humificado.

Figura 8 - Decomposição da casca de eucalipto ao longo do tempo de compostagem. Um mês de compostagem (A); Três meses de compostagem (B); Nove meses de compostagem (C); Doze meses de compostagem (D).



Fonte: Arquivo pessoal, 2020.

5.5.3. Beneficiamento

As leiras que já passaram pelo tempo mínimo de compostagem e apresentam características de composto maturado estão aptas para serem encaminhadas para o beneficiamento. A avaliação do estado de decomposição do material e de maturação do composto é realizada por funcionários que já possuem a expertise, adquirida ao longo de vários anos de trabalho com o mesmo tipo de material, onde as características de cor, granulometria e cheiro (entre outras) são avaliadas através da observação visual e sensorial do próprio composto.

O material apto ao beneficiamento é carregado em caminhões e transportado para o Horto Florestal Lutzenberger para peneiramento, onde ocorre a separação de materiais mais grosseiros, principalmente pedaços e lascas de madeira que ainda não foram decompostas. O rejeito da peneira é coletado e reencaminhado novamente para o processo de compostagem, em leiras constituídas apenas de rejeito. O composto

peneirado por sua vez é armazenado no pavilhão de beneficiamento (APÊNDICE D), de onde poderá ter três destinos:

- Comercializado diretamente à granel;
- Ensacado e comercializado como “*Substrato para plantas – casca de eucalipto compostada*”;
- Misturado com Humoativo (lodo de ETE compostado), ensacado e comercializado como “*Humosolo*” (substrato para plantas).

O composto produzido pela empresa “Vida” é gerado a partir de resíduos muito homogêneos ao longo do tempo e tem a origem de processos industriais muito bem estabelecidos. Conhecer a origem dos resíduos e sua composição permite a padronização de processos e produtos também dentro da empresa “Vida”, por consequência é possível ofertar um composto de qualidade e com características praticamente iguais entre um lote e outro.

5.5.4. Monitoramento da temperatura das leiras de compostagem

O monitoramento da temperatura e da umidade estão entre as principais características à serem avaliadas no processo de compostagem, pois estão diretamente relacionadas aos estágios e eficiência do processo. A quantidade de leiras bem como o volume das mesmas implica na dificuldade operacional de realizar esse monitoramento, tanto pela baixa disponibilidade de mão de obra e a adoção de uma metodologia que permita fazer o levantamento preciso e ao mesmo tempo representativo.

O método utilizado na empresa para monitoramento da temperatura requer a abertura de um “buraco” lateral na leira (APÊNDICE E), entre 30 a 50 cm de profundidade, onde a leitura da temperatura é realizada utilizando-se um termômetro digital por sensor infravermelho do tipo pistola, que pode ser considerado um método direto de aferição da temperatura. Tal atividade requer esforço físico na abertura da leira, além de que existe um gradiente de temperatura ao longo do perfil da leira, o que pode implicar em uma variabilidade amostral. Para determinação de umidade, as

dificuldades são as mesmas, assim, tais monitoramentos não são realizados com muita regularidade.

Ao longo da realização do estágio foram realizados alguns testes comparando o método tradicional (método direto) com o método em que a aferição da temperatura da leira é indireta, utilizando barras de metal. O objetivo foi definir uma maneira mais ágil e menos onerosa para realizar o monitoramento da temperatura nas leiras e compreender a variação da temperatura ao longo do perfil da leira. Na aferição indireta, considerou-se que a barra de metal ao ser inserida na leira aquecida no seu interior, atinge a temperatura de equilíbrio com o meio após determinado tempo, após determinado tempo retira-se a barra e imediatamente faz-se então a aferição da temperatura com o mesmo sensor por infravermelho.

Inicialmente a aferição da temperatura foi realizada com o método tradicional, servindo de referência para as comparações. Nesta etapa foram cavados buracos laterais na leira em três profundidades (0,5m, 1m e 1,5 cm) e imediatamente lida a temperatura, para verificar a variação da temperatura no perfil. Na segunda etapa foram utilizados dois tipos de barras de metal na avaliação, barras de ferro fundido (1 cm de diâmetro) e barras de cobre (1,5 cm de diâmetro), ambas com três repetições, que foram inseridas lateralmente na leira (APÊNDICE F), nas mesmas profundidades de referência. Com a utilização das barras de metal, também avaliou-se diferentes tempos de permanência na leira, para identificar o tempo necessário para que a barra atingisse a mesma temperatura da leira. Todos os testes foram repetidos mais de uma vez, e cada teste com pelo menos três repetições.

5.6. Outras atividades

As principais atividades realizadas durante o estágio foram o acompanhamento do tratamento de resíduos, principalmente a casca de *eucalipto*, lodo de ETE, *dregs* e *grits*, mas também foram realizadas inúmeras outras atividades complementares, que contribuíram para o estágio e a formação, sendo as principais abordadas neste tópico.

No início do estágio foram apresentados alguns documentos importantes para o funcionamento da empresa, e que detalhavam um pouco mais as operações da central de tratamento. Entre os documentos estavam os referentes ao licenciamento

ambiental e projetos tanto da construção quando das operações nas centrais de tratamento. A partir de tais documentos e discussões com funcionários da empresa foi possível conhecer melhor a história da empresa, a importância da gestão de resíduos e alguns conceitos importantes, o que permitiu maior familiarização com as atividades e dinâmica de operações dentro da empresa.

Desde o início também foi possível acompanhar o Diálogo Diário de Segurança realizado com todos os funcionários, elucidando sobre a importância dos cuidados para com a segurança no trabalho e as obrigações da própria empresa, de modo que todos os trabalhadores possam exercer suas funções sem risco de terem prejuízos à saúde. Esse diálogo diário provou a importância e a preocupação de todos para com um assunto tão pouco abordado no cotidiano do curso de agronomia.

6. DISCUSSÃO E RESULTADOS OBTIDOS

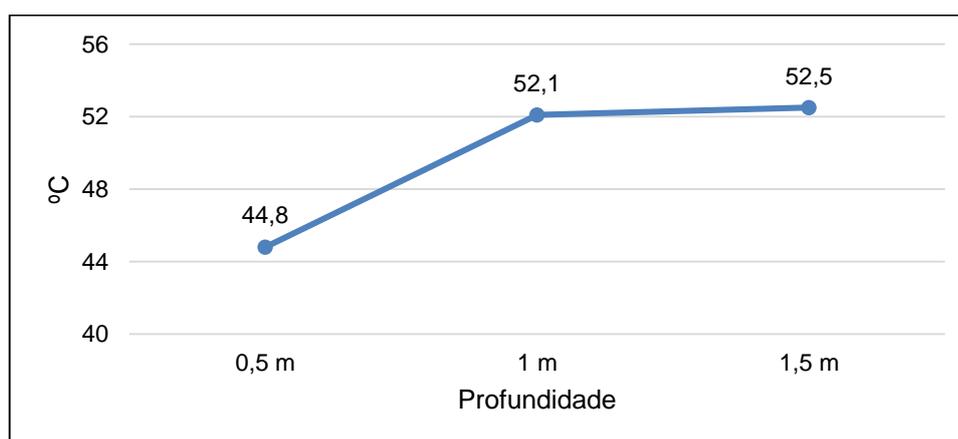
O tratamento da casca de *eucalipto* através da compostagem possui processos bem estabelecidos na empresa, embora ainda existam oportunidades de aprimoramento, onde a empresa tem atuado para melhorar a eficiência da atividade. Um dos desafios é o gerenciamento de grandes volumes do resíduo, que apresenta uma lenta taxa de decomposição em razão da alta relação C:N, necessitando de bastante tempo.

A comercialização do composto de casca de *eucalipto* atinge volumes equivalentes ao recebimento do resíduo, permitindo um fluxo equilibrado entre entrada de resíduos e saída de produto. No entanto, após o início do recebimento de casca de *eucalipto* no ano de 2016, foi necessário esperar o processo de compostagem ocorrer para que houvesse composto pronto, e posteriormente a necessidade de encontrar clientes e conquistar espaço para o produto no mercado. Enquanto isso, a geração de resíduos foi constante e a empresa “Vida” não parou de receber os resíduos, gerando um estoque muito grande de casca no horto florestal, o que implica na necessidade de uma eficiente gestão de longo prazo, para garantir a oferta de produto no mercado, ao mesmo tempo não deixar faltar espaço na área do horto florestal para recebimento de material bruto.

O processo da compostagem está bem estabelecido, mas existem aspectos que podem ser melhorados e que a empresa vem trabalhando para aperfeiçoá-los. Um destes aspectos é o controle e monitoramento mais preciso do processo de compostagem em cada leira, principalmente através do monitoramento da temperatura e umidade. Tais indicadores poderiam contribuir na tomada de decisão para a realização do revolvimento quando a temperatura atingisse valores acima do desejado, e também para a recirculação de percolado quando a umidade ficasse abaixo do recomendado, assim, otimizando tanto o processo de compostagem como o uso de máquinas e capital humano.

Na figura 9 são apresentadas as médias dos resultados encontrados através do monitoramento da temperatura de uma leira através do método direto. Os resultados indicaram uma diferença de temperatura ao longo do perfil da leira, que foi de 7,3°C entre as profundidades de 0,5 e 1,0 m, que pode ser atribuído à maior troca de ar e consequente troca temperatura nas partes mais superficiais da leira. Entre 1,0 m e 1,5 m a diferença foi de apenas 0,4°C, mas por se tratar apenas de um trabalho exploratório, não é possível afirmar ser uma variação significativa, ou mesmo o motivo da mesma.

Figura 9 - Temperatura da leira pelo método direto



Os resultados do monitoramento realizado pelo método indireto apresentaram muita variação e não atingiram a temperatura de referência (Figura 9), o que era o objetivo para que a metodologia se mostrasse eficiente, apesar de ter sido possível observar também a variação da temperatura no perfil da leira, principalmente entre 0,5 e 1m de profundidade. As barras de cobre atingiram temperaturas maiores em

menos tempo (APÊNDICE G), comparando com as barras de ferro (APÊNDICE H), mas ainda abaixo da temperatura de referência. A técnica mostrou-se promissora, visto ser bem menos onerosa comparado ao método direto da abertura de um buraco na leira, no entanto são necessários mais testes e ajustes para de fato torná-la uma prática eficaz.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As preocupações e iniciativas acerca da proteção do meio ambiente e de sistemas produtivos sustentáveis tem crescido constantemente, tanto em complexos industriais como em atividades agrícolas. O planeta terra tem recursos finitos, cuja pura exploração torna-se insustentável e pode representar uma ameaça às gerações futuras, para além dos impactos ambientais. Neste contexto, um melhor aproveitamento dos recursos e a reciclagem de resíduos é chave para sistemas mais sustentáveis, além de contribuírem para uma economia circular com o desenvolvimento de novos atores sociais.

O estágio realizado numa empresa referência no setor de tratamentos de resíduos da indústria de celulose, permitiu uma experiência muito gratificante onde foi possível ampliar os horizontes e conhecimentos na área da gestão ambiental, onde a agronomia também tem grande potencial de atuação. A empresa “Vida” possui processos de tratamento de resíduos muito consolidados, aperfeiçoados ao longo de muitos anos de experiência na área e por profissionais extremamente capacitados, ao mesmo tempo que a empresa não limitou as atividades do estágio, dando liberdade na realização de algumas atividades e com ótima receptividade para trocas de saberes entre profissionais e o estagiário.

O curso de graduação em agronomia da UFRGS propiciou os conhecimentos básicos necessários para o gerenciamento de resíduos, que contribuíram expressivamente para melhor compreensão acerca dos processos de tratamento na empresa e as atividades realizados durante o período. A vivência prática através do estágio foi uma atividade essencial na formação de um futuro profissional de agronomia, pois permitiu complementar e solidificar muitos conhecimentos teóricos estudados ao longo da graduação.

O estágio é indispensável para a formação de estudantes, pois as aulas práticas durante o curso não são capazes de transmitir a pleno os desafios existentes fora da faculdade. O contato com profissionais atuantes no mercado de trabalho e os desafios reais do dia-a-dia de uma empresa, oportunizam ao estudante uma breve experiência sobre a complexidade da responsabilidade técnica, onde muitas vezes várias áreas do conhecimento são necessárias para encontrar as melhores soluções. Entretanto, o curto período da realização do estágio e a realização deste no período de recesso escolar limita o potencial de aproveitamento da experiência e assimilação de conhecimentos. A necessidade de cursar disciplinas de final de curso após a realização do estágio, muitas vezes dificulta a inserção imediata do profissional recém formado no mercado de trabalho, portanto deveria ser um dos aspectos a serem considerados no currículo do curso de agronomia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ALVES, Érica Daré et al. Estudo do processo de obtenção celulose *Kraft* com ênfase no forno de cal. *Revista Liberato*, v. 16, n. 26, p. 205-218, 2015.
- BARRETTO, Vitor Corrêa de Mattos. Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de *eucalipto*. 2008. vii, 64 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008.
- BERGAMASCHI, Homero et al. Boletins agrometeorológicos da estação experimental agrônômica da UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brazil, 2013.
- BRITO, L. Miguel. Compostagem para a agricultura biológica. Manual de Agricultura Biológica-Terras de Bouro. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima./IPVC, p. 1-21, 2006.
- BUDZIAK, Cristiane R.; MAIA, Claudia MBF; MANGRICH, Antonio S. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. *Química Nova*, v. 27, n. 3, p. 399-403, 2004.
- BUENO, P. et al. Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 11, p. 5069-5077, 2008.
- CAMPOS, Edison da Silva; FOELKEL, Celso A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil. Edison da Silva Campos, Celso Foelkel – ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo, Brasil. 2016.
- CORREIA, Flávio Marcelo. Eucalyptus chip compaction disturbance analysis in a vapor phase continuous digesters. 2010. 146 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade da madeira; Tecnologia de celulose e papel) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- COSTA, F. O. M. et al. Modelagem por Redes Neurais sem Entradas Atrasadas da Caustificação em Indústria de Celulose. *Blucher Physics Proceedings*, v. 2, n. 1, p. 58-61, 2015.
- COSTA, Mônica SS de M. et al. Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 2, p. 540-548, 2005.
- DA SILVA, Alice Rocha; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz; GHISOLFI, Verônica. Os obstáculos para uma efetiva política de gestão dos resíduos sólidos no Brasil. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável*, v. 13, n. 26, p. 211-234, 2016.

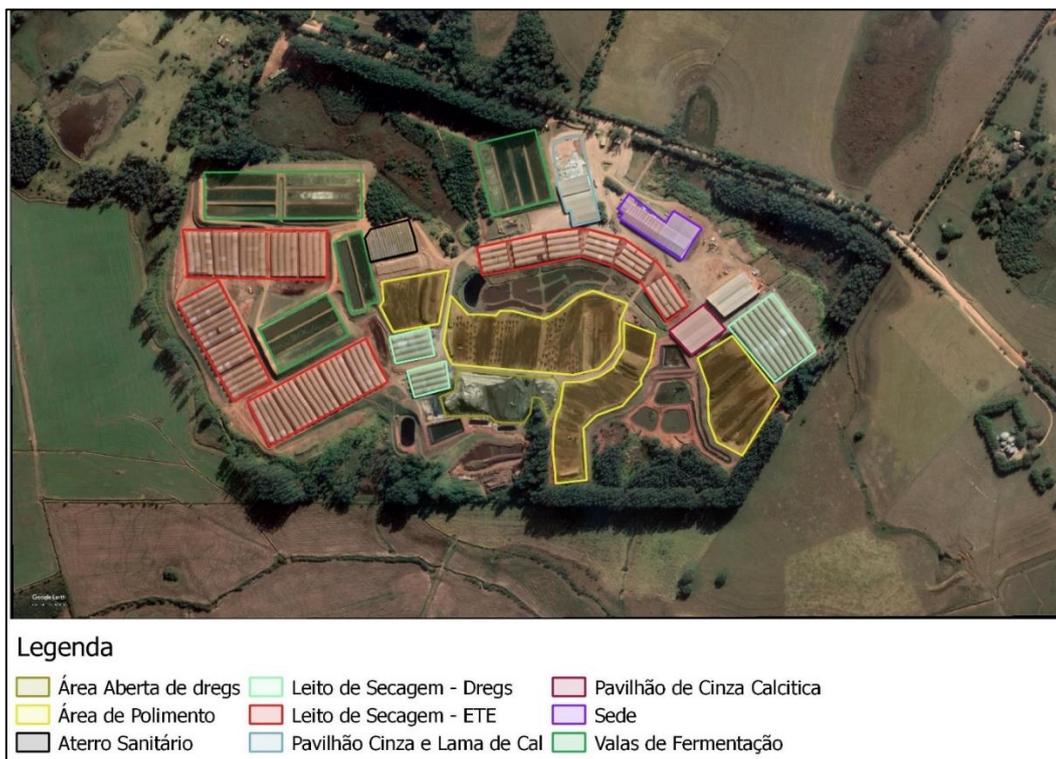
- DE ARAÚJO SOBRAL, Janaina; MAGALHÃES, Karine Matos. Avaliação operacional da compostagem dos resíduos de poda realizada em Aterro de Resíduos Sólidos da cidade do Recife, PE.
- Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET) Normais climatológicas (1961-1990). Brasília: DNMET, 1992.
- DEUS, Rafael Mattos; BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; SILVA, Gustavo Henrique Ribeiro. Resíduos sólidos no Brasil: contexto, lacunas e tendências. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 4, p. 685-698, 2015.
- DIETER, Luís Henrique. O gerenciamento de resíduos sólidos provenientes da indústria de celulose CMPC Celulose Riograndense, com enfoque em “dregs e grits”2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de agronomia – UFRGS, 2020.
- Eldorado do Sul (RS) | Cidades e Estados | IBGE. Acesso em 28 de janeiro de 21.
- FAVERO, Cristiano et al. Aspectos gerais do processo de pré-branqueamento de celulose. Enciclopédia Biosfera, v. 10, n. 18, p. 36-96, 2014.
- FIORI, Marciane Gorete Silvestro et al. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. Engenharia Ambiental, v. 5, n. 3, p. 178-191, 2008.
- FOELKEL, C. Individualização das fibras da madeira do *eucalipto* para a produção de celulose *Kraft*. 2009. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/biolig/art_citados/Individualiza%C3%A7%C3%A3o%20das%20fibras%20da%20madeira%20do%20eucalipto%20para%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20celulos e%20Kraft.pdf>. Acesso em: 30 de janeiro de 2021.
- GUERRA, Marcos Antonio de Souza Lima. Evaluation of biological and physico-chemical quality of the compost produced from pulp mill residues. 2007. 70 f. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal; Meio Ambiente e Conservação da Natureza; Silvicultura; Tecnologia e Utilização de) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- GUERRINI, IRAÊ AMARAL. Uso de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de *eucalipto*. Botucatu: FCA/UNESP, 2003.
- HAUG, RogerTim. The practical handbook of compost engineering. Routledge, 2018. Disponível em:<[https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=i0taDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=R.T.+Haug+The+Practical+Handbook+of+Compost+Engineering+Lewis+Publishers,+Boca+Raton,+Flori da,+USA+\(1993\)&ots=M97WKTQ8sm&sig=C6pWnQiLmqWVmdQeKJZBows rYgc#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=i0taDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=R.T.+Haug+The+Practical+Handbook+of+Compost+Engineering+Lewis+Publishers,+Boca+Raton,+Flori da,+USA+(1993)&ots=M97WKTQ8sm&sig=C6pWnQiLmqWVmdQeKJZBows rYgc#v=onepage&q&f=false)>. Acesso em 01 fev. 2021.
- HERBETS, Ricardo André et al. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. Revista Saúde e Ambiente, v. 6, n. 1, p. 41-50, 2005.

- HORA, A. Panoramas setoriais 2030: papel e celulose. In: Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2017.
- CIVIL, Casa. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em 30 de janeiro de 2021
- HUBBE, Martin A.; NAZHAD, Mousa; SÁNCHEZ, Carmen. Composting as a way to convert cellulosic biomass and organic waste into high-value soil amendments: A review. *BioResources*, v. 5, n. 4, p. 2808-2854, 2010.
- Indústria Brasileira de Árvores (IBÀ). Relatório Anual 2019. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2019-final.pdf>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2021.
- Indústria Brasileira de Árvores (IBÀ). Relatório Anual 2020. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>>. Acesso em 23 de fevereiro de 2021.
- MAEDA, S.; DEDECEK, R. A.; AGOSTINI, R. B.; ANDRADE, G. de C.; SILVA, H. D. da. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, [S. l.], n. 54, p. 97, 2010. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/133>. Acesso em: 31 jan. 2021.
- MAEDA, Shizuo; COSTA, Epitágoras Rodson Oliveira; DA SILVA, Helton Damini. Uso de resíduos da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel. *Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E)*, 2010.
- MAIA, CMB de F. et al. Compostagem de resíduos florestais: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais. *Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E)*, 2003.
- MELO, Joelma Ribeiro de et al. Estudo das características do licor negro. *Revista de engenharia e tecnologia - ISSN 2176-7270*, [s. l.], v. 3, ed. 1ª, p. 1-11, Abril 2011. Disponível em: <<https://revistas2.uepg.br/index.php/ret/article/view/11302/209209209314>>. Acesso em: 31 jan. 2021.
- MENELI, Jorge Cesar et al. *Gestão Sistêmica dos Processos Industriais de uma Fábrica de Celulose*. 2013.
- MORALES, M. M. et al. *Caracterização do setor florestal goiano*. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2012.

- NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p. 386-414.
- OLIVEIRA, Vânia Filipa da Silva. Valorização de resíduos da indústria da pasta e papel: compostagem e aplicação do composto no solo. 2009. Tese de Doutorado.
- PEREIRA, Débora Corrêa de Mello Santos. Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel. 2010.
- POLOWSKI, Natascha Vigdis et al. Modelagem e otimização de digestores *Kraft* descontínuos utilizando redes neurais e modelo híbrido-integração de processos em tempo real. 2009.
- PREFEITURA, Eldorado do Sul. Disponível em: <<https://www.eldorado.rs.gov.br/>>. Acesso em 28 de janeiro de 21
- SILVA, Francisca Alcivania Melo et al. Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 4, n. 1, 2009.
- VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. Archivos de zootecnia, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009.
- VENÂNCIO, João Miguel de Matos Vítor. Tratamento de efluentes provenientes de fábricas de pasta de papel (Processo *Kraft*). 2020. Tese de Doutorado.
- VIDA. Disponível em: <<https://vida-e.com.br/>> Acesso em 28 de janeiro de 21.

ANEXOS

ANEXO A – Croqui do Horto Florestal José Antônio Lutzenberger.



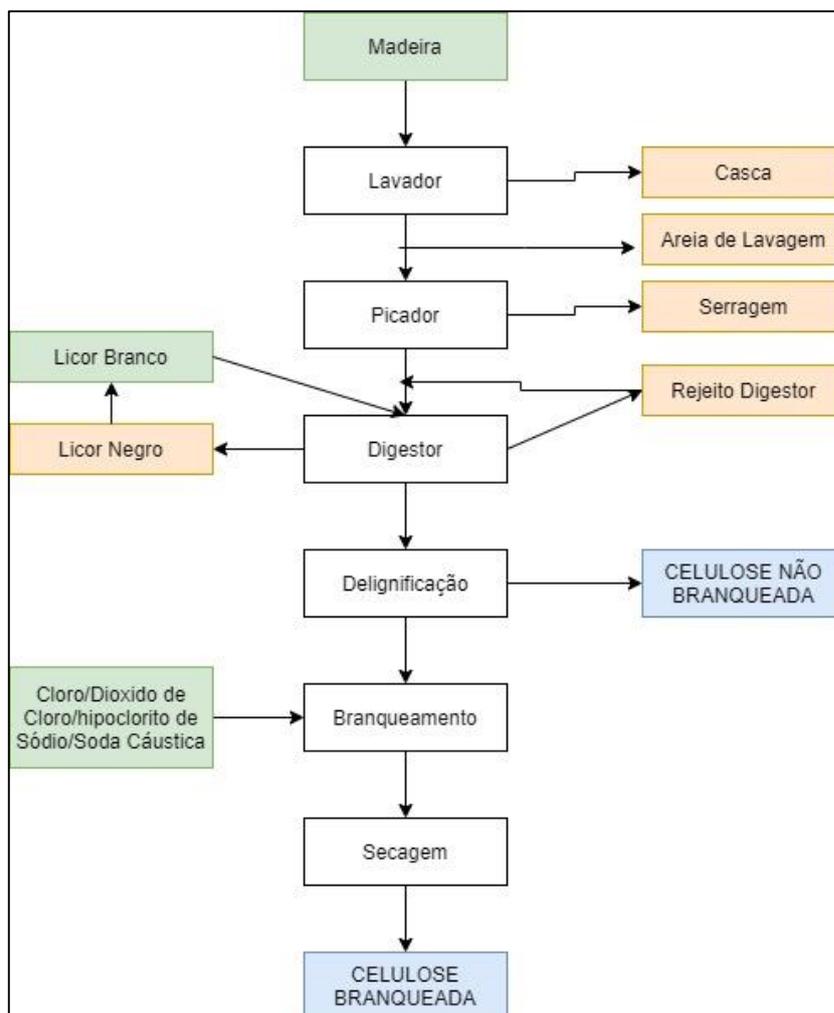
Fonte: Adaptado de Google Earth (DIETER, 2020)

ANEXO B - Imagem aérea da central de tratamento do Horto Florestal Boa Vista (Adaptado de Google Earth).



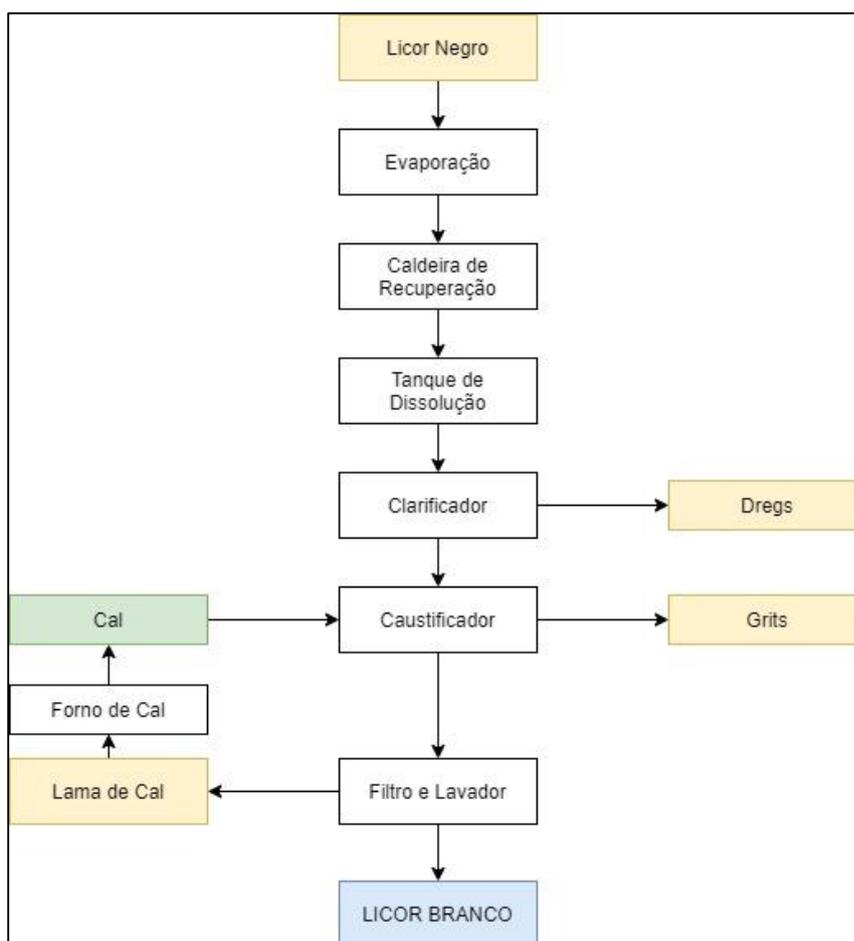
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2020.

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



Fonte: VIDA, 2007.

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



Fonte: VIDA, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Casca não picada, em Eldorado do Sul-RS, janeiro/2020.



APÊNDICE B – Casca picada, em Eldorado do Sul-RS, janeiro/2020.



APÊNDICE C – Separação dos toretes de madeira da casca não picada, em Eldorado do Sul-RS, janeiro/2020.



APÊNDICE D – Armazenagem de casca de *eucalipto* compostada no pavilhão de beneficiamento, em Eldorado do Sul-RS, janeiro/2020.



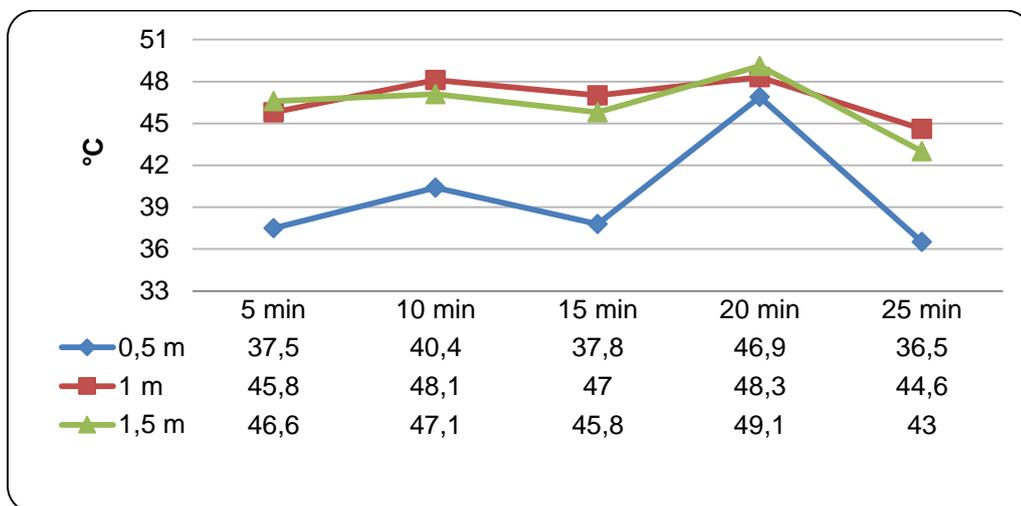
APÊNDICE E – Abertura na leira (em destaque) para aferição da temperatura, em Eldorado do Sul-RS, fevereiro/2020.



APÊNDICE F – Barras (em destaque) inseridas na leira de compostagem, em Eldorado do Sul-RS, fevereiro/2020.



APÊNDICE G – Aferição indireta da temperatura de uma leira de compostagem com barras de cobre, em Eldorado do Sul-RS, fevereiro/2020.



APÊNDICE H – Aferição indireta da temperatura de uma leira de compostagem com barras de ferro, em Eldorado do Sul-RS, fevereiro/2020.

