

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MILENA PEREIRA

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL COMPOSTO POR LODO DE
CELULOSE E CINZA NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda*

CURITIBA

2020

MILENA PEREIRA

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL COMPOSTO POR LODO DE
CELULOSE E CINZA NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NO CRESCIMENTO DE *Pinus taeda*

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. PhD. Antônio Carlos Vargas Motta.

Coorientador: Prof. Dr. Shizuo Maeda.

CURITIBA

2020

Pereira, Milena

Influência da adição de resíduo industrial composto por lodo de celulose e cinza nos atributos do solo e no crescimento de *Pinus taeda* / Milena Pereira. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo.

Orientador: Antônio Carlos Vargas Motta

Coorientador: Shizuo Maeda

1. *Pinus taeda*. 2. Biossólido. 3. Adubação. I. Motta, Antônio Carlos Vargas. II. Maeda, Shizuo. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **MILENA PEREIRA** intitulada: **INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL COMPOSTO POR LODO DE CELULOSE E CINZAS NOS ATRIBUTOS DO SOLO E NO CRESCIMENTO DE Pinus taeda**, sob orientação do Prof. Dr. ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 20 de Fevereiro de 2020.


ANTONIO CARLOS VARGAS MOTTA

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)


RENATO MARQUES

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)


MARCOS VINICIUS MARTINS BASSACO

Avaliador Externo (FACULDADE DE JAGUARIAIVA)

A Deus que iluminou o caminho me concedendo saúde, força e coragem durante esta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Federal do Paraná (UFPR), seu corpo docente, direção e administração pelo apoio recebido, oportunidade de aprendizado e incentivo na realização da minha pesquisa.

Enfatizando a execução das análises laboratoriais, sou grata as minhas amigas e colegas Carla Gomes de Albuquerque e Fabiana Gavelaki.

Ao colega doutorando Ederlan Magri, que cooperou nas análises estatísticas dos dados, com paciência e disposição para ajudar.

Ao professor Dr. Shizuo Maeda pelo apoio, recomendações e disponibilidade da área para continuação da pesquisa.

Ao professor Dr. Marcos Vinícius Martins Bassaco pelo incentivo para que eu realizasse o mestrado, amizade, dicas e correções.

Ao meu orientador professor PhD. Antônio Carlos Vargas Motta pela dedicação, companheirismo, ensinamentos e correções. Um exemplo a ser seguido.

A Iguazu celulose, papel S.A, em razão do entendimento profissional e me apoiar na busca de conhecimento, pela ajuda dos colaboradores nos trabalhos de campo e por conceder o espaço para realização dessa pesquisa.

Aos meus pais Antonio Pereira e Maria Suely Fontoura Pereira, por acreditarem em minhas escolhas, apoiando-me sempre com um amor incondicional.

Ao meu noivo Robson Sheleider por compreender a minha ausência e não medir esforços para que meu sonho se tornasse realidade.

Aqueles que de alguma maneira diretamente ou indiretamente participaram ou me apoiaram para realização deste projeto.

"Olhe firme para a frente, com toda a confiança; não abaixe a cabeça, envergonhado. Pense bem no que você vai fazer, e todos os seus planos darão certo". (PROVÉRBIOS 4:25-26)

RESUMO

O consumo de produto florestal é de grande importância na economia mundial, existindo duas fontes de recursos florestais, as florestas nativas e as florestas plantadas. As florestas nativas, em geral, sofrem exploração predatória, colocando em risco de extinção as espécies de alto valor. Por isso, as florestas plantadas, que são planejadas de forma comercial, constituem uma alternativa viável para a redução da pressão sobre as florestas nativas. Um dos principais gêneros plantados para atender as necessidades industriais é o *Pinus*; bastante cultivado nos estados do Paraná e de Santa Catarina. Os plantios florestais normalmente estão localizados em regiões de baixa fertilidade natural dos solos. Sendo assim, as indústrias buscam novas técnicas de manejo florestal, visando melhorar a capacidade produtiva, via melhoria da fertilidade do solo. O aumento progressivo das indústrias gera diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, criando preocupações econômicas e ambientais para sua destinação adequada. Uma alternativa de aproveitamento para esse resíduo gerado pelas indústrias é a disposição em plantios florestais, o que pode favorecer os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Dessa maneira o presente trabalho tem por objetivo determinar a dose do resíduo industrial (mistura entre cinza da caldeira e lodo celulósico) que combine a maior produtividade e qualidade do *Pinus taeda*, com as mínimas alterações nos ciclos biogeoquímicos e acúmulo de serapilheira. O experimento foi instalado na cidade de Piraí do Sul no estado do Paraná em janeiro de 2011, sob solo classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, sob clima Cfb. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com cinco repetições, totalizando 25 árvores por parcela, sendo as 9 árvores centrais consideradas como área útil. Após o plantio foram aplicadas as doses de 0, 14, 25, 49 e 60 Mg ha⁻¹ do resíduo industrial. Decorrendo 7 anos de plantio foram avaliados o estoque de serapilheira, características químicas do solo, altura total e diâmetro na altura do peito da árvore, tamanho e divisão da copa, seleção e contagem dos galhos, separação de amostras representativas de galhos e acículas, cubagem comercial e densidade básica. Além disso foi realizada a análise do teor de nutrientes (macro e micronutrientes) nos diversos componentes da árvore (acículas, galhos, casca e lenho), como também seu conteúdo nutricional. Com a utilização do resíduo foi observado um acréscimo expressivo no DAP e volume com aplicação da dose de 49 Mg ha⁻¹. Esse aumento se relacionou com a melhor nutrição da planta, apresentando decréscimo de Mn e Al. A densidade da madeira manteve a qualidade especificada para o processo industrial. No solo, ocorreram pequenas alterações como aumento da disponibilidade de Ca e P. Já a serapilheira se manteve na quantidade disponível para a proteção do solo. A aplicação do resíduo industrial em plantios estabelecidos de *Pinus taeda*, mostrou um grande potencial para melhoria da produtividade com redução do tempo necessário para as árvores estarem prontas para o corte.

Palavras-chave: *Pinus taeda*. Biossólido. Adubação. Floresta Plantada. Cinza e lodo.

ABSTRACT

The consumption of forest products is of great importance in the world economy, with two sources of forest resources, native forests and planted forests. Native forests, in general, suffer predatory exploitation, putting high-value species at risk of extinction. For this reason, planted forests, which are commercially planned, are a viable alternative for reducing pressure on native forests. One of the main genera planted to meet industrial needs is *Pinus*; widely cultivated in the states of Paraná and Santa Catarina. Forest plantations are usually located in regions of low natural soil fertility. Thus, the industries are looking for new forest management techniques, aiming to improve the productive capacity, by improving soil fertility. The progressive increase in industries generates large amounts of solid and effluent waste on a daily basis, creating economic and environmental concerns for its proper disposal. An alternative use for this waste generated by the industries is the disposal in forest plantations, which can favor the chemical, physical and biological attributes of the soil. In this way, the present work aims to determine the dose of industrial waste (mixture between boiler ash and cellulosic sludge) that combines the higher productivity and quality of *Pinus taeda*, with minimal changes in biogeochemical cycles and litter accumulation. The experiment was installed in the municipality of Piraí do Sul in the state of Paraná in January 2011, under soil classified as Neossolo Quartzarênico Ortico typical, under Cfb climate. The experimental design was randomized blocks with five replications, totaling 25 trees per plot, with the 9 central trees being considered as useful area. After planting, doses of 0, 14, 25, 49 and 60 Mg ha⁻¹ of industrial waste were applied. After 7 years of planting, the litter stock, chemical characteristics of the soil, tree growth ((total height and diameter at breast height – DBH; the canopy fraction (branches, needles, bark, wood)) were determined. Commercial volume and wood density were also determined. In addition, the analysis of the nutrient content (macro and micronutrients) in the various components of the tree (needles, branches, bark and wood) was carried out, as well as its nutritional content. With the use of the residue, a significant increase in DBH and volume was observed with the application of the dose of 49 Mg ha⁻¹. This increase was related to better plant nutrition, with a decrease in Mn and Al. The density of the wood maintained the quality specified for the industrial process. In the soil, small changes occurred, such as increased availability of Ca and P. There was no change on amount of litter which remained in the amount available for soil protection. The application of industrial waste in established *Pinus taeda* plantations, showed great potential for improving productivity by reducing the time required for trees to be ready for cutting.

Keywords: *Pinus taeda*. Biosolid. Fertilizing. Planted Forest. Ash and sewage sludge.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. CROQUI COM DISPOSIÇÃO DOS BLOCOS E TRATAMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> , EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ EM 2011..... | 22 |
|--|----|

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 1. DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 31 |
| GRÁFICO 2. VOLUME COMERCIAL COM CASCA, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 33 |
| GRÁFICO 3. VOLUME COMERCIAL SEM CASCA DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 33 |
| GRÁFICO 4. ALTURA DA COPA DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 34 |
| GRÁFICO 5. DENSIDADE DA MADEIRA DAS ÁRVORES EM ALTURAS DE 10%, 30%, 50%, 70% E 90% DO COMPRIMENTO DO TRONCO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 39 |
| GRÁFICO 6. DENSIDADE PONDERADA DA MADEIRA DO TRONCO DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1. PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL (mm) NO MUNICÍPIO DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ. | 20 |
| TABELA 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICA DO SOLO (0-20 cm) UTILIZADO PARA PLANTIO DE <i>Pinus taeda</i> , NO MUNICÍPIO DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2011. | 21 |
| TABELA 3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO RESÍDUO INDUSTRIAL E QUANTIDADES DE NUTRIENTES APLICADAS PELOS TRATAMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> , EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2011. | 22 |
| TABELA 4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA SERAPILHEIRA, ESPESSURA (E) E PESO SECO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2017. | 28 |
| TABELA 5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 30 |
| TABELA 6. QUANTIDADE DE GALHOS NA COPA DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 36 |
| TABELA 7. COMPARTIMENTALIZAÇÃO DA BIOMASSA, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 38 |
| TABELA 8. TEORES DE NUTRIENTES NOS GALHOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 41 |
| TABELA 9. TEORES DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 42 |
| TABELA 10. TEORES DE NUTRIENTES NOS TRONCOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018. | 43 |

| | |
|---|----|
| TABELA 11. CONTEÚDO NUTRICIONAL NOS GALHOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018..... | 46 |
| TABELA 12. CONTEÚDO NUTRICIONAL NAS ACÍCULAS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018..... | 47 |
| TABELA 13. CONTEÚDO NUTRICIONAL NOS TRONCOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018..... | 48 |
| TABELA 14. CONTEÚDO NUTRICIONAL TOTAL NAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE <i>Pinus taeda</i> COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018..... | 50 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS | 20 |
| 2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL | 20 |
| 2.1.1 Localização da Área | 20 |
| 2.1.2 Clima | 20 |
| 2.1.3 Solo | 21 |
| 2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL | 21 |
| 2.3 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO INDUSTRIAL | 22 |
| 2.4 AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE SERAPILHEIRA | 23 |
| 2.5 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO | 23 |
| 2.6 AVALIAÇÃO DENDROMÉTRICA, ESTIMATIVA DA BIOMASSA, ANÁLISE DOS TEORES E CONTEÚDO DE NUTRIENTES DAS ÁRVORES | 24 |
| 2.6.1 Mensuração da Altura (H) e Diâmetro à Altura do Peito (DAP) | 24 |
| 2.6.2 Mensuração do Tamanho e Divisão da Copa | 24 |
| 2.6.3 Seleção e Contagem dos Galhos | 25 |
| 2.6.4 Amostragem de Galhos e Acículas | 25 |
| 2.6.5 Análise do Tronco | 25 |
| 2.6.6 Análise dos Teores de Nutrientes | 26 |
| 2.6.7 Estimativa do Conteúdo de Nutrientes | 27 |
| 2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 27 |
| 3 RESULTADOS | 28 |
| 3.1 ESTOQUE DE SERAPILHEIRA | 28 |
| 3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO | 29 |
| 3.3 AVALIAÇÃO DENDROMÉTRICA | 31 |
| 3.3.1 Altura Total e Diâmetro à Altura do Peito (DAP) | 31 |
| 3.3.2 Volume de tronco | 32 |
| 3.4 AVALIAÇÃO DA BIOMASSA | 34 |
| 3.4.1 Altura e Largura da Copa | 34 |
| 3.4.2 Quantidade de Galhos | 35 |
| 3.4.3 Compartimentalização da Biomassa | 37 |
| 3.4.4 Densidade da madeira | 39 |
| 3.5 TEORES DE NUTRIENTES NOS TECIDOS VEGETAIS | 40 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5.1 Galhos, Acículas, Casca e Lenho | 40 |
| 3.6 CONTEÚDO NUTRICIONAL NA BIOMASSA FLORESTAL | 44 |
| 3.6.1 Galhos, Acículas, Casca e Lenho | 44 |
| 3.6.2 Árvore Total | 49 |
| 4 DISCUSSÃO | 51 |
| 5 CONCLUSÕES | 55 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 56 |
| REFERÊNCIAS..... | 57 |

1 INTRODUÇÃO

O consumo de produtos no setor florestal é de grande importância na economia mundial, existindo duas fontes de recursos florestais, as florestas nativas e as florestas plantadas. As florestas nativas do Brasil que sofrem exploração predatória colocam em risco de extinção as espécies de alto valor. Por isso as florestas plantadas que são planejadas de forma comercial, constituem uma alternativa viável para a redução da pressão sobre as florestas nativas.

As florestas plantadas são fontes de produtos madeireiros e não madeireiros para fins comerciais ou somente de subsistência. Além disso, são responsáveis por ações socioambientais como o sequestro e armazenamento de carbono, promovem a recuperação de áreas degradadas, o combate à desertificação do solo e reduzem as emissões de gases de efeito estufa (ABRAF, 2013). E são conhecidas pela sustentabilidade, competitividade e inovação, tornando-se essencial para a produção de celulose, papéis, painéis de madeira, pisos laminados, carvão vegetal e biomassa (IBÁ, 2017).

A maior inserção das florestas plantadas no Brasil, aconteceu na segunda metade da década de sessenta; com os incentivos fiscais, as atividades silviculturais tiveram um grande avanço, principalmente com espécies do gênero *Pinus*. Essa ocupação do solo consistiu predominantemente com *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*, gênero que é a base para atender as necessidades industriais do sul do Brasil (RODRIGUES, 2004; LIMA, 2014).

Para os plantios florestais, independentemente do gênero e da região, é necessário entendimento específico de manejo em relação às variáveis que interferem na qualidade e produção da planta, destacando-se as variáveis edáficas que são de suma importância. Conforme Bellote et al. (1998), os solos brasileiros utilizados para reflorestamento, com raras exceções, são de baixa fertilidade. Assenheimer (2009) complementa que os solos utilizados com agricultura e pecuária por muitos anos, que já estão bem enfraquecidos, são também utilizados para os povoamentos florestais. Dessa forma, suas propriedades físico-químicas se apresentam bem modificadas, causando nos povoamentos uma produtividade decrescente.

Sendo assim, para expansão das áreas plantadas e aumento da produtividade de madeira do gênero *Pinus*, se faz necessária avaliação do solo e

maior atenção às técnicas de manejo para preservar o meio ambiente (MORALES et al., 2012). A recuperação desses solos enfraquecidos aumenta a disponibilidade de nutrientes minerais e a capacidade de armazenamento de água e cátions no solo (BELLOTE et al., 1998).

A grande exigência do mercado consumidor estimula os empresários florestais a buscarem sítios com melhor capacidade produtiva e homogeneidade da matéria-prima (CORRÊA, 2007). A crescente demanda de madeiras para os diferentes segmentos de mercado consumidor, atua como impulso à busca de matérias-primas mais adequadas e o reflorestamento é a principal fonte deste recurso renovável (CORRÊA, 2007; MORALES et al., 2012).

Nessa situação podemos considerar o aumento progressivo das indústrias, que geram diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, criando preocupações econômicas e ambientais (MORO; GONÇALVES, 1995; RODRIGUES, 2004). Por exemplo, as fábricas de papel produzem aproximadamente 48 t de resíduos para cada 100 t de celulose (BELLOTE et al., 1998). Este resíduo, conhecido como lodo da estação de tratamento de efluentes (ETEs), é usualmente destinado a aterros sanitários, limitando a sua reciclagem e aproveitamento (GOMES et al., 2013).

Entretanto, as empresas estão buscando novas alternativas de destinação de seus resíduos para diminuir o seu passivo ambiental (DICKOW; VELHO; COSTA, 2016). Uma alternativa de aproveitamento para esse resíduo gerado pelas indústrias é a disposição em plantios florestais, o que pode promover a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, propiciando incremento na produtividade e reduzindo os custos com insumos químicos e industrializados utilizados para correção do solo (RODRIGUES, 2004).

Os resíduos que possuem a capacidade de melhorar culturas agrícolas e florestais, após modificações microbianas, são chamados de biossólidos, termo substituto de lodo (ASSENHEIMER, 2009; GOMES et al., 2013). Sua aplicação é viável no setor florestal e pode ser considerada a melhor destinação para os resíduos das ETEs, se comparado aos outros meios de disposição (QUINTANA; CARMO; MELO, 2011; TOLEDO; VENTURIN; DIAS, 2012).

Alguns biossólidos como resíduos municipais, resíduos industriais de celulose e papel, cinzas de incineradores, compostos derivados da compostagem de matéria-

prima, compostos de resíduos mistos e resíduos de produtos florestais, podem ser considerados condicionadores do solo (ASSENHEIMER, 2009).

A cinza de biomassa florestal é um resíduo em destaque, pela sua quantidade produzida e características físicas e químicas que contribuem na incorporação ao solo (MORO; GONÇALVES, 1995). As cinzas apresentam altos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio e uma relação C/N de 30/1. Já o resíduo celulósico tem elevado teor de matéria orgânica total e compostável, altos teores de resíduo mineral, nitrogênio total, cálcio e relação C/N de 25/1 (BELLOTE et al., 1998).

Em estudos com resíduo industrial de fábrica de papel e celulose, Rodrigues (2004) encontrou aumento nos níveis de matéria orgânica, bases trocáveis, saturação por bases, capacidade de troca catiônica e capacidade de retenção de água nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm do solo. Além disso, Costa et al. (2009) e Dickow, Velho e Costa (2016), concluíram que sua utilização promoveu alterações nas propriedades químicas do solo, como aumento no pH, e nos teores Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P e na saturação de bases; e redução do Al trocável. Melhoria de propriedades físicas, capacidade de retenção de água e a densidade do solo também foram encontradas na adição do resíduo da indústria de celulose (BELLOTE et al., 1998).

Outra característica geral dos biossólidos (lodo de esgoto), além do C, é que possui também macro e micronutrientes essenciais às plantas (QUINTANA; CARMO; MELO, 2011). O uso do resíduo (biocarvão) auxilia na manutenção e aumento da fertilidade do solo (TRAZZI, 2014). Além disso, Sass et al. (2020) estudando aplicação do resíduo industrial celulósico e Toledo, Venturin e Dias (2012) estudando a aplicação do lodo de esgoto, complementam que sua adição nos solos florestais contribui para o manejo sustentável.

O solo por possuir uma abundante biodiversidade, é um atraente meio para depuração do lodo celulósico (BELLOTE et al., 1998). A aplicação de biossólidos ao solo acelera a decomposição de serapilheira e a ciclagem dos nutrientes, em razão do enriquecimento da atividade biológica (BELLOTE et al., 1998; RODRIGUES, 2004).

A utilização dos resíduos deve obedecer às regras que são exigidas de qualidade do material, limitações ambientais e edáficas, taxa de aplicação e cultura agrícola recomendada para obter um efeito esperado (QUINTANA; CARMO; MELO, 2011).

A aplicação do resíduo industrial ao solo deve proporcionar ao sítio florestal um ambiente produtivo e sustentável. Rodrigues (2004) afirma que a quantificação da biomassa simultaneamente com a diagnose do estado nutricional é um importante mecanismo para se avaliar o desenvolvimento das árvores em seus diversos compartimentos, diferentes concentrações de nutrientes nos tecidos vegetais auxiliam na busca de maior produtividade florestal e sustentabilidade ambiental.

Nesse sentido o desenvolvimento desse trabalho se torna de fundamental importância, pois analisa a aplicação de doses crescentes de resíduo industrial sob o crescimento do *Pinus taeda*, averiguando quimicamente o solo como corretivo e fonte de nutrientes, possíveis alterações na quantidade de serapilheira, mensuração do diâmetro à altura do peito e altura total da árvore, análise da qualidade da densidade da madeira para processo industrial e também avaliação do estado nutricional e conteúdo das árvores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

2.1.1 Localização da Área

A unidade experimental está localizada no município de Piraí do Sul, no estado do Paraná, pertencente a Iguazu Celulose, Papel S.A referenciada nas seguintes coordenadas geográficas 24° 24' 27.36" S e 49° 58' 34.70" O e altitude de 1.102 m a.n.m. Apresentava como cultura antecessora a mesma espécie cultivada no momento, o *Pinus taeda*, plantados em espaçamento 3 x 2 m. Foram cultivados dois ciclos de 12 anos cada, onde os plantios foram submetidos ao corte raso mantendo-se os resíduos no campo. A prática silvicultural utilizada não prescrevia o uso de corretivos e fertilizantes na área.

2.1.2 Clima

O clima da região de Piraí do Sul é classificado segundo Köppen como Cfb, clima temperado propriamente dito; temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013; PARANÁ, 2018). A precipitação média anual, entre 2011 e 2018, variou 1.532 até 1.983 mm, conforme TABELA 1 (ÁGUAS PARANÁ, 2018).

TABELA 1. PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL (mm) NO MUNICÍPIO DE PIRAÍ DO SUL, PARANÁ.

| Ano | Mês | | | | | | | | | | | | Total |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | |
| 2011 | 262 | 143 | 108 | 129 | 26 | 112 | 130 | 231 | 26 | 264 | 120 | 141 | 1692 |
| 2012 | 212 | 161 | 62 | 271 | 57 | 341 | 89 | 30 | 47 | 78 | 95 | 90 | 1532 |
| 2013 | 137 | 317 | 117 | 110 | 143 | 336 | 139 | 6 | 184 | 168 | 96 | 82 | 1835 |
| 2014 | 233 | 100 | 152 | 125 | 126 | 192 | 87 | 29 | 280 | 45 | 159 | 142 | 1670 |
| 2015 | 111 | 162 | 239 | 85 | 154 | 16 | 230 | 49 | 214 | 205 | 341 | 178 | 1983 |
| 2016 | 288 | 247 | 81 | 70 | 176 | 129 | 83 | 214 | 47 | 127 | 107 | 117 | 1685 |
| 2017 | 113 | 46 | 148 | 0 | 198 | 212 | 0 | 104 | 70 | 278 | 141 | 276 | 1587 |
| 2018 | 225 | 43 | 313 | 34 | 42 | 81 | 14 | 49 | 64 | 240 | 44 | 57 | 1205 |

FONTE: (ÁGUAS PARANÁ, 2018).

2.1.3 Solo

A área possui o relevo ondulado, com material de origem do tipo Arenito. O solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (SASS, 2016).

Antes da implantação do experimento, foi realizada amostragem do solo com coleta de 25 amostras simples a 0-20 cm de profundidade, que compuseram uma amostra composta para caracterização química e granulométrica do solo (TABELA 2), seguindo a metodologia descrita pela EMBRAPA (2009).

TABELA 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICA DO SOLO (0-20 cm) UTILIZADO PARA PLANTIO DE *Pinus taeda*, NO MUNICÍPIO DE PIRAI DO SUL, PARANÁ, EM 2011.

| pH CaCl ₂ | Al -----cmol _c dm ⁻³ ----- | H + Al | Ca | Mg | K g dm ⁻³ | Na | P --mg dm ⁻³ -- | C g dm ⁻³ | V % | Argila | Silte | Areia g kg ⁻¹ |
|----------------------|---|--------|------|------|-------------------------|------|-------------------------------|-------------------------|--------|--------|-------|-----------------------------|
| 4,07 | 0,69 | 3,97 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,2 | 3,67 | 2,5 | 138 | 75 | 788 |

FONTE: (SASS, 2016).

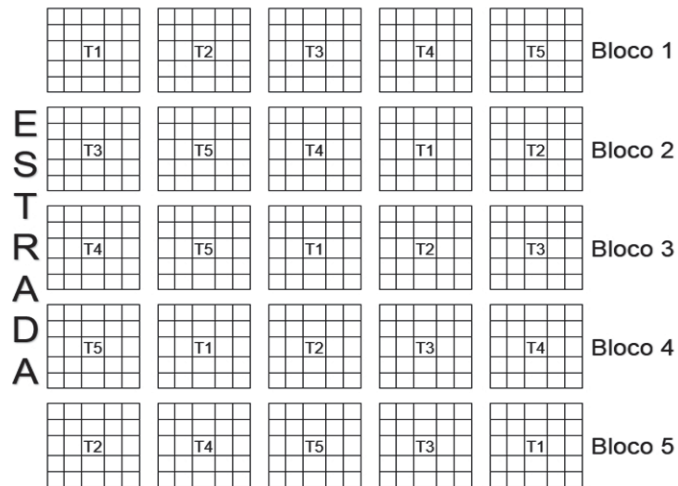
2.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

A implantação da unidade experimental ocorreu em janeiro de 2011, com mudas clonais de *Pinus taeda*, em um espaçamento de 2,5 x 2,5 m. Após seis meses do plantio, ocorreram as demarcações das parcelas e blocos experimentais. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, apresentando cinco repetições, totalizando 25 parcelas, com 156 m² cada (FIGURA 1).

Em cada tratamento foram desconsideradas as árvores de bordadura, consequentemente a área útil são as nove árvores centrais. Após a demarcação das parcelas foram aplicados os resíduos em uma única vez de modo manual, superficial e sem incorporação ao solo.

Os tratamentos correspondem a doses crescentes de resíduo industrial, com a finalidade de elevar a saturação por bases do solo para 20, 40, 60 e 80 %, para isso utilizou-se cinco tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 com as correspondentes doses: 0, 14, 25, 49 e 60 Mg ha⁻¹ do resíduo.

FIGURA 1. CROQUI COM DISPOSIÇÃO DOS BLOCOS E TRATAMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda*, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ EM 2011.



FONTE: A autora (2018).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO INDUSTRIAL

O resíduo compreende uma combinação de 70% de lodo celulósico com 30% de cinza de caldeira, armazenados sobre processo de compostagem por 12 meses a céu aberto. A análise laboratorial do resíduo industrial (TABELA 3) foi realizada baseada na metodologia descrita em MAPA (2007).

TABELA 3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO RESÍDUO INDUSTRIAL E QUANTIDADES DE NUTRIENTES APLICADAS PELOS TRATAMENTOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda*, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2011.

| | | Tratamento (Mg ha ⁻¹) | | | |
|---------------------------------|--------|-----------------------------------|---------|---------|---------|
| Lodo + Cinza | | 14 | 25 | 49 | 60 |
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | ----- kg ha ⁻¹ ----- | | | |
| N | 8,9 | 124,6 | 222,5 | 436,1 | 534,0 |
| P ₂ O ₅ | 3,6 | 50,4 | 90,0 | 176,4 | 216,0 |
| K ₂ O | 4,5 | 63,0 | 112,5 | 220,5 | 270,0 |
| MgO | 7,7 | 107,8 | 192,5 | 377,3 | 462,0 |
| CaO | 7,1 | 99,4 | 177,5 | 347,9 | 426,0 |
| S | 8,1 | 113,4 | 202,5 | 396,9 | 486,0 |
| MO | 560,0 | 7840,0 | 14000,0 | 27440,0 | 33600,0 |
| ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| Fe | 7800,0 | 109,2 | 195,0 | 382,2 | 468,0 |
| Cu | 13,0 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,8 |
| B | 181,8 | 2,5 | 4,5 | 8,9 | 10,9 |
| Mn | 537,6 | 7,5 | 13,4 | 26,3 | 32,3 |
| Zn | 94,6 | 1,3 | 2,4 | 4,6 | 5,7 |

FONTE: (SASS, 2016).

2.4 AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE SERAPILHEIRA

A coleta do estoque de serapilheira foi realizada no mês de junho de 2017, após 7 anos do plantio. Incluindo seis pontos amostrais distribuídos no caminhamento em zigue-zague de forma sistemática sobre a área útil de cada parcela.

Para se avaliar o estoque de serapilheira cada área foi demarcada com um gabarito fabricado em PVC, tamanho 0,25 X 0,25 m. Com o auxílio de uma faca serrada realizou-se o corte interno ao gabarito. Após utilizando uma espátula, coletou-se o material contido na parte superior do piso florestal e na sequência mediu-se com régua graduada a altura (cm) da serapilheira. As amostras de serapilheira foram separadas em litter novo (acículas recém caídas ao solo, não agregadas) e frações F e H (material bem agregado e em decomposição); após pesadas em campo (massa úmida), e reservadas em sacos de papel devidamente identificados.

Encerrando os trabalhos de campo, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada de ar à 60 °C até atingir o peso constante e então pesadas gerando assim a massa seca.

2.5 AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

A coleta do solo aconteceu após a retirada da serapilheira, nos mesmos seis pontos amostrais em cada parcela, com o auxílio de um trado do tipo holandês. Foram coletados em duas profundidades: 0-10 cm e 10-20 cm para formação das amostras compostas por tratamento. As amostras foram secas em estufa à 60°C, e passadas em peneira de malha 2 mm, formando a terra fina seca em estufa (TFSE).

As amostras foram utilizadas para a avaliação em laboratório de pH em CaCl_2 0,01M (1:2,5 solos: solução), pH SMP (RAIJ; QUAGGIO, 1983), Al^{3+} , H + Al, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , P, Zn, Mn, Fe, Cu e C. As amostras foram analisadas segundo a metodologia de Silva et al. (1999), sendo que para a extração de Al, Ca e Mg utiliza KCl 1 M. Já para K, P e micronutrientes, foi usado o extrator Mehlich 1 (0,025 M HCl e 0,0125 M H_2SO_4). A extração de carbono, foi feita com dicromato de sódio ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) + H_2SO_4 . Os elementos foram determinados utilizando os seguintes

equipamentos ou técnicas: Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu – Espectrofotômetro de absorção atômica; C e P – Fotocolorímetro – Espectrofotômetro; K – Espectrômetro de emissão por chama; Al – Titulometria com base (hidróxido de sódio) e uso do indicador azul de bromotimol.

2.6 AVALIAÇÃO DENDROMÉTRICA, ESTIMATIVA DA BIOMASSA, ANÁLISE DOS TEORES E CONTEÚDO DE NUTRIENTES DAS ÁRVORES

2.6.1 Mensuração da Altura (H) e Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Após 7 anos de plantio, foram realizadas as avaliações das nove árvores centrais de cada tratamento. Para medição da altura (m) utilizou-se o clinômetro digital Haglöf. Já para a medição do DAP (cm), utilizou-se a fita dendrométrica.

Calculou-se a área transversal pertinente aos tratamentos, empregando a fórmula ($g = \pi \cdot \text{DAP}^2 / 40.000$), sendo que g representa a área transversal (m^2), π representa a constante (3,141592654) e DAP o diâmetro a 1,3 m do solo (cm). A área basal determinou-se por hectare, onde valores médios de área transversal por espaçamento foram multiplicados pelo número estimado de árvores por ha, sua população é de 1.600 árvores por ha (Espaçamento 2,5 X 2,5 m), sem mortalidade nas parcelas. Para a seleção da árvore representativa na parcela, tomou-se como base a medição do DAP (cm), onde identificou-se a árvore com DAP médio no tratamento, então esta foi marcada com spray para o corte e cubagem.

2.6.2 Mensuração do Tamanho e Divisão da Copa

Após o corte da árvore considerada média em cada tratamento, realizou-se a mensuração do tamanho da copa, com o auxílio de uma trena. Mediu-se o tamanho total da copa desde o lançamento dos primeiros galhos até a ponteira, e dividiu-se por 3 constituindo assim o terço inferior, o terço médio e o terço superior de cada árvore. A localização dos terços foi identificada e após marcação realizou-se a medida da largura média de cada terço da copa.

2.6.3 Seleção e Contagem dos Galhos

Simultaneamente ao processo de divisão da copa, aconteceu a determinação da biomassa aérea das árvores. Primeiramente os galhos foram cortados, considerando os terços da copa; em seguida contados e separados entre galhos vivos (com acículas verdes) e galho mortos (secos sem acículas). O peso verde da biomassa foi obtido para cada componente com o auxílio de lonas e balança digital de gancho. A ponteira da árvore ficou ligada ao tronco, para posterior cubagem.

2.6.4 Amostragem de Galhos e Acículas

Na sequência de campo, reservou-se, em cada tratamento, dois galhos vivos e dois galhos mortos, por terço amostral (terço inferior, terço médio e terço superior), posteriormente pesou-se separadamente cada amostra de galho (peso verde).

Nos galhos vivos separados fez-se a retirada das acículas para pesagem individualizada entre galhos e acículas presentes. Obtendo-se o peso verde das acículas e galhos, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e identificadas (bloco, tratamento, disposição na copa, galhos vivos ou mortos).

Todas as amostras identificadas foram, depois secas em estufa a 60 °C até atingir o seu peso constante, para determinação do peso da matéria seca (peso seco).

2.6.5 Análise do Tronco

Para a análise do tronco, após abate da árvore, utilizou-se uma trena e mediu-se a altura total até a ponteira; e a altura comercial considerando o limite superior no tronco o diâmetro de 8 cm. Cubou-se o fuste da árvore utilizando a altura comercial para obter o volume com casca e sem casca, por meio do método de Hohenadl (1936).

Para a estimativa do volume do fuste, separando em casca e lenho, mediu-se o diâmetro de cada ponto considerando a casca e também com a régua media-se a

espessura da casca (mm). Os pontos utilizados por esse método são a 10%, 30%, 50%, 70% e 90% da altura comercial da árvore (m).

As amostras para a densidade básica do lenho foram retiradas do fuste em disco de aproximadamente 5 cm de espessura, localizados nos mesmos pontos mensurados na cubagem. Esses discos foram colocados em sacos de papel e após foram determinada em laboratório a densidade básica, empregando a fórmula (DB: PS / PU- PI) onde: DB refere-se a densidade básica (g/cm^3), PS peso seco em estufa a 105°C , PU peso úmido saturado (g), PI peso imerso (g). A densidade é baseada no método de imersão, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 11941:2003 (2003). Para a estimativa da densidade de cada indivíduo, foi calculada a densidade básica média ponderada por segmento, considerando o volume (m^3) representativo de cada ponto como fator de ponderação.

Foram ainda retiradas amostras para determinação dos teores de nutrientes do lenho e da casca nas posições 0% (base), 50% (meio), 100% (ponteira comercial) do fuste.

2.6.6 Análise dos Teores de Nutrientes

As amostras de acículas, galhos vivos, galhos mortos, casca e lenho foram secas em estufa de ventilação forçada a 60°C , até atingir o peso constante. Em sequência foram moídas em moinho de facas tipo Willye, com peneira de malha 20 mesh, e acondicionadas em sacos plásticos identificados.

As amostras foram submetidas as análises químicas para a determinação de P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B e Al, onde amostras de 0,5 g de tecido, receberam 4 ml de ácido nítrico (HNO_3 ; 65%) e permaneceram em repouso durante 12 horas. Então elevou-se a temperatura até 120°C , e adicionou 2 ml de ácido perclórico (HClO_4 ; 70%) e elevou-se novamente a temperatura até 180°C . O extrato frio teve o volume aferido em balão volumétrico de 25 ml, com água deionizada. A leitura realizou-se por Espectrofotometria de absorção atômica (EAA). Já a leitura do P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B e Al realizou-se no Optical Emission Spectrometer with Inductively Coupled Plasma (ICP-OES) (Varian, 720-ES). Outras amostras secas foram moídas

e colocadas em cápsulas de estanho, para análise de C e N, utilizou-se o equipamento Analisador Elementar Perkin-Elmer CHNS/OPEZ 400 séries.

2.6.7 Estimativa do Conteúdo de Nutrientes

Com os valores da biomassa florestal (galhos mortos, galhos vivos, acículas, casca e lenho) e dos teores de nutrientes correspondentes, calculou-se o conteúdo de nutrientes disponível em cada parte da árvore.

A determinação do conteúdo nas acículas e galhos, foi realizado pela divisão entre o peso seco amostral desses compartimentos (gramas), e a quantidade amostral (2 unidades), seguido de multiplicação pela quantidade total de galhos existentes na árvore média e posterior multiplicou-se pelo teor obtido para cada nutrientes. Este representando o resultado do conteúdo por planta. Para estimarmos o conteúdo por hectare multiplicou-se o valor do conteúdo por planta por 1.600 (unidades presentes em 1 ha) e na sequência dividiu-se por 1.000 obtendo o resultado em kg/ha ou g/ha.

A determinação dos conteúdos de nutrientes do tronco e da casca foi realizado considerando os 5 segmentos: 10%, 30%, 50%, 70%, 90% da altura da árvore. Calculou-se a massa (massa = densidade X volume) para cada segmento, multiplicou-se pelo teor com a junção de 3 divisões (base 10%, médio 30 e 50%, superior 70 e 90%). Pela soma dos conteúdos de nutrientes em cada compartimento, obteve-se o valor total de nutrientes considerando a árvore total na altura comercial.

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis foram submetidas ao teste de homogeneidade das variâncias (Bartlett). A seguir, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida por teste de Tukey com o nível de confiança adotado de 95% ($p < 0,05$) para dados de serapilheira, solo, teor e conteúdo de nutrientes. Também realizou-se a análise de regressão, para dados de DAP, altura, volume. E cálculos de equações de 2º para dados da DMET. As análises estatísticas foram executadas com auxílio do software R, versão 3.5.3 (2019-03-11).

3 RESULTADOS

3.1 ESTOQUE DE SERAPILHEIRA

As características morfológicas da serapilheira após a aplicação das doses do resíduo industrial apresentadas na Tabela 4, indicaram nenhuma variação estatística significativa.

Em relação a espessura houve variação de apenas 0,66 cm entre a dose de 14 Mg ha⁻¹ (8,27 cm) que representa a maior espessura e a dose zero onde foi encontrada a menor espessura (7,61 cm). E analisando a massa seca do Litter novo (L) a variação foi de 23% entre a dose de 14 Mg ha⁻¹ (6,3 Mg ha⁻¹) e a testemunha (5,2 Mg ha⁻¹). Praticamente a mesma variação ocorreu para o Litter velho (F e H) com 25% entre a dose de 60 Mg ha⁻¹ e a dose de 25 Mg ha⁻¹ (TABELA 4).

TABELA 4. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA SERAPILHEIRA, ESPESSURA (E) E PESO SECO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2017.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | E (cm) | L | F e H |
|-----------------------------|--------|--|---------|
| | | Massa seca ----- (Mg ha ⁻¹) ----- | |
| 0 | 7,61 a | 5,2 a | 111,9 a |
| 14 | 8,27 a | 6,3 a | 105,3 a |
| 25 | 7,20 a | 6,1 a | 102,1 a |
| 49 | 7,88 a | 6,0 a | 106,9 a |
| 60 | 7,95 a | 6,1 a | 128,1 a |
| p-valor | 0,735 | 0,375 | 0,936 |
| f-valor | 0,502 | 1,120 | 0,198 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey). FONTE: A autora (2018).

3.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

Na avaliação geral do solo ocorreu pequena influência da aplicação do resíduo sobre a acidez. A acidez ativa representada pelo pH, apresentou apenas variação quanto à profundidade, sendo ligeiramente superior (valor médio de 4,08) na camada de 0-10 cm, comparativamente a camada de 10-20 cm (valor médio de 3,90) (TABELA 5). O mesmo foi observado para pH em solução tamponante de SMP, Al trocável e acidez potencial (H + Al). Apesar da elevada quantidade adicionada não foi verificada a ação corretiva da acidez do resíduo, mesmo em solo com baixo poder tamponante.

O efeito dos resíduos sobre as bases trocáveis no solo foi baixo, sendo que apenas Ca aumentou na camada de 10-20 cm, passando do nível muito baixo para baixo, ou seja, o acréscimo não foi expressivo em termos absolutos. Mas, o aumento foi muito expressivo em termos relativos, com acréscimo de mais de duas vezes, frente ao baixo valor encontrado no solo. Tendência de acréscimo no valor de Ca trocável foi também observado na camada de 0-10 cm.

O Mg, K e Na trocáveis eram muito baixos, sendo ligeiramente superiores na camada de 10-20 cm. Os acréscimos no P “disponível” foram mais expressivos com elevação nas duas camadas avaliadas. Acompanhando o observado com o Ca, os acréscimos foram maiores na camada de 10-20 cm, embora o P seja reconhecido por sua baixa mobilidade em solos ácidos.

A aplicação de resíduo não proporcionou mudança na concentração de C no solo, na camada de 0-10 cm os valores médios foram inferiores comparativamente aos observados na camada de 10-20 cm.

TABELA 5. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAI DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | pH CaCl ₂ | pH SMP | Profundidade 0 -10 cm | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------|---|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| | | | Al | H+ Al | Ca | Mg | K | Na | P | C |
| | | | ----- (cmol _c dm ⁻³) ----- | | | | | | | |
| 0 | 4,01 a A | 6,04 ab A | 0,78 a B | 5,00 ab B | 0,14 a A | 0,10 a B | 0,04 a B | 0,02 a A | 1,72 b B | 25,12 a B |
| 14 | 4,08 a A | 6,32 a A | 0,62 a B | 4,08 b B | 0,24 a A | 0,12 a B | 0,04 a B | 0,02 a A | 2,18 b B | 14,42 a B |
| 25 | 4,11 a A | 6,26 ab A | 0,63 a B | 4,24 b B | 0,20 a A | 0,08 a B | 0,04 a B | 0,02 a A | 3,28 ab B | 21,10 a B |
| 49 | 4,02 a A | 5,82 b A | 0,77 a B | 6,18 a B | 0,28 a A | 0,12 a B | 0,04 a B | 0,02 a A | 4,42 a B | 22,18 a B |
| 60 | 4,20 a A | 6,06 ab A | 0,66 a B | 5,16 ab B | 0,24 a A | 0,12 a B | 0,04 a B | 0,02 a A | 3,26 ab B | 11,80 a B |
| Profundidade 10 -20 cm | | | | | | | | | | |
| 0 | 3,82 a B | 5,55 ab B | 1,32 a A | 7,36 ab A | 0,14 b A | 0,14 a A | 0,04 a A | 0,02 a A | 2,64 b A | 22,78 a A |
| 14 | 3,95 a B | 5,94 a B | 0,91 a A | 4,92 b A | 0,28 b A | 0,12 a A | 0,05 a A | 0,03 a A | 4,18 b A | 21,48 a A |
| 25 | 3,96 a B | 5,89 ab B | 1,07 a A | 5,84 b A | 0,38 ab A | 0,14 a A | 0,05 a A | 0,03 a A | 6,44 ab A | 27,00 a A |
| 49 | 3,92 a B | 5,45 b B | 1,20 a A | 8,58 a A | 0,76 a B | 0,16 a A | 0,08 a A | 0,02 a A | 14,24 a A | 31,50 a A |
| 60 | 3,85 a B | 5,78 ab B | 0,95 a A | 6,18 ab A | 0,34 ab A | 0,14 a A | 0,05 a A | 0,02 a A | 5,22 ab A | 21,48 a A |
| CV (a) % | 4,42 | 5,50 | 27,10 | 28,30 | 93,80 | 33,00 | 31,80 | 37,70 | 87,10 | 47,50 |
| CV (b) % | 3,02 | 5,40 | 16,90 | 33,90 | 59,30 | 41,10 | 24,00 | 27,70 | 75,10 | 44,40 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

* Letras minúsculas refere-se a diferença estatística entre os tratamentos. Letras maiúsculas refere-se a diferença estatística entre as profundidades.

CV (a) % coeficiente de variação do tratamento, CV (b) % coeficiente de variação da profundidade.

FONTE: A autora (2018).

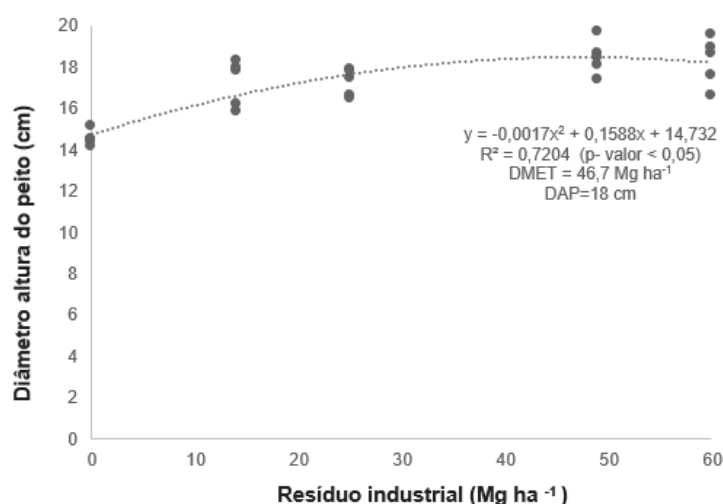
3.3 AVALIAÇÃO DENDROMÉTRICA

3.3.1 Altura Total e Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Não houve efeito (p -valor $>0,05$) da aplicação das doses do resíduo com avaliação aos 7 anos na variável altura de *Pinus taeda*, obtendo como altura média 11,6 m. Porém, houve diferença significativa (p -valor $< 0,05$) na avaliação do DAP, sendo que todos os tratamentos que receberam a incorporação com o resíduo obtiveram resultados melhores comparando com a testemunha. A dose de 49 Mg ha⁻¹ apresentou o valor máximo de diâmetro de 18,44 cm, ganho aproximado de 4 cm em relação a testemunha (GRÁFICO 1).

Para avaliação do crescimento das árvores em DAP ajustou-se a equações de regressão, obtida por equação polinomial de grau dois, com coeficiente de determinação (r^2), o valor obtido no presente estudo foi de 72% como pode ser observado no GRÁFICO 1. O *Pinus taeda* apresentou resposta quadrática para a variável diâmetro em função da aplicação das doses de resíduo industrial, resultando na dose estimada de máxima eficiência técnica próximo aos 46,7 Mg ha⁻¹.

GRÁFICO 1. DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.



FONTE: A autora (2018).

3.3.2 Volume de tronco

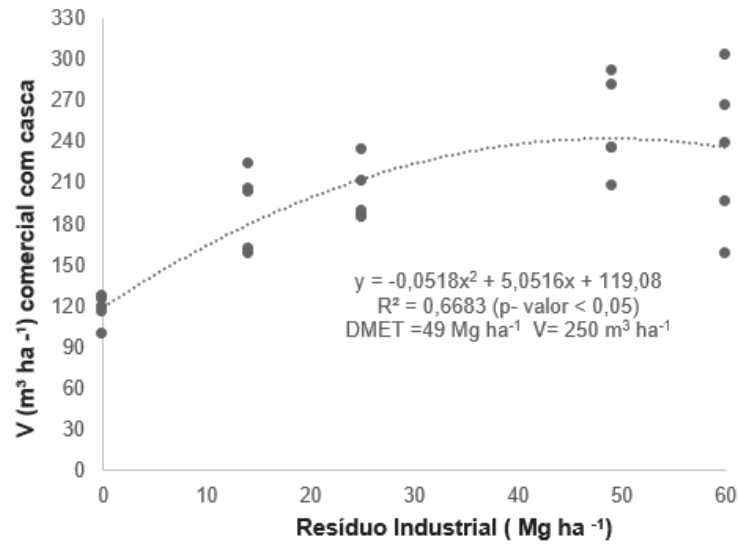
Na variável volume do tronco ocorreu efeito significativo na aplicação do resíduo, com um acréscimo expressivo de incremento. Para o volume com casca obteve resultados de 116,9 m³ ha⁻¹ para a testemunha e um volume máximo de 250,0 m³ ha⁻¹ com a dosagem de 49 Mg ha⁻¹ (GRÁFICO 2). Isto é, considerando um total aproximado de 20,5 m³ ha⁻¹ de casca presente na testemunha e 38,6 m³ ha⁻¹ de casca presente na dose de 49 Mg ha⁻¹. Já para o volume sem casca ideal para o processo produtivo, obteve resultados de 96,4 m³ ha⁻¹ considerando a testemunha e um volume máximo de 211,4 m³ ha⁻¹ com a dosagem de 49 Mg ha⁻¹ (GRÁFICO 3).

Para os cálculos do incremento médio anual (IMA) do *Pinus taeda* neste sitio, considerando somente o volume sem casca obteve-se resultados de 13,7 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em razão da testemunha e 30,2 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ com a dosagem de 49 Mg ha⁻¹. A adição do resíduo conseguiu duplicar os resultados do IMA com uma diferença produtiva de 16,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

Em ambos os volumes com casca e sem casca em particular, os tratamentos onde foi adicionado o resíduo foram semelhantes estatisticamente pelo teste de Tukey, porém obtiveram uma diferença significativa se comparada com a testemunha.

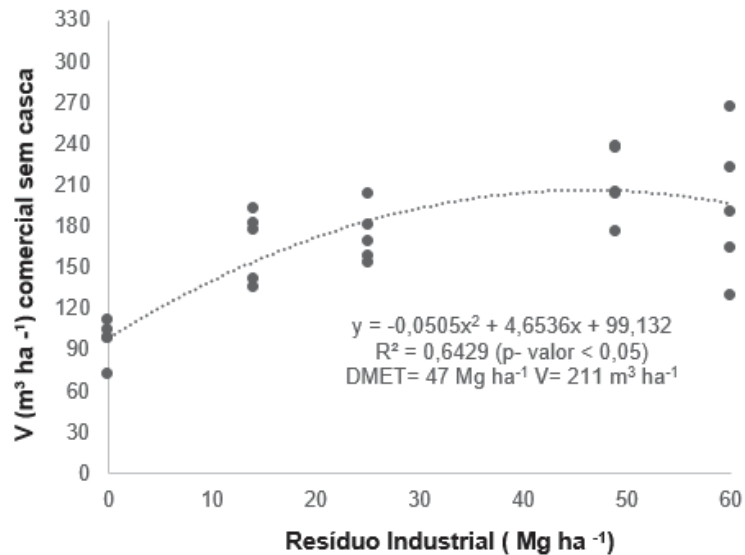
Posteriormente calculou-se a dose de máxima eficiência técnica (DMET), ajustando a equação de regressão, obtida por equação polinomial de grau dois, com coeficiente de determinação (r^2) de 66% como pode ser observado no GRÁFICO 2. Sendo assim, a DMET de 48,7 Mg ha⁻¹ demonstrou resultados melhores do volume comercial com casca para o *Pinus taeda* com 7 anos de idade. Do mesmo modo, realizou a DMET para o volume sem casca, com coeficiente de determinação (r^2) de 64%, sendo a DMET mais adequada 46,7 Mg ha⁻¹ reputado no GRÁFICO 3 e simultaneamente condizente com a dose calculada para o DAP.

GRÁFICO 2. VOLUME COMERCIAL COM CASCA, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.



FONTE: A autora (2018).

GRÁFICO 3. VOLUME COMERCIAL SEM CASCA DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.



FONTE: A autora (2018).

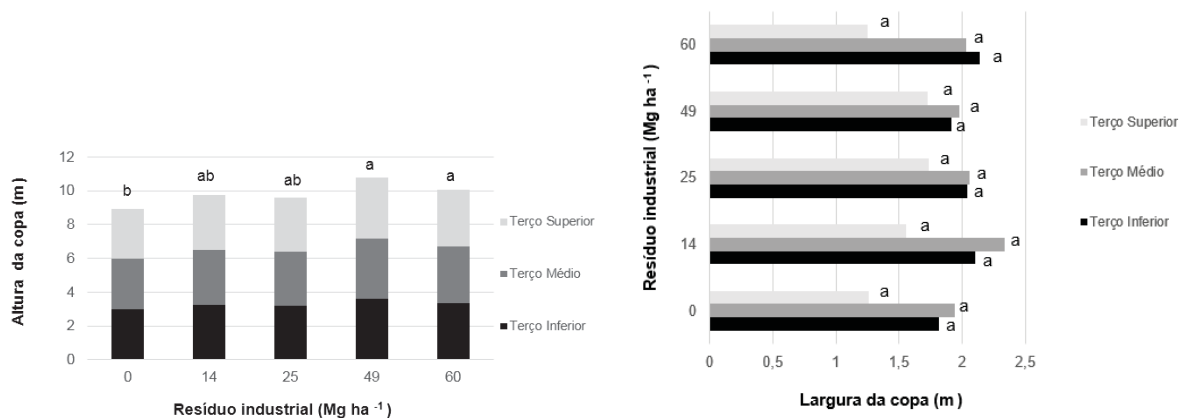
3.4 AVALIAÇÃO DA BIOMASSA

3.4.1 Altura e Largura da Copa

As copas das árvores em relação à altura obtiveram diferenças significativas estatísticas, apresentando as mais altas árvores referente as doses de 49 e 60 Mg ha⁻¹ que foram semelhantes com uma média de 10,4 metros de altura de copa e a mais baixa a testemunha com 8,9 metros (GRÁFICO 4).

Entretanto, em relação à largura das copas os tratamentos não promoveram diferenças, apresentando a média de 2,00 m de largura para os terços inferior e médio e 1,50 m para o terço superior (GRÁFICO 4).

GRÁFICO 4. ALTURA DA COPA DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRÁÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.



Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

FONTE: A autora (2018).

3.4.2 Quantidade de Galhos

A árvore de *Pinus taeda*, não apresentou diferenças estatísticas representativas referente a quantidades de galhos vivos comparadas por terço, indicando similar manutenção da parte ativa. Em média, 5, 20 e 15 galhos foram encontrados no terço inferior, médio e superior, respectivamente (TABELA 6), totalizando cerca de 40 galhos vivos. A massa de galhos vivos ficou em média de 9,6 kg árvore⁻¹.

A quantidade de galhos mortos do terço inferior da copa mostrou diferenças entre tratamentos, com 14 galhos para a testemunha e 28 galhos para a dose de 14 Mg ha⁻¹. Considerando o terço médio e superior, estes não apresentaram diferenças significativas entre as dosagens, relacionando a média de 2 unidades e 1 unidade respectivamente. A massa de galhos mortos também foi afetada pelo uso de resíduo. Variou de 0,751 a 1,934 kg árvore⁻¹ para testemunha e na dose de 49 Mg ha⁻¹, respectivamente (TABELA 6).

Estipulando uma média, sem levar em consideração as diferenças estatísticas, obtemos um valor total de 22 galhos mortos aproximadamente com uma massa média de 1,355 kg árvore⁻¹.

TABELA 6. QUANTIDADE DE GALHOS NA COPA DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Galhos Vivos | | | | Galhos Mortos | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| | Inferior ----- (unidade) | Médio ----- (unidade) | Superior ----- (unidade) | Massa (kg árvore ⁻¹) | Inferior ----- (unidade) | Médio ----- (unidade) | Superior ----- (unidade) | Massa (kg árvore ⁻¹) |
| 0 | 8 a | 18 a | 14 a | 7,679 a | 14 b | 1 a | 0 a | 0,751 b |
| 14 | 6 a | 21 a | 16 a | 10,883 a | 28 a | 1 a | 0 a | 1,522 ab |
| 25 | 3 a | 22 a | 15 a | 9,542 a | 21 ab | 0 a | 0 a | 1,574 ab |
| 49 | 3 a | 23 a | 20 a | 10,601 a | 17 b | 6 a | 6 a | 1,934 a |
| 60 | 3 a | 19 a | 16 a | 9,369 a | 14 b | 0 a | 0 a | 0,997 ab |
| p-valor | 0,53 | 0,53703 | 0,53703 | 0,23426 | 0,000618 | 0,186073 | 0,394261 | 0,046664* |
| f-valor | 0,791 | 0,791 | 0,791 | 1,443 | 5,883437 | 1,613899 | 1,044405 | 3,077 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

FONTE: A autora (2018).

3.4.3 Compartimentalização da Biomassa

Na tabela 07, é possível analisar a distribuição absoluta e relativa da biomassa nos diferentes compartimentos da floresta de *Pinus taeda*. O menor valor da biomassa absoluta total foi observado na testemunha, com 75,71 Mg ha⁻¹ considerando todos os compartimentos da árvore de *Pinus taeda* com 7 anos de idade. Já o maior valor de biomassa absoluta total foi com a adição da dose de 49 Mg ha⁻¹ resultando em 127,39 Mg ha⁻¹.

Na madeira do fuste compartimento mais importante para a indústria de papel e celulose a dose de 49 Mg ha⁻¹ da adição de resíduo resultou em massa igual a 84,12 Mg ha⁻¹, e a testemunha mostrou um resultado bem inferior, com 65,61 Mg ha⁻¹.

A compartimentalização da biomassa relativa, resultou em similaridades entre o tratamento testemunha comparado com a dose de 49 Mg ha⁻¹ da adição de resíduo.

Os tratamentos de 0, 49 e 60 Mg ha⁻¹ de resíduo industrial resultaram em sequências de acúmulo de biomassa similares: Madeira do fuste > Casca do fuste > Galhos vivos > Acícula > Galhos mortos. Por outro lado, as doses de 14 e 25 Mg ha⁻¹ apresentaram uma sequência diferenciada, sendo: Madeira do fuste > Casca do fuste > Galhos vivos > Galhos mortos > Acícula.

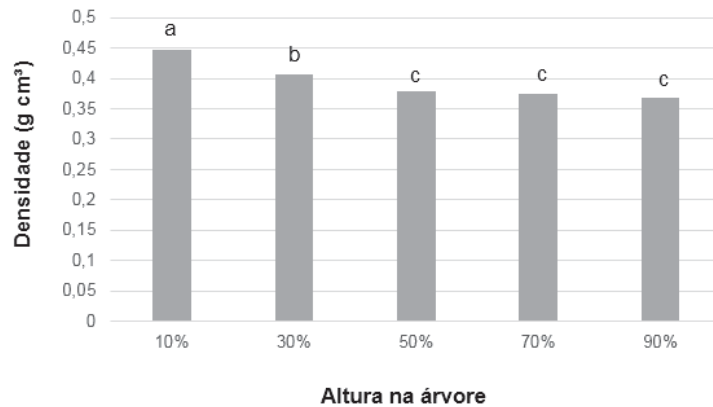
TABELA 7. COMPARTIMENTALIZAÇÃO DA BIOMASSA, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAI DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Compartimento | Terço Inferior | Terço Médio | Terço Superior | Total | Biomassa Relativa (%) |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------|-------------|----------------|--------|-----------------------|
| | | ----- Mg ha ⁻¹ ----- | | | | |
| 0 | Acícula | 0,54 | 3,29 | 2,21 | 6,04 | 7,98 |
| | Galho Vivo | 2,26 | 4,27 | 1,57 | 8,10 | 10,70 |
| | Galho Morto | 3,80 | 0,04 | 0,00 | 3,84 | 5,07 |
| | Casca do Fuste | 3,51 | 4,23 | 1,08 | 8,82 | 11,65 |
| | Madeira do Fuste | 12,96 | 25,91 | 10,04 | 48,91 | 64,60 |
| | Biomassa da Copa | 6,60 | 7,60 | 3,78 | 17,98 | 23,75 |
| | Biomassa do Tronco | 16,47 | 30,14 | 11,12 | 57,73 | 76,25 |
| | Biomassa Arbórea | 23,07 | 37,74 | 14,90 | 75,71 | 100,00 |
| 14 | Acícula | 0,31 | 2,38 | 4,13 | 6,82 | 6,61 |
| | Galho Vivo | 2,22 | 6,11 | 3,69 | 12,02 | 11,65 |
| | Galho Morto | 8,10 | 0,00 | 0,00 | 8,10 | 7,85 |
| | Casca do Fuste | 5,62 | 3,98 | 1,01 | 10,61 | 10,28 |
| | Madeira do Fuste | 22,08 | 29,15 | 14,38 | 65,61 | 63,60 |
| | Biomassa da Copa | 10,63 | 8,49 | 7,82 | 26,94 | 26,11 |
| | Biomassa do Tronco | 27,70 | 33,13 | 15,39 | 76,22 | 73,89 |
| | Biomassa Arbórea | 38,33 | 41,62 | 23,21 | 103,16 | 100,00 |
| 25 | Acícula | 0,12 | 3,19 | 2,12 | 5,43 | 5,36 |
| | Galho Vivo | 0,97 | 6,20 | 2,18 | 9,35 | 9,23 |
| | Galho Morto | 5,50 | 0,00 | 0,00 | 5,50 | 5,43 |
| | Casca do Fuste | 5,58 | 4,82 | 1,44 | 11,84 | 11,69 |
| | Madeira do Fuste | 23,42 | 29,81 | 15,96 | 69,19 | 68,30 |
| | Biomassa da Copa | 6,59 | 9,39 | 4,30 | 20,28 | 20,02 |
| | Biomassa do Tronco | 29,00 | 34,63 | 17,40 | 81,03 | 79,98 |
| | Biomassa Arbórea | 35,59 | 44,02 | 21,70 | 101,31 | 100,00 |
| 49 | Acícula | 0,16 | 3,37 | 5,20 | 8,73 | 6,85 |
| | Galho Vivo | 1,32 | 8,03 | 4,48 | 13,83 | 10,86 |
| | Galho Morto | 5,10 | 0,96 | 0,00 | 6,06 | 4,76 |
| | Casca do Fuste | 8,01 | 5,21 | 1,43 | 14,65 | 11,50 |
| | Madeira do Fuste | 29,20 | 37,12 | 17,80 | 84,12 | 66,03 |
| | Biomassa da Copa | 6,58 | 12,36 | 9,68 | 28,62 | 22,47 |
| | Biomassa do Tronco | 37,21 | 42,33 | 19,23 | 98,77 | 77,53 |
| | Biomassa Arbórea | 43,79 | 54,69 | 28,91 | 127,39 | 100,00 |
| 60 | Acícula | 0,11 | 1,74 | 3,25 | 5,10 | 4,55 |
| | Galho Vivo | 1,75 | 4,87 | 3,30 | 9,92 | 8,85 |
| | Galho Morto | 3,40 | 0,19 | 0,00 | 3,59 | 3,20 |
| | Casca do Fuste | 7,63 | 6,71 | 1,79 | 16,13 | 14,40 |
| | Madeira do Fuste | 26,40 | 34,11 | 16,79 | 77,30 | 68,99 |
| | Biomassa da Copa | 5,26 | 6,80 | 6,55 | 18,61 | 16,61 |
| | Biomassa do Tronco | 34,03 | 40,82 | 18,58 | 93,43 | 83,39 |
| | Biomassa Arbórea | 39,29 | 47,62 | 25,13 | 112,04 | 100,00 |

3.4.4 Densidade da madeira

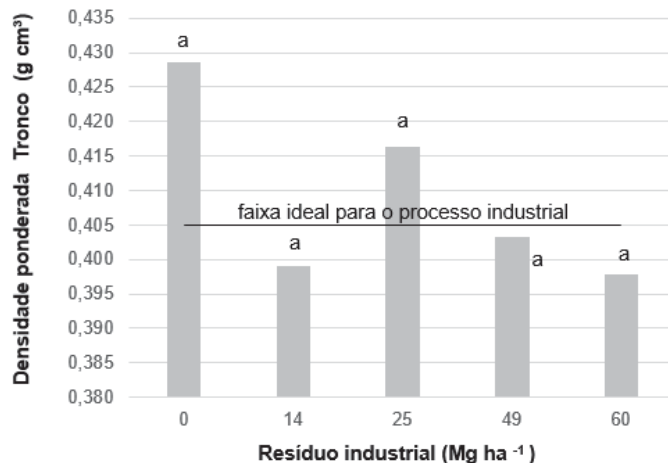
A densidade diminuiu da base para o topo da árvore. A maior redução ocorreu a posição 10% para a posição 50%; depois estabilizou e não teve variação estatística, acompanhando a idade do tecido e da quantidade mais baixa de poros presentes (GRÁFICO 5). Já a densidade ponderada (em função das diferenças nos diversos segmentos da tora) não mostrou variação significativa em função da aplicação do resíduo e ficou próxima da ideal para indústria de Celulose e Papel ($0,405 \text{ g cm}^3$) (GRÁFICO 6).

GRÁFICO 5. DENSIDADE DA MADEIRA DAS ÁRVORES EM ALTURAS DE 10%, 30%, 50%, 70% E 90% DO COMPRIMENTO DO TRONCO, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.



FONTE: A autora (2018).

GRÁFICO 6. DENSIDADE PONDERADA DA MADEIRA DO TRONCO DAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.



FONTE: A autora (2018).

3.5 TEORES DE NUTRIENTES NOS TECIDOS VEGETAIS

3.5.1 Galhos, Acículas, Casca e Lenho

As doses distintas de resíduo industrial não apresentaram diferenças significativas no teor dos macronutrientes na análise dos galhos mortos, Para os micronutrientes e essencial as diferenças foram relevantes onde maiores teores estiveram exibidos na faixa da testemunha apresentando para Fe 36,74 mg kg⁻¹, Mn 296,00 mg kg⁻¹, B 89,01 mg kg⁻¹ e Al 228,75 mg kg⁻¹. Já os teores inferiores foram considerados na dose de 49 Mg ha⁻¹ para os elementos Fe 13,65 mg kg⁻¹, Al 106,00 mg kg⁻¹, também na dose de 60 Mg ha⁻¹ para Mn 41,57 mg kg⁻¹ e B 20,33 mg kg⁻¹ (TABELA 8).

A concentração dos macronutrientes foi influenciada pelo uso de resíduo apenas para galhos vivos, retrataram diferenças estatísticas significativas foram o P que na testemunha compreendia um teor de 0,39 g kg⁻¹ e na dose de 60 Mg ha⁻¹ decresceu o teor para 0,17 g kg⁻¹. Não acompanhando o acréscimo no Ca e P disponível observado para solo. Além do Mg e S que também com o aumento da dose dispôs de uma breve redução nos teores. Em todo o caso, para os micronutrientes e essencial percebe-se que os elementos foram impactados significativamente, e se mantem em uma regra semelhante que quando ocorre o incremento do resíduo ele diminui gradativamente o teor no galho vivo (TABELA 8).

Confirmando ao observado para galho vivo, a concentração nas acículas diminuiu para os macronutrientes P e S. Mas, decréscimo na concentração ocorreu para Ca, em sentido inverso ao observado para disponibilidade no solo. Atestou a grande sensibilidade dos micronutrientes e Al, que apresentaram grande diminuição na concentração no tecido foliar com o uso do resíduo industrial (TABELA 9).

Os tecidos da casca e lenho foram menos responsivos ao uso do resíduo havendo apenas tendência de acréscimo para Ca e decréscimo para Mn. Logo, o Mn foi o único elemento com decréscimos nos cinco tecidos avaliados (TABELA 10).

TABELA 8. TEORES DE NUTRIENTES NOS GALHOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Galho Morto | | | | | | | | | | | |
|--|---------|--------------|---------------|----------|--------|------------|------------|--------------|---------------|---------------|--------------|
| Dose (Mg ha ⁻¹) | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| ----- (g kg ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | | |
| 0 | 2,25 a | 471,28 a | 0,13 a | 0,63 a | 1,46 a | 0,23 a | 0,11 a | 36,74 a | 296,00 a | 89,01 a | 228,75 a |
| 14 | 2,40 a | 459,33 a | 0,07 a | 0,31 a | 1,37 a | 0,16 a | 0,04 a | 24,92 ab | 94,25 b | 84,51 a | 151,91 b |
| 25 | 2,30 a | 475,07 a | 0,08 a | 0,53 a | 1,40 a | 0,21 a | 0,03 a | 35,42 ab | 97,55 b | 42,89 ab | 170,51 ab |
| 49 | 1,99 a | 472,60 a | 0,07 a | 0,87 a | 1,38 a | 0,20 a | 0,02 a | 13,65 b | 51,64 b | 26,70 b | 106,00 b |
| 60 | 3,02 a | 453,87 a | 0,07 a | 0,80 a | 1,34 a | 0,21 a | 0,03 a | 14,49 b | 41,57 b | 20,33 b | 107,41 b |
| valor-p | 0,13 | 0,08 | 0,27 | 0,468 | 0,945 | 0,111 | 0,199 | 0,0103 * | 2,08 e-07 *** | 0,000809 *** | 0,000547 *** |
| valor-f | 2,087 | 2,545 | 1,427 | 0,936 | 0,181 | 2,236 | 1,702 | 4,736 | 31,553 | 8,283 | 8,93 |
| CV% | 94,68 | 3,05 | 57,45 | 82,39 | 15,44 | 21,47 | 139,17 | 56,21 | 87,16 | 72,04 | 37,1 |
| *Dados do teor do terço inferior para os cálculos da média | | | | | | | | | | | |
| Galho Vivo | | | | | | | | | | | |
| 0 | 5,00 a | 464,83 a | 0,39 a | 1,74 a | 1,26 a | 0,30 a | 0,08 a | 27,90 a | 202,25 a | 86,97 a | 154,10 a |
| 14 | 5,41 a | 466,02 a | 0,24 b | 1,59 a | 1,34 a | 0,23 b | 0,06 ab | 23,62 a | 97,22 b | 72,38 a | 137,43 ab |
| 25 | 4,95 a | 472,29 a | 0,24 b | 1,64 a | 1,29 a | 0,26 ab | 0,05 bc | 22,46 ab | 88,59 b | 40,97 b | 122,21 abc |
| 49 | 4,93 a | 468,81 a | 0,17 b | 1,65 a | 1,30 a | 0,26 ab | 0,04 bc | 15,11 bc | 51,18 c | 27,45 bc | 96,85 c |
| 60 | 4,06 a | 440,95 b | 0,17 b | 1,55 a | 1,30 a | 0,25 ab | 0,04 c | 14,89 c | 48,03 c | 18,68 c | 105,68 bc |
| valor-p | 0,84433 | 1,2 e-05 *** | <2,2 e-16 *** | 0,527901 | 0,9678 | 0,025208 * | 1 e-06 *** | 7,4 e-05 *** | <2 e-16 *** | <2,2 e-16 *** | 9,9 e-05 *** |
| valor-f | 0,3476 | 9,493 | 15,3453 | 0,806 | 0,1369 | 3,08 | 11,7699 | 7,7869 | 53,5 | 55,418 | 7,528 |
| CV% | 65,98 | 3,2103 | 36,04 | 19,73 | 24,25 | 21,3 | 28,44 | 33,6 | 32,85 | 29,94 | 25,33 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 '***' 0,001 '***' 0,01 '***' 0,05 ' ' 0,1 ' ' 1

FONTE: A autora (2018).

TABELA 9. TEORES DE NUTRIENTES NAS ACÍCULAS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAI DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Acícula | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------|------------|---------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------|
| | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| | ----- (g kg ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| 0 | 12,59 a | 463,11 a | 1,10 a | 3,57 a | 1,89 a | 0,57 a | 0,16 a | 40,98 a | 613,41 a | 93,28 a | 405,39 a |
| 14 | 10,40 a | 465,45 a | 0,79 b | 3,60 a | 1,43 b | 0,45 a | 0,12 ab | 24,92 b | 222,82 b | 73,57 b | 250,37 b |
| 25 | 11,07 a | 467,54 a | 0,73 b | 3,64 a | 1,32 b | 0,49 a | 0,11 b | 28,54 b | 206,85 b | 45,06 a | 230,31 bc |
| 49 | 10,82 a | 440,35 a | 0,57 b | 3,75 a | 1,41 b | 0,46 a | 0,09 b | 21,67 b | 147,58 b | 32,84 cd | 184,62 c |
| 60 | 12,64 a | 436,44 a | 0,69 b | 3,94 a | 1,38 b | 0,51 a | 0,10 b | 24,97 b | 144,18 b | 21,98 d | 213,65 bc |
| valor-p | 0,29748 | 0,2978 | 1 e -05*** | 0,2191 | 0,008233 ** | 0,039216 * | 0,000596*** | 8 e -06 *** | < 2,2 e -16 *** | < 2,2 e -16 *** | < 2 e -16*** |
| valor-f | 1,2657 | 1,2647 | 9,67 | 1,49698 | 3,914 | 2,756 | 5,9885 | 9,8618 | 120,101 | 80,57 | 36,535 |
| CV% | 30,4 | 10,96 | 31,21 | 13,97 | 28,95 | 22,75 | 36,06 | 32,21 | 25,21 | 22,95 | 21,21 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 (****) 0.001 (***) 0.01 (**) 0.05 (*) 0.1 (.) 1

FONTE: A autora (2018).

TABELA 10. TEORES DE NUTRIENTES NOS TRONCOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Casca | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|------------|---------|----------|---------|---------------|---------|----------|
| | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| | ----- (g kg ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| 0 | 2,56 a | 426,87 a | 0,19 a | 0,76 a | 0,42 a | 0,15 a | 0,28 a | 67,01 a | 60,62 a | 11,72 a | 479,84 a |
| 14 | 2,91 a | 428,33 a | 0,25 a | 0,74 a | 0,52 a | 0,16 a | 0,12 a | 55,72 a | 43,68 b | 11,71 a | 476,95 a |
| 25 | 2,77 a | 415,93 a | 0,19 a | 0,64 a | 0,47 a | 0,15 a | 0,21 a | 64,59 a | 36,53 bc | 13,25 a | 473,28 a |
| 49 | 2,77 a | 432,34 a | 0,21 a | 0,88 a | 0,69 a | 0,19 a | 0,22 a | 63,42 a | 33,70 bc | 11,89 a | 447,68 a |
| 60 | 2,62 a | 326,27 a | 0,18 a | 0,80 a | 0,66 a | 0,15 a | 0,28 a | 61,79 a | 26,58 c | 11,44 a | 444,18 a |
| valor-p | 0,2773 | 0,929912 | 0,106 | 0,5609 | 0,024660 * | 0,3146 | 0,758934 | 0,9525 | 2 e -16 *** | 0,58466 | 0,830139 |
| valor-f | 1,317 | 0,2131 | 2,024 | 0,753 | 3,0762 | 1,22 | 0,4679 | 0,1703 | 20,257 | 0,7167 | 0,3681 |
| CV% | 17,03 | 5,53 | 36,34 | 50,89 | 47,53 | 36,1 | 161,62 | 63,73 | 27,69 | 27,3 | 23,43 |
| | Lenho | | | | | | | | | | |
| 0 | 1,83 a | 457,37 a | 0,19 a | 1,07 a | 0,46 a | 0,17 a | 0,04 a | 3,38 a | 113,51 a | 4,15 a | 38,07 a |
| 14 | 1,89 a | 450,32 a | 0,19 a | 1,05 a | 0,50 a | 0,17 a | 0,05 a | 5,75 a | 90,47 b | 3,96 a | 40,04 a |
| 25 | 1,69 a | 453,89 a | 0,18 a | 1,00 a | 0,49 a | 0,16 a | 0,04 a | 4,22 a | 85,75 b | 3,56 a | 34,89 a |
| 49 | 1,71 a | 454,13 a | 0,18 a | 1,12 a | 0,54 a | 0,18 a | 0,05 a | 3,12 a | 60,61 c | 4,13 a | 42,41 a |
| 60 | 1,88 a | 454,46 a | 0,19 a | 1,14 a | 0,56 a | 0,17 a | 0,04 a | 3,70 a | 54,89 c | 3,91 a | 39,58 a |
| valor-p | 0,13718 | 0,2386 | 0,749469 | 0,243783 | 0,06366 | 0,09762 | 0,13047 | 0,07125 | < 2 e -16 *** | 0,88763 | 0,73399 |
| valor-f | 1,8368 | 1,42958 | 0,4811 | 1,4135 | 2,3913 | 2,083 | 1,8732 | 2,3102 | 24,3637 | 0,2829 | 0,5025 |
| CV% | 14,59 | 1,78 | 17,93 | 16,42 | 20,7 | 13,94 | 20,83 | 65,9 | 23,04 | 43,64 | 38,84 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 ****; 0,001 ***; 0,01 **; 0,05 *; 0,1 **; 1

FONTE: A autora (2018).

3.6 CONTEÚDO NUTRICIONAL NA BIOMASSA FLORESTAL

3.6.1 Galhos, Acículas, Casca e Lenho

Os dados tocantes ao conteúdo nutricional da espécie de *Pinus taeda* com 7 anos de idade e após aplicação do resíduo industrial, não apresentam diferenças significativas relacionadas com os macronutrientes estudados para o compartimento de galhos mortos. Para o conteúdo nutricional dos micronutrientes nos galhos mortos na dose de 14 Mg ha⁻¹ de resíduo industrial, os elementos Fe e B, além do Al considerado essencial, mantiveram seus maiores valores de conteúdo. Em contrapartida os menores valores de conteúdo manifestaram na dose mais elevada da aplicação do resíduo de 60 Mg ha⁻¹. O Mn e Al apresentou em decréscimo contínuo no conteúdo conforme o aumento da aplicação da dose de resíduo (TABELA 11).

Nos galhos vivos não apresentou diferenças significativas entre a dosagem de resíduo utilizada e o conteúdo nutricional dos macronutrientes. Pertencendo ao micronutrientes o elemento Mn também apresentou as mesmas características se comparada ao componente dos galhos mortos, com decréscimo no conteúdo conforme o aumento da aplicação da dose de resíduo, sendo seu máximo valor de conteúdo ligado a testemunha. O B também teve seu valor de conteúdo mínimo com as doses mais elevadas de resíduo, porém apresentando uma elevada desigualdade com o valor máximo da dose de 14 Mg ha⁻¹ (TABELA 11).

O conteúdo nutricional nas acículas de *Pinus taeda* não apresentou diferenças significativas em relação aos macronutrientes relacionado com as diferentes dosagens do resíduo industrial. O Mn apresentou diferenças significativas em relação a testemunha comparada a qualquer dose de resíduo utilizada, estando com o valor de conteúdo mais elevado na testemunha e com a adição do resíduo ele obtém uma decadência no conteúdo. O B dispôs de resultados decrescentes sendo que na testemunha apresentou o valor de 550,16 g ha⁻¹ e com a acréscimo do resíduo industrial reduziu significativamente na dose de 60 Mg ha⁻¹ apresentando 99,01 g ha⁻¹ de conteúdo. E o Al obteve o maior valor de conteúdo na testemunha sem a adição de resíduo industrial, e após a adição do resíduo reduziu a presença do conteúdo na acícula (TABELA 12).

Em relação ao conteúdo de nutriente no tronco, podemos segregar em dois componentes casca e lenho. Na casca alguns elementos como N e C, apresentaram maiores valores de conteúdo em concordância com o aumento da dose de resíduo industrial utilizada no manejo do *Pinus taeda*, e o menor no tratamento considerado testemunha com nenhum incremento do resíduo. Outros elementos tais como P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn B e Al não evidenciaram diferenças significativas relacionadas com a dose e a concentração de nutrientes na casca (TABELA 13).

No componente lenho o conteúdo de nutriente com maiores valores para a maioria dos elementos foi evidenciado na dose de 49 Mg ha⁻¹. Somente para P, Fe, Mn, B e Al que não foram identificadas diferenças significativas entre o conteúdo nutricional do lenho relacionado com a dose de resíduo utilizado (TABELA 13).

TABELA 11. CONTEÚDO NUTRICIONAL NOS GALHOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Galho Morto | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|-----------|------------|----------------|-----------|
| | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| | ----- (kg ha ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| 0 | 8,38 a | 1828,45 a | 0,50 a | 2,83 a | 5,68 a | 0,92 a | 0,59 a | 130,75 ab | 1031,17 a | 353,71 ab | 844,48 ab |
| 14 | 19,14 a | 3736,65 a | 0,56 a | 2,60 a | 11,25 a | 1,33 a | 0,36 a | 193,09 a | 776,30 ab | 780,85 a | 1279,89 a |
| 25 | 12,6 a | 2603,53 a | 0,46 a | 2,84 a | 7,71 a | 1,15 a | 0,18 a | 191,61 a | 552,53 abc | 233,80 ab | 907,23 ab |
| 49 | 11,98 a | 2867,2 a | 0,41 a | 4,91 a | 8,76 a | 1,26 a | 0,16 a | 87,87 ab | 308,03 bc | 155,29 ab | 684,37 ab |
| 60 | 10,02 a | 1611,94 a | 0,18 a | 2,26 a | 5,05 a | 0,69 a | 0,09 a | 52,71 b | 157,53 c | 70,47 b | 376,87 b |
| valor-p | 0,0981 | 0,0789 | 0,131 | 0,338 | 0,186 | 0,421 | 0,401 | 0,0122 * | 0,00117 ** | 0,0419 * | 0,0472 * |
| valor-f | 2,266 | 2,457 | 2,014 | 1,210 | 1,714 | 1,019 | 1,063 | 4,228 | 6,892 | 3,028* | 2,919 |
| CV% | 54,04 | 53,62 | 57,85 | 69,82 | 58,52 | 54,29 | 159,14 | 64,02 | 74,58 | 129,85 | 60,53 |
| | ----- (g ha ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| | Galho Vivo | | | | | | | | | | |
| 0 | 46,54 a | 3783,38 a | 3,00 a | 13,60 a | 10,20 a | 2,35 a | 0,66 a | 221,94 a | 1620,98 a | 717,47 a | 1226,80 a |
| 14 | 61,01 a | 5606,18 a | 3,11 a | 18,79 a | 16,39 a | 2,85 a | 0,77 a | 264,81 a | 1241,90 ab | 800,14 a | 1710,02 a |
| 25 | 39,48 a | 4416,42 a | 2,14 a | 15,27 a | 12,55 a | 2,39 a | 0,54 a | 208,75 a | 833,73 ab | 381,82 b | 1222,89 a |
| 49 | 77,17 a | 6500,44 a | 2,22 a | 21,63 a | 17,26 a | 3,51 a | 0,62 a | 201,15 a | 700,70 ab | 364,12 b | 1197,09 a |
| 60 | 41,36 a | 4377,65 a | 1,61 a | 15,43 a | 12,69 a | 2,44 a | 0,44 a | 136,80 a | 442,88 b | 187,86 b | 1044,66 a |
| valor-p | 0,181 | 0,0598 | 0,192 | 0,101 | 0,155 | 0,202 | 0,318 | 0,352 | 0,0107 * | 7,69 e -05 *** | 0,251 |
| valor-f | 1,741 | 2,705 | 1,687 | 2,242 | 1,870 | 1,647 | 1,261 | 1,174 | 4,360 | 10,840 | 1,461 |
| CV% | 54,06 | 34,21 | 47,24 | 31,22 | 37,17 | 33,32 | 41,22 | 46,76 | 64,31 | 58,12 | 37,72 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 * 0.1 . 1

FONTE: A autora (2018).

TABELA 12. CONTEÚDO NUTRICIONAL NAS ACÍCULAS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAI DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Acícula | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-----------|--------|---------|---------|--------|--------|----------|---------------|--------------|------------|
| | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| 0 | 78,45 a | 2811,23 a | 6,70 a | 21,81 a | 10,91 a | 3,34 a | 1,03 a | 237,01 a | 3330,73 a | 550,16 a | 2460,92 a |
| 14 | 74,09 a | 3200,58 a | 4,74 a | 21,69 a | 7,98 a | 2,62 a | 0,80 a | 169,90 a | 1281,90 b | 397,37 ab | 1634,32 ab |
| 25 | 62,00 a | 2541,59 a | 3,86 a | 19,09 a | 7,02 a | 2,49 a | 0,54 a | 150,15 a | 1051,85 b | 234,12 bc | 1280,24 b |
| 49 | 86,49 a | 3443,80 a | 4,98 a | 32,00 a | 11,14 a | 3,76 a | 0,74 a | 196,97 a | 1119,29 b | 271,92 bc | 1744,02 ab |
| 60 | 72,54 a | 2228,53 a | 3,60 a | 19,99 a | 6,41 a | 2,37 a | 0,50 a | 136,59 a | 668,07 b | 99,01 c | 1159,21 b |
| valor-p | 0,833 | 0,454 | 0,066 | 0,070 | 0,152 | 0,172 | 0,092 | 0,133 | 2,16 e-08 *** | 0,000102 *** | 0,0163 * |
| valor-f | 0,361 | 0,954 | 2,619 | 2,567 | 1,889 | 1,781 | 2,326 | 2,005 | 31,630 | 10,380 | 3,932 |
| CV% | 42,06 | 39,23 | 39,79 | 35,62 | 44,19 | 36,78 | 48,46 | 38,31 | 69,41 | 61,2 | 42,45 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 * 0.1 ' ' 1

FONTE: A autora (2018).

TABELA 13. CONTEÚDO NUTRICIONAL NOS TRONCOS, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Casca | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------|---------|------------|------------|----------|------------|----------|-----------|----------|-----------|
| | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| | ----- (kg ha ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| 0 | 20,44 b | 3777,24 b | 1,43 a | 6,29 a | 3,32 a | 1,14 a | 3,62 a | 649,33 a | 505,80 a | 96,14 a | 4440,32 a |
| 14 | 27,00 ab | 4508,81 ab | 1,86 a | 5,02 a | 5,25 a | 1,17 a | 1,07 a | 593,51 a | 344,86 a | 120,43 a | 5370,99 a |
| 25 | 29,24 ab | 5011,36 ab | 1,77 a | 6,20 a | 5,36 a | 1,34 a | 2,87 a | 834,90 a | 353,54 a | 163,99 a | 6138,81 a |
| 49 | 34,54 ab | 6294,13 ab | 2,00 a | 9,07 a | 8,49 a | 1,83 a | 3,83 a | 951,21 a | 357,86 a | 149,56 a | 6847,75 a |
| 60 | 36,94 a | 6804,94 a | 1,95 a | 8,65 a | 9,22 a | 1,55 a | 4,41 a | 892,41 a | 315,86 a | 190,76 a | 7352,77 a |
| valor-p | 0,0531 | 0,0105 * | 0,428 | 0,523 | 0,0384 * | 0,172 | 0,866 | 0,414 | 0,0929 | 0,139 | 0,072 |
| valor-f | 2,812 | 4,378 | 1,006 | 0,827 | 3,109 | 1,781 | 0,313 | 1,034 | 2,313 | 1,962 | 2,537 |
| CV% | 33,38 | 31,70 | 27,82 | 59,57 | 57,22 | 36,44 | 153,51 | 43,72 | 32,24 | 44,07 | 30,29 |
| Lenho | | | | | | | | | | | |
| 0 | 87,60 b | 22339,52 b | 9,33 a | 50,27 b | 21,33 b | 8,57 b | 2,20 b | 147,93 a | 5560,15 a | 201,26 a | 1936,84 a |
| 14 | 124,47 ab | 29572,63 ab | 12,43 a | 63,75 ab | 33,19 ab | 11,22 ab | 3,66 ab | 392,40 a | 5731,05 a | 243,52 a | 2667,07 a |
| 25 | 114,57 ab | 31390,12 ab | 12,58 a | 68,13 ab | 33,56 ab | 11,23 ab | 3,24 ab | 253,46 a | 5860,27 a | 239,04 a | 2432,12 a |
| 49 | 141,31 a | 38139,21 a | 14,95 a | 92,81 a | 47,16 a | 15,86 a | 4,53 a | 249,86 a | 5018,98 a | 335,38 a | 3799,44 a |
| 60 | 141,18 a | 35036,16 a | 14,53 a | 87,28 a | 42,11 a | 13,30 ab | 3,64 ab | 287,38 a | 4070,05 a | 308,26 a | 3256,88 a |
| valor-p | 0,00839 ** | 0,0104 * | 0,109 | 0,00422 ** | 0,00144 ** | 0,0203 * | 0,00354 ** | 0,279 | 0,248 | 0,339 | 0,0869 |
| valor-f | 4,614 | 4,391 | 2,177 | 5,363 | 6,634 | 3,715 | 5,563 | 1,373 | 1,47 | 1,207 | 2,372 |
| CV% | 24,09 | 25,59 | 28,91 | 29,55 | 33,63 | 31,56 | 30,63 | 64,81 | 26,72 | 42,75 | 41,41 |

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Teste de Tukey).

Signif. código: 0 **** 0,001 *** 0,01 ** 0,05 *

FONTE: A autora (2018).

3.6.2 Árvore Total

Compreendendo todos os compartimentos juntos: galhos mortos, galhos vivos, acículas, casca e lenho. Observa-se, na Tabela 14, que todos os macronutrientes mostraram maiores valores de conteúdo nutricional no tratamento com a adição da dose de 49 Mg ha⁻¹. Já no tratamento da testemunha os elementos N, C, K, Ca, Mg mostraram os menores valores de conteúdo. Mn e B tendem a decrescer com o aumento das doses de resíduo. Já o Al aumentou seu conteúdo, em geral, com a adição do resíduo ao solo.

Analisando o valor médio de conteúdo nutricional, considerando a testemunha e todas as doses aplicadas, observa-se a seguinte ordem de importância em relação à magnitude de armazenamento dos elementos, para os macronutrientes: C > N > K > Ca > P > Mg > S; e para os micronutrientes: Al > Mn > Fe > B em *Pinus taeda*.

TABELA 14. CONTEÚDO NUTRICIONAL TOTAL NAS ÁRVORES, APÓS APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL, NA ÁREA EXPERIMENTAL DE *Pinus taeda* COM 7 ANOS, EM PIRAÍ DO SUL, PARANÁ, EM 2018.

| Dose (Mg ha ⁻¹) | Galhos, Acículas e Tronco | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|----------|-------|--------|-------|-------|------|---------|----------|---------|----------|
| | N | C | P | K | Ca | Mg | S | Fe | Mn | B | Al |
| | ----- (kg ha ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| | ----- (g ha ⁻¹) ----- | | | | | | | | | | |
| 0 | 241,41 | 34539,82 | 20,96 | 94,80 | 51,44 | 16,32 | 8,10 | 1386,96 | 12048,83 | 1918,74 | 10909,36 |
| 14 | 305,71 | 46624,85 | 22,70 | 111,85 | 74,06 | 19,19 | 6,66 | 1613,71 | 9376,01 | 2342,31 | 12662,29 |
| 25 | 257,89 | 45963,02 | 20,81 | 111,53 | 66,20 | 18,60 | 7,37 | 1638,87 | 8651,92 | 1252,77 | 11981,29 |
| 49 | 351,49 | 57244,78 | 24,56 | 160,42 | 92,81 | 26,22 | 9,88 | 1687,06 | 7504,86 | 1276,27 | 14272,67 |
| 60 | 302,04 | 50059,22 | 21,87 | 133,61 | 75,48 | 20,35 | 9,08 | 1505,89 | 5654,39 | 856,36 | 13190,39 |
| Média | 291,71 | 46886,34 | 22,18 | 122,44 | 72,00 | 20,14 | 8,22 | 1566,50 | 8647,20 | 1529,29 | 12603,20 |

FONTE: A autora (2018).

4 DISCUSSÃO

A ausência do efeito da aplicação de resíduo sobre o estoque de serapilheira, indica um provável balanço entre adição e decomposição. Contrariando Platte (2002), que percebeu um estímulo na atividade microbiana, propiciando maior biodegradação da serapilheira, realizando o incremento de lama de cal em *Pinus taeda*. Como a quantidade de serapilheira é inversamente associada à qualidade do sitio florestal (GAMA; BARROS; SANTOS, 2003), era esperado que adição de nutrientes via resíduo pudesse contribuir para o decréscimo de serapilheira acumulada sobre o solo.

Manutenção da serapilheira com uso de resíduo foi também observado por Rabel (2019) após 10 anos de aplicação de resíduo de papel. Do ponto de vista conservacionista, a manutenção da serapilheira é positiva na cobertura dos solos com baixa fertilidade natural (MORO et al., 2007; PIOVESAN et al., 2012). A serapilheira protege o solo em relação a erosão e perda de nutrientes pela chuva. Além disso, a serapilheira mantém a umidade na cobertura florestal e atua como repositora de nutrientes através dos ciclos biogeoquímicos. Recomenda-se a adição do resíduo industrial em *Pinus taeda*, visando a melhoria da produtividade sem comprometer a função de proteção do solo e as características morfológicas da serapilheira.

A maioria dos parâmetros químicos avaliados no solo não apresentaram grandes alterações, com exceção de valores mais elevados de Ca e P. Tal fato indica que diferentemente da lama de cal o resíduo utilizado não tem ação na correção da acidez (CORRÊA et al., 2007) e diferentemente do lodo de esgoto tem baixa disponibilização de nutrientes (IBRAHIM et al., 2019). O efeito do uso de resíduo atua no incremento de Ca e P, e deste modo pode auxiliar no desenvolvimento das plantas, visto que os valores encontrados no solo são baixos.

Os resultados no solo foram avaliados após 7 anos de aplicação dos resíduos. Isto justifica o efeito residual para elementos de menor mobilidade no solo (Ca e P) e que não são os mais exigidos pela cultura. Elementos mais móvel (K) não deixou efeito residual, pois, além de ser altamente exigido pelas culturas, pode ter sido perdido por lixiviação. O efeito benéfico de qualquer incremento nutricional ao solo era esperado devido à combinação da baixa fertilidade do solo em condição

natural, e técnicas silviculturas sucessivas do cultivo de pinus sem reposição de nutrientes por meio da adubação ou calagem.

As pequenas mudanças nas propriedades químicas do solo podem em parte explicar a não alteração na quantidade de serapilheira, uma vez que atuam fortemente sobre a atividade microbiológica (SILVA, 2017).

Contraopondo com mínimas alterações no solo e serapilheira, a resposta biológica da planta na forma de crescimento foi bastante expressiva, representada por respostas positivas em diâmetro à altura do peito, resultando no aumento expressivo do volume comercial maior que 100% comparado a testemunha. Similar ao obtido para DAP. Ou seja, para se obter o máximo crescimento em volume ganho produtivo no reflorestamento de *Pinus taeda*, seria ideal utilizar a aplicação de uma dose aproximada de 40 a 49 Mg ha⁻¹ de resíduo industrial. Rodrigues (2004) também observou que o uso da menor aplicação de resíduo industrial (20 t/ha) em solos deficientes apresenta ganhos expressivos de 80% em altura, DAP e volume.

Os resultados referentes à altura da copa explicam a grande competição por espaço, luz solar, água e nutrientes pelas árvores de *Pinus taeda*, com maior disponibilidade desses fatores as árvores crescem mais em altura da copa. Em todo o caso, para o crescimento na largura depende da idade do fechamento das copas, independente do fornecimento de nutrientes provenientes do solo.

O aumento da massa de galhos mortos obtido possivelmente esteja relacionado com o diâmetro do mesmo, produzindo galhos mais grossos, uma vez que a largura da copa não variou. O efeito da aplicação do resíduo industrial na morfologia da copa do reflorestamento de *Pinus taeda* obteve um mínimo impacto para a distribuição dos galhos vivos e mortos na copa. Esse efeito foi benéfico visto que adubações incorretas, seja excessivas ou deficientes em reflorestamentos, podem causar redução do crescimento e deformações na parte aérea das árvores, prejudicando a produtividade, devido ao desbalanço nutricional.

Simultaneamente ao crescimento o efeito na estrutura geral da planta foi favorável, uma vez que não houve alteração na percentagem da biomassa relativa da árvore com o uso do resíduo. Porém a dose mais elevada promoveu diminuição de crescimento da árvore, provavelmente por algum desequilíbrio nutricional, semelhante ao obtido por Rodrigues (2004).

De um lado, a análise de solo inicial indica provável carência de nutrientes e toxidez de Al e Mn devido à acidez elevada. Assim a adição de resíduos ricos em nutrientes teria potencial para aumento na produtividade, como observado neste estudo. Do outro lado, as análises químicas de solo com parâmetros avaliados, não foram eficientes para captar mudanças que possam ter contribuído para aumento na produtividade nesta idade do plantio.

Diferente da análise química de solo, os resultados das análises de tecido de planta mostraram um grande potencial para explicar as variações de crescimento no *Pinus taeda*, em resposta à aplicação do resíduo. O Mn foi o elemento que mais variou nos diferentes tecidos vegetais, em função da aplicação dos resíduos. O decréscimo dos valores de Mn foi observado nas acículas, galhos mortos, galhos vivos, casca e lenho, em resposta à aplicação do resíduo. Hoogh (1981), similarmente, em estudo com *Araucária angustifolia*, observou que o decréscimo do conteúdo foliar de Mn propicia um melhor crescimento das árvores.

O Mn pode estar disponível em quantidades elevadas, em solos com pH baixo, em virtude do aumento da solubilidade, sendo capaz até de causar toxidez nas culturas, mas, por outro lado ele apresenta alta sensibilidade a elevação do pH (FOY et al., 1973; INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO, 1998). Além do Mn, decréscimos de Fe, Al e B foram observados nos tecidos dos galhos vivos e acículas. Tal efeito também tem sido observado a partir da elevação do pH em micronutrientes metálicos (RHOTON, 2000), contudo no presente estudo não foram observadas alterações na acidez que justifique tais decréscimos nos elementos.

Contribuindo com os resultados Lee (1972), relata em estudos com batata que o excesso de Mn ocasiona deficiência de Fe. Além disso, Pavan e Bingham (1981) encontraram que o aumento do Ca na zona da raiz, pode reduzir a absorção e o efeito tóxico de Mn, pois ambos competem pelo mesmo mecanismo de absorção.

Decréscimo dos teores de P, Mg e S nos galhos vivos, juntamente com o decréscimo de P e Ca nas acículas, contrasta com o aumento observado nos teores de P e Ca no solo e possivelmente está associado ao efeito de diluição. Igualmente Sass et al. (2020), observaram nas acículas o efeito de diluição de P, no mesmo sítio florestal, com a idade de 3 anos após aplicação do resíduo.

Portanto, o decréscimo dos teores de Mn e Al podem ser a grande explicação para justificar o aumento no crescimento.

Os teores de Mn referentes ao tratamento testemunha nas acículas estão acima dos limites de controles superiores encontrados por Reissmann (1981), da mesma maneira encontrou Lúcio et al. (2010) acrescentando o lenho. Já os teores de Mn para os componentes casca, galhos vivos e mortos estão considerados no limite de precaução superior por Lúcio et al. (2010). Evidenciando a alta quantidade de Mn e possível toxicidade deste elemento ou interferência na absorção de outros nutrientes.

Os teores de Fe, em todos os tratamentos e componentes da árvore, esteve abaixo do limite de controle inferior e limite de precaução inferior considerado por Lúcio et al. (2010), demonstrando a necessidade desse elemento neste sítio florestal.

Os elementos P e Ca demonstraram estar entre o limite de precaução inferior e o limite de controle inferior considerado por Lúcio et al. (2010) para quase todos os compartimentos, com exceção do lenho que está acima do limite de controle superior para o P.

O resíduo proporcionou elevação na produtividade; inclusive levou a um aumento em até 66% na quantidade de C na planta. E, por consequência, resultou em uma excelente ferramenta no sequestro de C. O mesmo pode ser indicado para o K que aumentou em 69% na planta, aumentando a ciclagem deste nutriente, se deixados no campo as acículas e galhos.

O conteúdo nutricional obteve os maiores valores para os macronutrientes na adição da dose de 49 Mg ha⁻¹, isto está associado ao melhor desenvolvimento e crescimento geral da planta e aplicação da dose ideal do resíduo.

O aumento do crescimento do *Pinus taeda* em resposta à aplicação do resíduo resultou em decréscimo da densidade de madeira. Ainda assim ficou em valor próximo do considerado aceitável pela indústria de celulose. Este resultado concorda com os observados por Bizon (2006), que relata que os sítios mais produtivos possuem densidades inferiores a 0,48 g cm³.

Em conformidade com estudos de Bellote, Tomazello Filho e Dedeczek (2005), concluí-se que intervenções de manejo no sítio florestal, afetam diretamente a qualidade da madeira a ser produzida, também atua na taxa de crescimento dos plantios e no acúmulo de biomassa de lenho, ao longo da rotação.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de resíduo industrial ao solo resultou em uma maior produtividade, gerando um grande aumento no crescimento diamétrico da espécie de *Pinus taeda*, e conseqüentemente um ganho em volume. Deste modo, ocorreu a duplicação da parte produtiva no uso aproximado da dose de 49 Mg ha⁻¹, mostrando alto potencial vantajoso do uso. O uso de resíduo proporcionou decréscimo de Mn em todos os compartimentos das plantas avaliadas (acícula, lenho, casca do lenho, galhos mortos e galhos finos), sendo este uns dos prováveis elementos associado ao aumento do crescimento das plantas. Doses mais altas que esta, provocam um decréscimo na produção ocasionando um desbalanço nutricional na planta, associada ao decréscimo de Fe, P.

O aumento do crescimento em resposta a adição do resíduo no *Pinus taeda* está associado à baixa fertilidade natural do solo da região, pois esta adição aumentou a oferta de nutrientes e resultou em uma melhor nutrição da planta.

Visando a qualidade da madeira do fuste como matéria prima principal para o processo produtivo, a densidade se manteve dentro do padrão industrial independentemente da dose e do uso ou não do resíduo ao campo.

Atestando a proteção ao meio ambiente o resíduo proporcionou pequenas alterações nas propriedades químicas do solo com aumento da disponibilidade de Ca e P. Conjuntamente não alterou a quantidade de serapilheira presente ao sitio.

Entretanto é recomendado a utilização do resíduo industrial em florestas plantadas de *Pinus taeda*, visando um crescente e acelerada produção em solos pobres. Conseqüentemente, mantendo a sustentabilidade sem causar desbalanço fisiológico e nutricional ao meio ambiente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Recomenda-se o acompanhamento do crescimento das árvores de *Pinus taeda*, até o ponto de corte com aproximadamente 15 anos, para avaliar se as respostas em crescimento são mantidas ou ocorrerá possível estabilização do sítio florestal.

Propõe-se repetição da mesma metodologia utilizada neste trabalho e além disso, sugere-se o estudo mais detalhado em relação à serapilheira, analisando o teor nutricional, como também análise do sistema radicular das árvores para obtenção dos ciclos biogeoquímicos por completo. A participação da biologia do solo no processo de ciclagem de nutrientes também deve ser levada em consideração.

REFERÊNCIAS

ABRAF, 2013. Brasília. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília: Abraf, 2013. 142 p

ÁGUASPARANÁ - Instituto das Águas do Paraná. **Dados de precipitação diária do município de Piraí do Sul – PR. 2018**.

ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, GONÇALVEZ JLM, SPAROVEK G. KÖPPEN'S Climate Classification Map For Brazil. Meteorologische Zeitschrift 2013; 22(6): 711-728.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p.321-330, 2009. Trimestral.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941:2003: Madeira - **Determinação da densidade básica** - ABNT/CB-029 Celulose e Papel, Rio de Janeiro, 2003, 6 p.

BELLOTE, A. F. J. et al. RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE EM PLANTIOS FLORESTAIS. **Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 37, n. 37, p.99-106, 1998. Semestral.

BELLOTE, A. F. J.; TOMAZELLO FILHO, M.; DEDECEK, R. A. Influência dos Nutrientes Minerais e do Solo sobre a Produtividade, a Estrutura Anatômica e a Densidade da Madeira de Pinus taeda. **Documentos / Embrapa Florestas, Issn 1517- 536x; 121**), Colombo, v. 58, p.1-94, jan. 2005.

BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de Pinus taeda L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2006. 96 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2006.

CORRÊA, J. C. et al. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p.1307-1317, 2007.

CORRÊA, R. S. **Efeito dos atributos do solo na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COSTA, E. R. O. et al. Alterações químicas do solo após aplicação de biossólidos de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, p.0-10, mar. 2009. Trimestral.

DICKOW, K. M. C.; VELHO, G. A. de A.; COSTA, E. R. O. Incorporação de resíduo de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado ao solo. **Forúm Internacional de Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas**, Porto Alegre, p.1-11, jun. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília: Informação Tecnológica, 2009, 628 p.

FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & SCHWARTZ, J.W. Opposite aluminium and manganese tolerance of two wheat varieties. *Agron. 1.*, 65:123-6, 1973.

GAMA R., A. C.; BARROS, N. F.; SANTOS, M. L.. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 27, n. 6, p.1021-1031, dez. 2003.

GOMES, D. R. et al. Lodo de esgoto substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. 123. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p.123-131, mar. 2013. Trimestral.

HOHENDADL, W. Der aufbau der Baumschafte. *Forstwiss. Forsch. Beih.Forstwiss.Centralblat.*, 46:460-70, 1936.

HOOGH R. **Site-nutrition- growth relationships of *araucaria angustifolia* (Bert) o. Ktze in southern Brazil**. 1981. Dissertation Doktorwurde – Der

Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert- Ludwigs- Universität zu Freiburg im Breisgau.1981

IBÁ. **Indústria brasileira de árvores**. Brasília: Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios Ltda., 2017. 80 p.

IBRAHIM, J. F. de O. N. et al. Utilização do lodo de esgoto na produção de mudas e no cultivo do eucalipto (*Eucalyptus* spp). **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, Curitiba, v. 2, n. 1, p.564-579, 2019.

INSTITUTO DA POTASSA & FOSFATO - **Manual internacional de fertilidade do solo** / Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes -- 2 ed., rev e ampl. -- Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.: il. 1. Fertilidade do solo I. Lopes, Alfredo Scheid II.

LEE, C.R Inter-relationshipsof aluminium and manganese Ou the potato plant. *Agron.J.*,64:546- 9, 1972.

LIMA, R. **Crescimento, biomassa e carbono de Pinus taeda I. em função do espaço vital**. 2014. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

LÚCIO, A. dal C. et al. Limites de precaução e de controle em análises nutricionais de espécies florestais. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 34, n. 3, p.529-537, jun. 2010.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Brasília: MAPA, 2007. 141p.

MORALES, C.A. S. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em florestas de Pinus taeda. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 8, n. 4, p.1-9, ago. 2012. Mensal.

MORO, L. et al. **Exportação de nutrientes em povoamentos de Pinus taeda I. baseada em volume estimado pelo sistema sispinus**. 2007.

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. de M. Efeitos da "cinza" de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba, v. 49, n. 48, p.18-27, 1995. Anual.

PARANÁ. Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR (Ed.). **Cartas climáticas do Paraná**. 2018.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F.. TOXIDEZ DE METAIS EM PLANTAS. 1. CARACTERIZAÇÃO DE TOX1DEZ DE MANGANS EM CAFEEIROS'. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, p.815-821, 1981. Bimestral.

PIOVESAN, G. et al. DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM POVOAMENTO DE PINUS. **Pesq. Agropec. Trop**, Goiânia, v. 42, n. 2, p.206-211, 01 abr. 2012. Trimestral.

PLATTE, E. B. **Aplicação de lama de cal em solo de floresta de Pinus taeda e seus efeitos sobre a microbiota do solo e biodegradabilidade da serrapilheira**. 2002. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Cap. 1.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S. do; MELO, W. J. de. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, v. 8, n. 1, p.183-191, 29 abr. 2011. Fundação Educacional de Ituverava.

RABEL, D. de O. **Efeito do resíduo alcalino de papel reciclado na relação solo, liter e planta de Pinus Taeda I. no sul do Brasil**. 2019. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Cap. 1.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: IAC, 1983. 39 p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

REISSMANN, C. B. **Naehrelementversorgung und Wuchleistung von Kiefernbestaenden in Sued-Brasilien**. 1981. 169 p. Tese apresentada a

Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg, para obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

RHOTON, F.E. Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:700-709, 2000.

RODRIGUES, C. M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda*** I. 2004. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Solos e Eng. Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SASS, A. L. **Resíduo industrial celulósico no solo para melhorar o crescimento e a nutrição do *Pinus taeda***. 2016. 31 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Solos, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SASS, A. L.; MAEDA, S.; BOGNOLA, I. A.; BASSACO, M. V. M.; BARBOSA, J. Z.; PRIOR, S.; GOULARTE, G. D.; MOTTA, A. C. V.. Resíduo industrial celulósico para melhorar o crescimento e a nutrição do *Pinus taeda*: um estudo no Brasil subtropical. *Scientia Forestalis* (IPEF), 2020.

SILVA FC, da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária. 1999; 370 p.

SILVA, L. V. B.. Impacto das alterações ambientais sobre a decomposição da serapilheira em vegetação de Cerrado. 2017. 114 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

TOLEDO, F, H, S. F. de; VENTURIN, N.; DIAS, T. C. O uso de bio sólidos no setor florestal. **Enciclopédia Biosfera**: Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15, p.1-21, 2012.

TRAZZI, P. A. **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** 2014. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.