

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE TRATADO DE ABATEDOURO DE AVES SOBRE O SOLO
E A PRODUÇÃO FLORESTAL**

IZABELA REGINA COSTA ARAUJO

CASCAVEL – Paraná – Brasil

2019

IZABELA REGINA COSTA ARAUJO

**IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE TRATADO DE ABATEDOURO DE AVES SOBRE O SOLO
E A PRODUÇÃO FLORESTAL**

Tese apresentada em regime de cotutela aos Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, e Programa de Investigación Agrária y Florestal da Universidade da Coruña, em e cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Silvio César Sampaio

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Paz González

CASCADEL - Paraná - Brasil

Fevereiro de 2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Araujo, Izabela Regina Costa
Irrigação com efluente tratado de abatedouro de aves sobre o solo e a produção florestal / Izabela Regina Costa Araujo; orientador(a), Silvio Cesar Sampaio ; coorientador(a), Antonio Paz-Gonzalez, 2019.
79 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2019.

1. Fertilidade do solo . 2. nutrição florestal. 3. modelos dendrométricos. I. Sampaio , Silvio Cesar . II. Paz-Gonzalez, Antonio . III. Título.


IZABELA REGINA COSTA ARAUJO

Irrigação com efluente tratado de abatedouro de aves sobre o solo e a produção florestal

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Saneamento Ambiental, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Orientador(a) - Silvío César Sampaio

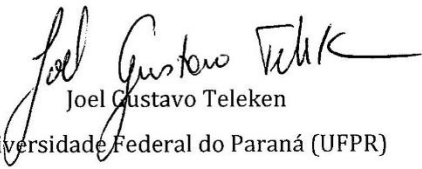
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Marcelo Bevilacqua Remor

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Eva Vidal Vázquez

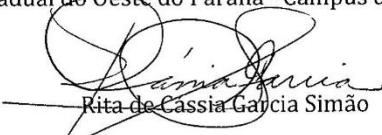
Universidade da Coruña


Joel Gustavo Teleken

Universidade Federal do Paraná (UFPR)


Danielle Medina Rosa

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Rita de Cassia Garcia Simão

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 13 de fevereiro de 2019.

BIOGRAFIA

Izabela Regina Costa Araujo, engenheira florestal formada pela Universidade Federal do Paraná (2006), especialista em Energias Renováveis pela Universidade Federal Latino Americana (2012), Engenheira de Segurança do Trabalho pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2012) e mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2015). Atuou de 2006 até 2012 como engenheira florestal e de projetos nas áreas de silvicultura, planejamento florestal e energias renováveis. Em 2015, iniciou o doutorado em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, também na Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, desenvolvendo o projeto de pesquisa em parceria com a Cooperativa Agroindustrial Lar. Participou do Programa Doutorado Sanduiche no Exterior, financiado pela Capes, desde agosto de 2017 até maio de 2018, desenvolvendo estudos no âmbito do Programa Oficial de Doutorado em Investigación Agrária y Florestal da Universidade da Coruña, na Espanha, em regime de cotutela.

Aos meus avós
Waldemar Ferreira de Araujo (*in memoriam*),
Regina Masserano de Araujo (*in memoriam*),
Francisco Antônio Costa (*in memoriam*) e
Isaura Sonsin Costa (*in memoriam*),
por terem construído os alicerces do meu mundo
e aos meus sobrinhos, Francisco Araujo Schutz e
Helena Araujo Schutz por me darem perspectiva.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Maria de Fátima Costa Araujo e Edward Ferreira de Araujo, por todo o apoio e oportunidades que me deram ao longo da minha caminhada, sem dúvida sou a resultante dos esforços e do amor que me dedicaram. Aos meus Irmãos Eduardo Ferreira de Araujo, Fabiana Costa de Araujo Schutz e Gustavo Costa Araujo pelo e companheirismo, vocês são os melhores irmãos que alguém poderia ter. Ao Rodrigo José de Vargas pela compreensão, companheirismo e pela paciência, mesmo nos momentos mais difíceis. Vocês estiveram presentes sempre que precisei, me deram suporte emocional, financeiro e esta conquista é de vocês também.

Aos meus professores e orientadores, Professor Silvio César Sampaio e Professor Antonio Paz González, pela orientação, pela paciência e pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos. Obrigada por terem me acolhido e à minha proposta de trabalho.

Aos professores Márcio Antônio Villas Boas e Tomás Figueiredo, por toda ajuda durante o desenvolvimento do meu trabalho, pela amizade e pela referência como profissionais de ensino.

Ao professor Affonso Gonçalves, Eva Vidal, Marcos Lado Linhares, pelo apoio à pesquisa.

Ao meu amigo e parceiro de pesquisa James Morais. Sem sua ajuda este trabalho não teria sido possível. Te agradeço imensamente por ter abraçado a ideia e por ter me ajudado tanto com o trabalho e com a interface com a Cooperativa Lar. Obrigada também pelo companheirismo e solidariedade durante todo o período do doutorado.

Obrigada aos meus amigos e companheiros de jornada durante o mestrado e doutorado, Fernanda, Marcelo, Tamiris, Francielly, Larissa, Jackeline, Danielle, Margareth, Mariana, Eder, Kethellen e Plínio. Obrigada pela ajuda e por compartilharem as dores e alegrias desta etapa, por vezes tão solitária. Não teria sido tão legal sem vocês!

À Rosane Silva Dias, Pablo Reyes Canellas, Thiago Reyes Dias, Aline Cavalli, Douglas Bandeira e Rayner Svesut Barbieri e Maryan Ghebleh, que me receberam e me ajudaram tanto, por terem sido minha família quando a minha família estava longe demais.

Aos servidores da Unioeste pela presteza em especial aos técnicos Edison Barbosa, Euro Kailer e Vera Schmidt por se disporem a ajudar sempre que necessário.

À Unioeste, à Universidade da Coruña pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e científico.

À Cooperativa Lar por ter viabilizado esta pesquisa em sua Unidade, e por ter confiado no meu trabalho.

À Capes, pelo apoio financeiro e pela oportunidade de expandir meus horizontes de pesquisa por meio do Programa Doutorado Sanduiche no Exterior.

IRRIGAÇÃO COM EFLUENTE TRATADO DE ABATEDOURO DE AVES SOBRE O SOLO E A PRODUÇÃO FLORESTAL

RESUMO

A aplicação de efluentes tratados sobre o solo é uma das principais formas de disposição final de águas residuárias, e pode ser considerada uma forma de pós-tratamento. Embora as florestas plantadas apresentem, em geral, boa tolerância à disposição de efluentes, há que se avaliar os efeitos desta disposição em relação às respostas da floresta e do solo. Desta forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar, ao longo de dois anos, os efeitos da disposição, por gotejamento, do efluente tratado de um abatedouro de aves, em diferentes taxas, sobre o solo e sobre a floresta. Para tanto, foram instaladas 16 parcelas em áreas de floresta de eucalipto, sendo 4 tratamentos (taxas de irrigação de 0, 100, 200 e 300 m³ha⁻¹dia⁻¹) e 4 repetições para cada tratamento. Foram avaliadas amostras de solo em relação à sua fertilidade e variáveis de crescimento e de produção da floresta. Como principais resultados foram obtidos os modelos hipsométricos com melhores ajustes, hiperbólico, e Naslünd, com erro padrão médio de 0,6 m e o modelo volumétrico de Dissescu-Meyer, com erro padrão médio de 0,017 m³. Observou-se correlação positiva e significativa entre o incremento médio anual e as taxas de aplicação de efluentes testadas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos para o diâmetro à altura do peito, área basal individual, área basal por hectare, volume individual e volume por hectare. A taxa de irrigação de 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ produziu as médias mais altas para todas estas variáveis. Nesta taxa de irrigação foi observado um incremento médio anual (IMA) 92% superior à testemunha. Além disso, as taxas de irrigação influenciaram nas concentrações de fósforo e potássio do solo, aos 24 meses de irrigação. A taxa de irrigação de 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ foi a que apresentou as concentrações mais altas deste nutriente. Houve relação entre a altura dominante das árvores e as concentrações de matéria orgânica e pH do solo, e relação negativa com o cálcio e potássio. O diâmetro à altura do peito correlaciona-se de forma positiva com as concentrações de ferro e cobre e negativamente com zinco e manganês.

Palavras-chave: fertilidade do solo, nutrição florestal, modelos dendrométricos

IRRIGATION WITH TREATED EFFLUENT FROM POULTRY SLAUGHTERHOUSE ON SOIL AND FOREST PRODUCTION

ABSTRACT

The application of treated wastewater on soil is one of the main forms to final disposal and can be considered a post-treatment. Although planted forests generally have good tolerance to effluent disposal, but, the effects of this provision on forest and soil responses should be evaluated. In this way, the aim of this work was to evaluate, over two years, the effects of drip irrigation with treated effluent from a poultry slaughterhouse, at different rates, on the soil and on the forest. Sixteen plots were implanted in eucalyptus forest areas, four treatments (irrigation rates of 0, 100, 200 and 300 m³ha⁻¹dia⁻¹) and 4 replications for each treatment. Soil samples were evaluated in relation about it fertility and forest by it growth and production variables. The main results were the best fit, hyperbolic and Naslünd hypsometric models, with a average standard error of 0.6 m and the Dissescu-Meyer volumetric model, with an average standard error of 0.017 m³. A positive and significant correlation was observed between the annual average increment and the rates of application of effluents tested. The treatments had significant effects for diameter at breast height, individual basal area, basal area per hectare, individual volume and volume per hectare. The irrigation rate of 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ produced the highest averages for all these variables. At this irrigation rate, was observed an average annual increment (AAI) 92% higher than the control. In addition, irrigation rates influenced soil phosphorus and potassium concentrations at 24 months of irrigation. The irrigation rate of 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ was the one with the highest concentrations of this nutrient. There was a relation between the dominant height of the trees and the concentrations of organic matter and pH of the soil, and negative with calcium and potassium. The diameter at breast height correlates positively with iron and copper concentrations and negatively with zinc and manganese.

Keywords: soil fertility, forest nutrition, dendrometric models

IRRIGACIÓN CON EFLUENTE TRATADO DE MATADERO DE AVES SOBRE EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN FLORESTAL

RESUMEN

La aplicación de efluentes tratados sobre el suelo es una de las principales formas de disposición final de aguas residuales, y puede ser considerada una forma de post-tratamiento. Aunque los bosques plantados presentan, en general, una buena tolerancia a la disposición de efluentes, hay que evaluar los efectos de esta disposición en relación con las respuestas del bosque y del suelo. De esta forma, se objetivó con este trabajo, evaluar, a lo largo de dos años, los efectos de la disposición, por goteo, del efluente tratado de un matadero de aves, en diferentes tasas, sobre el suelo y sobre el bosque. Para ello, se instalaron 16 parcelas en áreas de bosque de eucalipto, siendo 4 tratamientos (tasas de riego de 0, 100, 200 y 300 m³ha⁻¹dia⁻¹) y 4 repeticiones para cada tratamiento. El efluente utilizado fue tratado por procesos físico-químicos y biológicos. Se evaluaron muestras de suelo en relación a su fertilidad y variables de crecimiento y de producción del bosque. En el caso de los modelos hipsométricos con mejor ajuste, hiperbólico, y Naslünd, con error estándar medio de 0,6 m y el modelo volumétrico de Dissescu-Meyer, con error estándar medio de 0,017 m³. Se observó una correlación positiva y significativa entre el incremento medio anual y las tasas de aplicación de efluentes probadas. Los tratamientos presentaron efectos significativos para el diámetro a la altura del pecho, área basal individual, área basal por hectárea, volumen individual y volumen por hectárea. La tasa de irrigación de 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ produjo los promedios más altos para todas estas variables. En esta tasa de irrigación se observó un incremento medio anual (IMA) un 92% superior al testigo. Además, las tasas de irrigación influenciaron en las concentraciones de fósforo y potasio del suelo, a los 24 meses de irrigación. La tasa de irrigación de 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ fue la que presentó las concentraciones más altas de este nutriente. Se observó una relación entre la altura dominante de los árboles y las concentraciones de materia orgánica y pH del suelo, y negativa con el calcio y el potasio. El diámetro a la altura del pecho se correlaciona de forma positiva con las concentraciones de hierro y cobre y negativamente con cinc y manganes.

Palabras-llave: fertilidad del suelo, nutrición forestal, modelos dendrométricos

IRRIGACIÓN CON EFLUENTE TRATADO DE MATADERO DE AVES SOBRE EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN FLORESTAL

RESUMO

A aplicación de efluentes tratados sobre o solo é un dos principais xeitos de disposición final de augas residuais, e pode ser considerado un xeito de post-tratamento. Aínda que os bosques plantados presentan, en xeral, unha boa tolerancia á disposición de efluentes, todavía é necesario avaliar os efectos desta disposición en relación coas respostas do bosque e do solo. Deste xeito, o obxectivo deste traballo foi avaliar, ao longo de dous anos, os efectos da disposición, por goteo, do efluente tratado dun matadoiro de aves, a diferentes doses, sobre o solo e o bosque. Para iso, instaláronse 16 parcelas en áreas de bosque de eucalipto, dispostas en 4 tratamentos (doses de rega de 0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ día⁻¹) e 4 repeticións para cada tratamento. O efluente utilizado tratouse por procesos físico-químicos e biolóxicos. Se avaliaron mostras de solo en relación á súa fertilidade, e variables de crecemento e de produción do bosque. Os modelos hipsométricos con mellor axuste foron o hiperbólico e o Naslünd, cun erro típico medio de 0,6 m, e o modelo volumétrico de Dissescu-Meyer, cun error típico medio de 0,017 m³. Observouse unha correlación positiva e significativa entre o incremento medio anual e as doses de aplicación de efluentes ensaiadas. Os tratamentos presentaron efectos significativos para o diámetro á altura do peito, a área basal individual, a área basal por hectárea, o volume individual e o volume por hectárea. A dose de irrigación de 300 m³ ha⁻¹ día⁻¹ produciu as medias máis elevadas para todas estas variables. Con esta dose de irrigación observouse un incremento medio anual (IMA) 92% superior á testemuña. Ademais, as doses de irrigación influíron nas concentracións de fósforo e potasio do solo aos 24 meses de irrigación. A dose de irrigación de 300 m³ ha⁻¹ día⁻¹ presentou as concentracións máis altas destes nutrientes. Observouse unha relación entre a altura dominante das árbores e as concentracións de materia orgánica e o pH do solo, e negativa co calcio e o potasio. O diámetro á altura do peito relacionouse de forma positiva coas concentracións de ferro e cobre e negativamente co cinc e o manganeso.

Palabras-clave: fertilidade do solo, nutrición forestal, modelos dendrométricos

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE TABELAS | xiii |
| LISTA DE FIGURAS | xiv |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo geral | 3 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 3.1 Características de efluentes de abatedouro de aves | 4 |
| 3.2 Efeitos da disposição de efluentes nos atributos do solo | 6 |
| 3.3 Aspectos legais para disposição de efluente em solo e reuso na agricultura e em sistemas florestais | 9 |
| 3.3 Florestas plantadas | 12 |
| 3.3.1 Informações sobre o clone AEC224 | 13 |
| 3.3.2 Efeitos da disposição de efluente tratado em florestas de eucalipto | 14 |
| 3.4 Irrigação com efluente | 17 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 19 |
| 4.1 Área experimental e informações da indústria | 19 |
| 4.1.1 Caracterização do efluente | 21 |
| 4.2 Instalação do experimento..... | 22 |
| 4.2.1 Sistema de irrigação..... | 23 |
| 4.3 Coleta e análise de dados | 25 |
| 4.3.1 Solo - Amostragem e análise | 25 |
| 4.3.2 Floresta – Inventário e modelagem | 26 |
| 4.4 Integração e análise dos dados..... | 28 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 5. 1 Avaliação florestal..... | 29 |
| 5.1.1 Ajuste de modelos hipsométricos para o clone AEC224 de <i>Eucalyptus urophylla</i> sobre Latossolo irrigado e não irrigado, na região Oeste do Paraná | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 5.1.2 Ajuste de modelos volumétricos para o clone AEC224 de <i>Eucalyptus urophylla</i> sobre Latossolo irrigado e não irrigado, na região Oeste do Paraná | 33 |
| 5.1.3 Estimativas florestais individuais e populacionais para o experimento, pré e pós irrigação | 36 |
| 5.2 Avaliação do solo florestal irrigado com altas taxas de efluente tratado de abatedouro de aves | 40 |
| 5.3 Correlação entre atributos do solo irrigado com efluente de abatedouro de aves e produção florestal..... | 50 |
| 5 CONCLUSÕES | 54 |
| 5 CONCLUSIONS | 55 |
| 5 CONCLUSIONES | 56 |
| 5 CONCLUSIÓN S | 57 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 58 |
| 7 REFERÊNCIAS | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 Demandas nutricionais para <i>Eucalyptus spp</i> (GONÇALVES, 1995)..... | 13 |
| Tabela 2 Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicas do efluente tratado da UIA, bem como as taxas aplicadas a cada tratamento destes parâmetros..... | 21 |
| Tabela 3 Tratamentos aplicados às parcelas experimentais, e lâminas de água diárias e anuais. | 23 |
| Tabela 4 Modelos clássicos para ajustes de equação hipsométrica | 27 |
| Tabela 5 Modelos clássicos para ajuste de equações volumétricas..... | 28 |
| Tabela 6 Coeficientes ajustados para os modelos testados, estatísticas de teste e Fator de correção de Meyer | 30 |
| Tabela 7 Coeficientes ajustados para os modelos testados, estatísticas de teste e Fator de correção de Meyer | 33 |
| Tabela 8 Parâmetros médios e desvios padrão para variáveis dendrométricas, por parcela, levantadas a os 18 e aos 43 meses de idade do povoamento (zero e 24 meses de irrigação) | 36 |
| Tabela 9 Médias e desvios padrão das variáveis dendrométricas e testes de média de Tukey e Dunnet para clone AEC 224 de <i>E. urophylla</i> aos 18 e 43 meses de idade, submetidos aos tratamentos..... | 38 |
| Tabela 10 Médias, desvios padrão, testes de média e incremento das variáveis de atributos do solo amostrados a 0 e 24 meses de irrigação..... | 44 |
| Tabela 11 Médias, desvios padrão, testes de média e incremento das concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe do solo amostrados a 0 e 24 meses de irrigação..... | 47 |
| Tabela 12 Equações exponenciais ajustadas para os parâmetros monitorados, em função da taxa de irrigação com efluente tratado de abatedouro de aves, aos 24 meses de irrigação por gotejamento..... | 47 |
| Tabela 13 Análise de componentes principais para o conjunto de dados de atributos de solo florestal após 24 meses do início do experimento | 48 |
| Tabela 14 Matriz de correlação univariada de Pierson para o conjunto de variáveis florestais em função das variáveis de solo aos 24 meses do experimento. | 50 |
| Tabela 15 Análise de correspondência canônica para as matrizes de dados de atributos de solo florestal e dendrometrias, após 24 meses do início do experimento | 51 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Fluxograma do sistema de tratamento e disposição de efluentes da unidade industrial de aves - UIA. | 20 |
| Figura 2 Área de estudo e alocação das parcelas e suas respectivas áreas em m ² | 22 |
| Figura 3 Precipitação mensal ao longo do experimento, considerando dados da estação pluviométrica de Matelândia, PR (código 2554005)..... | 23 |
| Figura 4 Sistema de monitoramento da irrigação da parcela, composto por hidrômetro, manômetro e registro (A) e sistema para filtragem do efluente, com dois filtros de discos operando em paralelo (B) | 24 |
| Figura 5 Croqui dos sistemas de irrigação nas parcelas e foto de uma das parcelas irrigadas. | 25 |
| Figura 6 Histogramas dos dados e gráficos de probabilidade normal a 95% de probabilidade, para diâmetro à altura do peito (DAP), e altura total (H)..... | 29 |
| Figura 7 Dispersão dos resíduos padrão da estimativa (Syx%) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) para os modelos ajustados..... | 31 |
| Figura 8 Curvas hipsométricas para os modelos Hiperbólico (a), Naslünd (b) e Pollanchutz (c) e distribuição dos dados de altura por diâmetro medidos a campo. | 32 |
| Figura 9 Dispersão dos resíduos padrão da estimativa (Syx%) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) para os modelos volumétricos ajustados. | 34 |
| Figura 10 Curvas volumétricas para os modelos Dissescu-Meyer (a), Hush (b), Schumacher-Hall (c) e Spurr (d) e distribuição dos dados de volume por diâmetro medidos a campo. | 35 |
| Figura 11 Incremento médio anual por parcelas experimentais, para clones AEC 224, de <i>E.urophylla</i> , aos 18 (IMA _{1,5}) e 43 meses (IMA _{3,6}) sob taxas de irrigação de 0 (T0), 100 (T1), 200 (T2) e 300 (T3) m ³ ha ⁻¹ dia ⁻¹ | 37 |
| Figura 12 Incremento médio anual na idade de 2 anos (IMA _{3,6}) e Incremento corrente para o período de 23 meses (IC), em função das taxas de irrigação de 0, 100, 200 e 300 m ³ ha ⁻¹ dia ⁻¹ ; e curvas ajustadas para IMA _{3,4} e IC em função dessas taxas de irrigação somadas à precipitação média diária da estação pluviométrica de Matelândia, PR (código 2554005) | 39 |
| Figura 13 Atributos do solo em função dos tratamentos T0, T1, T2 e T3, amostrados a 0, 6, 15 e 24 meses de irrigação e precipitação total nos meses de coleta | 42 |
| Figura 14 Concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe do solo em função dos tratamentos T0, T1, T2 e T3, amostrados a 0, 6, 15 e 24 meses de irrigação e precipitação total nos meses de coleta | 46 |

| | |
|---|----|
| Figura 15 Gráficos da avaliação componentes principais para o conjunto de dados de atributos do solo 24 meses após o início do experimento..... | 49 |
| Figura 16 Diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação (a) e variáveis dendrométricas de produção florestal (b) produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA) | 52 |

1 INTRODUÇÃO

A alteração dos padrões alimentares, especialmente nos países em desenvolvimento, se faz evidente quando considerado o aumento do consumo de proteína animal, sobretudo a carne, nestes países. No Brasil, por exemplo, o consumo total de carne per capita, que era de 37,02 kg por habitante em 2007, saltou para 42,07 em 2017 (USDA, 2019). De acordo com a projeção de consumo da USDA (2019), até 2027 o consumo mundial de carnes deve aumentar em 14%, alavancado, principalmente pelo incremento do consumo na China (27,5%), no Brasil (8,5%), na Índia (7,8%) e no México (5,2%). Considerando que estes países estão entre os mais populosos, o aumento do consumo de qualquer produto impacta seriamente na produção em escala global. Por ser mais acessível, projeta-se que a carne de aves represente 46% deste consumo futuro OCDE; FAO (2015).

Para o Brasil, que é o 2º maior produtor de frango do mundo, e cuja produção aumentou de 5,98 milhões para 13,05 milhões de toneladas desde 2000 até 2017, estima-se que a produção deve crescer 22% até 2022. Atualmente o Paraná é o estado que abate o maior número de aves, representando 34,32% do total nacional, seguido pelos estados de Santa Catarina (16,21%) e Rio Grande do Sul (13,82%), respectivamente (KIST et al., 2015; OCDE; FAO, 2015; ABPA, 2018).

Se por um lado o crescimento da produção avícola reflete um bom momento econômico nos países em desenvolvimento, por outro, preocupa pela geração de resíduos, efluentes e pelo uso dos recursos naturais. O abate de aves e o processamento da sua carne são atividades que requerem grandes quantidades de água, gerando, conseqüentemente grandes volumes de efluente.

O consumo de água, bem como seu tratamento e reaproveitamento, são temas recorrentes nas principais discussões sobre sustentabilidade ambiental. Os maiores consumidores de água doce na atualidade são a agricultura (70,2%) e a indústria (19,8%) e, em projeções da FAO, até 2050 a indústria transformadora por si só poderia aumentar o consumo de água em 400% (CHRISTOFIDIS, 2015; WWAP, 2016).

Dessa forma, a disposição dos efluentes industriais, mesmo que tratados, deve ser pensada de forma integrada ao manejo de bacias e recarga de mananciais, a logo prazo, pois, com o aumento da produção e a concentração de água captada de várias fontes, com possibilidades de dispersão de efluente territorialmente restritas, está se tornando uma questão cada vez mais recorrente.

Considerando o solo, como um elemento no processo de depuração dos efluentes, assim como o sistema solo-planta como um agente para o aproveitamento dos nutrientes, a

disposição de efluentes pode ser encarada, não como um problema ambiental, mas como uma fonte de água e energia às culturas (RIBAS; FORTES NETO,2008).

Neste contexto, as florestas plantadas, em especial as de eucalipto, podem constituir uma excelente alternativa na disposição dos efluentes tratados, já que, além da sua importância no suprimento de madeira para diversas finalidades, também minimizam as pressões ambientais sobre a utilização de madeira nativa (MARONEZE et al., 2014).

Embora, em geral, as respostas à aplicação de efluentes em áreas de reflorestamento sejam positivas sob o aspecto produtivo, em médio e logo prazo podem causar alterações ao solo, e conseqüentemente à sua capacidade produtiva.

O solo constitui uma estrutura complexa, que influencia fortemente aspectos produtivos de todas as culturas e que pode sofrer alterações severas com a introdução de água e contaminantes. Assim, espera-se com este trabalho, obter perspectivas sobre os impactos da aplicação de efluente tratado, proveniente de abatedouro de aves, sobre o solo, e sobre a floresta.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da disposição, por gotejamento, do efluente tratado de um abatedouro de aves, em diferentes taxas, sobre o solo e sobre a floresta.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar os modelos hipsométricos e volumétricos para o povoamento, assim como estimativas de incremento nas condições testadas.
- Avaliar os efeitos das taxas de aplicação do efluente tratado sobre a produção do povoamento florestal.
- Avaliar os efeitos das taxas de aplicação do efluente tratado sobre a fertilidade do solo.
- Avaliar a relação entre as características do solo irrigado e a produção florestal, em função de diferentes taxas de irrigação.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características de efluentes de abatedouro de aves

A indústria de processamento de carne produz grandes volumes de águas residuárias, proveniente do abate dos animais e da limpeza das instalações, respondendo por 24% do total de água doce consumida pela indústria de alimentos e bebidas e 29% pela indústria agrícola mundial. A pegada hídrica média estimada para a produção de carne de frango é de 4.325 m³ ton⁻¹ (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2012; GERBENS-LEENES; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2013; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

No Brasil, a recomendação da Inspeção Federal do Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária, para o consumo de água de higienização e nos processos relacionados ao abate de aves, é que sejam utilizados 30 litros de água por frango desde a plataforma de entrada até a expedição, inclusive com os processos auxiliares de lavanderia, refeitório, caldeiras etc. Considerando aves de 2,4 kg ao abate, com 78% de rendimento de carcaça e 30 litros de água consumidos por ave abatida o gasto no frigorífico de aves é de 16,03 L kg⁻¹ de carne de frango (BRASIL, 1998; BELLAYER, 2009).

Por apresentarem elementos complexos, como gorduras, proteínas e fibras do processo de abate, os efluentes de abatedouros são considerados altamente poluentes e são classificados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) como um dos mais prejudiciais provenientes das indústrias agrícolas e (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

A composição dos efluentes em abatedouros pode variar em função dos processos industriais e da demanda específica de água. Os subprodutos do abate são os excrementos, sangue, penas e vísceras. Os excrementos resultam da lavagem dos caminhões que transportam as aves vivas e o sangue advém dos processos de dessensibilização e sangria e é coletado em uma linha específica. Tanto o sangue coagulado, como as penas, e os subprodutos da evisceração, como a cloaca, intestino, a traqueia, alimentos não digeridos da moela, pericárdio, entre outros, normalmente são encaminhados à usinas de processamento de subprodutos (AMORIM et al., 2007).

Normalmente, apresentam altas concentrações de fósforo total, nitrogênio total e carbono orgânico total, demandas química e bioquímica de oxigênio e sólidos suspensos. Mees et al., 2013 determinou as concentrações de sólidos totais variando de 586 à 589 mg L⁻¹, de nitrogênio total variando de 143 até 175 mg L⁻¹ e DQO total de 356 até 384

mg L⁻¹, para efluente proveniente do tratamento secundário, depois de lagoas anaeróbias (amonificado), do abatedouro de aves cujo efluente tratado será utilizado para este trabalho.

Em relação ao tratamento adequado, assim como para outros efluentes, os sistemas para águas residuárias de abatedouros são compostos, geralmente, por sistema primário, secundário e, em muitos casos terciários. Após o tratamento preliminar, os efluentes podem ser dispostos no solo, tratados em sistemas físico-químicos, biológicos, por oxidação avançada e processos combinados (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015; VALTA et al., 2015).

O tratamento preliminar tem como principal objetivo remover sólidos e partículas maiores geradas durante o processo de abate. Para tanto, são utilizados grades e peneiras, além de tanques de equalização/homogeneização, sedimentação e flotação, que podem separar até 60% dos sólidos e remover até 30% da demanda bioquímica por oxigênio. O tratamento secundário geralmente é realizado em sistemas biológicos, aeróbios ou anaeróbios, em processos individuais ou combinados, cujo objetivo é carga orgânica, podendo alcançar mais de 90% de eficiência na remoção (MITTAL, 2004).

As lagoas de estabilização são sistemas de tratamento biológico amplamente difundidas. A composição se lagoas anaeróbias, seguidas de lagoas facultativas, perfaz um arranjo eficaz sob o aspecto de remoção de carga orgânica, além disso, constituem um modelo robusto em relação aos choques de cargas orgânica e hidráulica. São sistemas baratos, com baixo custo operacional, design e estratégias operacionais simples, principalmente em condições tropicais (NERY et al., 2013). A disposição do efluente pré-tratado no solo também pode ser considerada uma forma de tratamento secundário acessível, porém que requer condições edafoclimáticas adequadas para que seja realizada (BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2015).

3.2 Efeitos da disposição de efluentes nos atributos do solo

A aplicação das águas residuárias tratadas sobre o solo é uma das principais formas de disposição final destas águas. De acordo com Coarucci Filho & Veronez (2014), pode ser considerada uma forma de pós-tratamento, viável sob o ponto de vista técnico, pois promove a remoção da carga orgânica potencialmente poluidora, e econômica, já que possibilita o aproveitamento dos nutrientes, reduzindo, assim a necessidade do uso de fertilizantes comerciais.

Se por um lado a disposição de efluentes tratados no solo se mostra benéfica, por promover melhoria da sua estrutura, incremento de matéria orgânica, aumento na umidade, facilitando a absorção de nutrientes e o crescimento das plantas, por outro, o método implica no comprometimento estético, odor, contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, possível poluição, e presença de patógenos, além disso, envolve altos custos de transporte e destinação de terras para este fim. Portanto, são necessários estudos, utilizando alguns parâmetros controlados, para avaliar os efeitos e a viabilidade desta disposição (GUO; SIMS, 2000; AVERY; KILLHAM; JONES, 2005; MITTAL, 2006).

A matéria orgânica do solo é um dos parâmetros mais importantes relativos à fertilidade a serem observados e resulta da deposição e decomposição de material biológico e, em níveis adequados, pode melhorar as condições físicas do solo, aumentar a infiltração de água, facilitar o preparo de solo, amenizar as perdas por erosão, fornecer nutrientes às plantas e aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) Normalmente os teores de matéria orgânica maiores de 7 dag Kg⁻¹ são considerados muito bons (LOPES, 1998; MENDES, 2007).

A aplicação de efluentes no solo pode apresentar impactos muito positivos em relação à incorporação da matéria orgânica, sobretudo em médio e longo prazo. Após 3 anos de aplicação de efluente do processamento de carne sobre o solo, em plantios florestais, Guo & Sims (2003) alcançaram teores superiores a 23% de matéria orgânica no solo, aumentando em mais de 50% os teores iniciais em áreas irrigadas com efluente. Os autores avaliam que a irrigação em si, talvez tenha pouca influência na incorporação de matéria orgânica ao solo, mas que, com a disponibilidade de nutrientes e água, as árvores produzam mais serapilheira, que ao se decomporem, proveram matéria orgânica ao solo.

Duarte et al., (2008) atribuíram ao uso da água residuária e à rápida mineralização da matéria orgânica presente o incremento na concentração de nitrogênio e do carbono no solo.

Outro importante parâmetro, o pH (potencial hidrogeniônico), indica a quantidade de íons hidrogênio (H⁺) existente no solo e fornece indícios das condições químicas gerais do solo. Solos com acidez elevada, em geral, podem apresentar baixas soma de bases,

elevado teor de alumínio tóxico, excesso de manganês, alta fixação de fósforo nos colóides do solo e deficiência de alguns micronutrientes. O pH pode ser diretamente afetado pela disposição de efluentes no solo.

Guo & Sims (2000), avaliando taxas de irrigação com efluente do processamento de carne, variando de 10 a 40 mm semana⁻¹, em condições de temperatura que variavam de 2,5 até 27,5 °, observaram que o pH do solo diminuiu, com o aumento das taxas de irrigação e da temperatura, influenciado, principalmente pela atividade biológica.

Guo & Sims (2003) também observaram alterações no pH do solo ao longo de três anos de disposição de efluente de processamento de carne. O pH originalmente encontrado por antes da formação de florestas era de 4,7 em solo sob pastagem. Os autores observaram que com a introdução de plantios florestais e posteriormente com a irrigação com águas residuárias, houve um decréscimo nos valores de pH. Após três anos de experimento, o pH de áreas não irrigadas não havia sofrido alterações, enquanto que para as áreas sob irrigação houve decréscimo significativo, mesmo com o pH médio do efluente próximo à valores neutros (6,8). Os autores avaliam que a introdução do efluente no solo pode favorecer a produção de ácidos relacionados com a nitrificação e a liberação dos ácidos orgânicos em função da decomposição da serrapilheira.

Minhas et al., (2015) observaram as mudanças nas propriedades do solo após aplicação de esgoto e água. Os autores relatam a redução do pH do solo, em todas as condições testadas (água e esgoto variando-se a densidade de plantio), mesmo assim, o pH do solo se manteve alto (>8).

Em relação aos nutrientes do solo, os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, são absorvidos pela planta em maior proporção que os micronutrientes, que são B, Zn, Cu, Fe, Mo, Cl e Mn (também chamados de elementos traço). Ambos são constituintes dos minerais e da matéria orgânica do substrato onde a planta cresce e encontram-se também dissolvidos na solução do solo (RONQUIM, 2010).

Após 3 anos de irrigação com efluente, Guo & Sims (2003) observaram um incremento significativo de nitrogênio total em áreas fertirrigadas com efluente do processamento de carne, assim como a concentração de fósforo total, estimada em 1,5 g L⁻¹ inicialmente, dobrou ao longo do experimento.

Qian & Mecham (2005), avaliando a disposição de águas residuárias provenientes de esgoto em áreas de campo de golfe, observaram após 5 anos de avaliação, que houve aumento significativo nos teores de Na, Ca, P, Zn e Cu. Além disso, houve incrementos nos teores de K, Fe e Mn e decréscimo no teor de Al.

Tzanakakis et al. (2011) avaliaram, por um período de 3 anos, a aplicação de efluentes domésticos em florestas de eucalipto, acácia e pópulus e observaram que as

concentrações de nitrogênio total aumentaram, em todas as profundidades do solo avaliadas, porém os resultados mais expressivos foram observados até os 15 cm de profundidade. Além disso, os autores observaram acréscimos na concentração de fósforo inorgânico na solução do solo e de sódio, refletindo as altas concentrações no mineral no efluente.

Minhas et al., (2015), observaram incremento nos teores de nitrogênio disponível e fósforo, com o aumento marginal na salinidade, para todas as condições testadas, após 10 anos. Porém, o principal benefício apontado pelos autores foi a incorporação da matéria orgânica ao solo, em profundidades de até 1 m, que elevaram os teores de carbono no solo.

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , H^+ e Al^{3+}). A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H^+ e Al^{3+} e saturação por bases (V%), a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions (RONQUIM, 2010).

A aplicação de águas residuárias aumenta a quantidade de matéria orgânica no solo, que, por sua vez, aumenta a CTC e as diversas formas de potássio em solução. As águas residuárias possuem diferentes concentrações dos principais cátions (K, Ca, Mg, Na) que podem afetar a saturação por bases do solo (ARIENZO et al., 2009).

Quando os efluentes são dispostos no solo, ocorre a competição pelos sítios de adsorção de cátions envolvendo várias espécies de íons presentes no efluente. Entretanto, com a diluição da solução do solo pela infiltração da água, os sítios de troca do solo aumentam a sua afinidade por íons de maior valência, como Ca e Mg, enquanto que, com o aumento na concentração de solução do solo, esses sítios tendem a adsorver espécies monovalentes, como Na e K (SMILES, 2006).

A irrigação com águas residuárias pode reduzir a densidade aparente do solo e também amenizar os efeitos do revolvimento oriundo do preparo de solo para plantio. Este fato pode estar relacionado com a incorporação de matéria orgânica, em função da maior deposição de serrapilheira em sistemas florestais irrigados (GUO & SIMS, 2003).

Qian & Mecham (2005) destacam que, embora a irrigação com águas residuárias possam contribuir com o aumento da fertilidade do solo, por outro tendem a aumentar também a concentração dos principais cátions, inclusive o sódio. Os solos com valores altos de sódio podem ter a sua permeabilidade reduzida, diminuindo a taxa de infiltração e provocando a formação de crostas na superfície devido à dispersão de partículas.

Em relação à taxa de infiltração, Guo & Sims (2003) encontram pouca diferença entre áreas irrigadas com efluente e áreas onde não houve a irrigação. Os autores afirmam

que a redução na taxa de infiltração pode ser relacionada a redução no pH (4,2 em média), ocorrida após 3 anos de experimento. Os autores relacionam ainda, influência do tempo de permanência no solo à sua permeabilidade. Quanto mais permeável, menor o tempo de permanência da água no solo. Quanto menor a permeabilidade, menor seriam as taxas de aplicação admissíveis, pois, caso fossem saturados, seriam induzidas condições anaeróbias neste solo.

Tzanakakis et al. (2011), observou a redução da densidade do solo em 9%, em média, e aumento da porosidade em 11% após 3 anos de aplicação de efluente doméstico no solo. Além disso, houve aumento na proporção de macroporos, em todas as camadas de solo e a resistência à penetração do solo diminuiu em resposta à aplicação do efluente.

Marinho et al. (2014) também observaram que a irrigação com efluente não tratado pode promover a tendência ao aumento das concentrações de sódio, levando à impermeabilização. Por isso, os autores recomendam que solos com drenagem imperfeita sejam evitados na disposição de efluentes. Além disso, afirmam que a salinidade do solo pode ser reduzida utilizando-se um volume de efluente superior à diferença entre o consumo de planta e a precipitação efetiva. O aumento da concentração de magnésio e de cálcio também pode contribuir com o decréscimo da carga de sódio no solo e conseqüentemente com o risco de redução de permeabilidade.

3.3 Aspectos legais para disposição de efluente em solo e reuso na agricultura e em sistemas florestais

Embora não seja uma prática nova no Brasil, a regulamentação para o reuso de águas na agricultura e disposição de efluentes em solo ainda não está muito bem formatada. Não existe uma padronização única no Brasil para parâmetros que direcionem disposição e reuso de águas residuárias (ALMEIDA, 2011). Em função da diversidade de águas residuárias e das características peculiares de cada tipo de solo, de maneira geral, tanto o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) quanto o CNRH Conselho Nacional de Recursos hídricos (CNRH), delegam aos órgãos ambientais seccionais e locais, autonomia para a definição formas de monitoramento dos efeitos da disposição dos efluentes sobre o solo.

Há algumas incursões na legislação referente à gestão das águas, que são utilizadas para guiar este processo, como a Resolução 20/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece limites máximos de impureza para cada destino específico

da água. Além da Resolução 396/2008 do CONAMA, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, traz, em seu artigo 27º, que a aplicação e disposição de efluentes e de resíduos no solo deverão observar os critérios e exigências definidos pelos órgãos competentes e não poderão conferir às águas subterrâneas características em desacordo com o seu enquadramento (BRASIL, 2008; ALMEIDA, 2011).

A Resolução 430/2011, do CONAMA, que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, determina, em seu 2º artigo, que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nesta Resolução, não podendo, todavia, causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas (BRASIL, 2011).

Em relação à legislação específica, a Resolução nº 54/2005, do CNRH, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água e a resolução 121/2005 do mesmo órgão estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso na modalidade agrícola e florestal (BRASIL, 2005).

Nesta resolução, o CNRH determina que a aplicação de água de reuso poderá ser condicionada, pelo órgão ou entidade competente, dependendo da elaboração de projeto que atenda os critérios e procedimentos estabelecidos por ele. Além disso, determina que a aplicação de água de reuso para fins agrícolas e florestais não pode apresentar riscos ou causar danos ambientais e a saúde pública.

Em relação às normas técnicas que são utilizadas para aplicação de águas residuárias, as principais são a NBR 13969/1997, para projetos de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos e a NBR 13969, que não é específica para reuso, mas tem um item dedicado ao tema, inclusive com a definição de classes de água de reuso e indicação de padrões de qualidade (CHEIS, 2013).

No Paraná, o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEMA) estabelece no Anexo 2 da Resolução conjunta com o Instituto Ambiental do Paraná 070/09 as diretrizes para elaboração e apresentação de projetos básicos de sistemas de controle de poluição ambiental em empreendimentos/atividades industriais. A resolução considera a disposição de efluentes líquidos e resíduos sólidos no solo para uso agrícola quando o despejo for aplicado no solo para fins agrícolas e florestais, como condicionador, fertilizante ou corretivo, de modo a proporcionar efeitos benéficos para o solo e para as espécies nele cultivadas (PARANÁ, 2018).

A resolução não estabelece os parâmetros de controle ambiental, mas determina que os projetos devam ser acompanhados de anotação de responsabilidade técnica emitida por

profissional habilitado, contendo a caracterização do solo e a especificação dos parâmetros monitoramentos do sistema, entre outras exigências (PARANÁ, 2018).

3.3 Florestas plantadas

O histórico das florestas plantadas no Brasil se iniciou há mais de um século, com a introdução de plantios de eucalipto na região do cerrado e do pinus no sul do país. Nos anos 70 se popularizou, com os incentivos fiscais para reflorestamento, que tinham como intuito garantir reservas de madeira para o País. Desde então, com a instalação de empresas de base florestal, a silvicultura dessas espécies vem sendo desenvolvida e consolidada (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO FLORESTAL, 2016).

O Brasil detém hoje as melhores tecnologias na silvicultura do eucalipto, atingindo cerca de 60 m³ ha⁻¹ de produtividade, em rotações de sete anos e, embora haja pressões de vários setores contra o monocultivo do eucalipto, ele apresenta benefícios, como a redução do assedio sobre áreas de floresta nativa, o aproveitamento de terras degradadas pela pecuária e pela agricultura, o sequestro de carbono, proteção do solo e das águas, além de ciclos curtos de exploração e maior rendimento em relação ao manejo de florestas nativas (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO FLORESTAL, 2016).

A área de florestas plantadas para fins industriais no Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares em 2014, correspondendo a apenas 0,9% do território brasileiro. Aproximadamente 5,6 milhões de hectares são ocupados por florestas de eucalipto (71,9% do total). O Paraná apresenta a 3^a maior área plantada do país, com 914 mil ha, entretanto, se destaca na produção de pinus, apenas 24% desta área é dedicada a produção de eucalipto. Os principais produtores de eucalipto são os estados de Minas Gerais (25,2%), São Paulo (17,6%) e Mato Grosso do Sul (14,5%) IBÁ (2015).

Aproximadamente 63% das florestas no Brasil são certificadas por organizações independentes, como o *Forest Stewardship Council* (FSC) e o *Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes* (PEFC), este último representado no Brasil pelo Programa Nacional de Certificação Florestal (Cerflor)IBÁ (2015).

O período entre 1980-1995 foi caracterizado pela ênfase na propagação clonal. O projeto GENOLYPTUS (Rede Nacional de *Eucalyptus* Genome Research) surgiu como uma manobra estratégica das empresas florestais brasileiras, com o objetivo de incentivar a pesquisa e desenvolvimento em genética, reprodução, marcadores moleculares e clonagem deste gênero no país (GRATTAPAGLIA, 2001). Atualmente, quase toda a produção florestal industrial de eucalipto se dá por meio de clones, que são amplamente adaptados à diversas condições ambientais, e as pesquisas referentes à genética de florestas se encaminham para o entendimento da interação entre os fatores genéticos e o ambiente (CASTRO et al., 2016).

3.3.1 Informações sobre o clone AEC224

O clone AEC 224 ou I224 é originado da base genética de *Eucalyptus urophylla* desenvolvido pela empresa ACESITA / ARCELORMITTAL BIOENERGIA LTDA e é um dos mais utilizados em plantios comerciais do Brasil. Amplamente cultivado por apresentar rusticidade e resistência à pragas, como o psilídeo-de-concha. Apresenta incremento médio anual (IMA) de 42 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ densidade básica média de 498 kg m⁻³. Trata-se de uma variedade com resistência moderada à déficits hídricos, que pode ser expressada na quebra do terço superior do fuste (STAPE et al., 2010; PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013).

Além do bom crescimento, esse clone apresentara boa forma do fuste, espessura de galhos, desrama natural, além de baixa presença ou ausência de bifurcações, doenças e insetos-praga. A seleção da base genética se deu com vistas a produção de carvão vegetal, em condições edafoclimáticas da área de atuação da Empresa Arcelor Mittal (antiga Acesita), em Minas Gerais. Caracterizam-se pelo bom desempenho mesmo quando cultivados em regiões de deficiência hídrica e elevadas temperaturas (REIS et al., 2014).

Não foram encontradas informações sobre as demandas específicas do clone, porém, Gonçalves (1995) apresenta as faixas adequadas de concentração de nutrientes no solo para *Eucalyptus spp.*

Tabela 1 Demandas nutricionais para *Eucalyptus spp* (GONÇALVES, 1995)

| Macronutrientes | Faixas adequadas de concentração (g kg ⁻¹) |
|-----------------|--|
| N | 13,5 – 18,0 |
| P | 0,9 – 1,3 |
| K | 9,0 – 13,0 |
| Ca | 6,0 – 10,0 |
| Mg | 3,5 – 5,0 |
| S | 1,5 – 2,0 |
| Micronutrientes | (mg kg ⁻¹) |
| Bo | 30,0 – 50,0 |
| Zn | 35,0 – 50,0 |
| Fe | 150,0 – 200,0 |
| Mn | 400,0 – 600,0 |
| Cu | 7,0 – 10,0 |
| Mo | 0,5 – 1,0 |

A quantidade de água necessária por uma cultura para compensar a perda por evapotranspiração (ET_c) pode ser estimada com base em elementos meteorológicos e ao incorporar diretamente os parâmetros de resistência das culturas, albedo e resistência do ar, de acordo com o modelo de Penman-Monteith. Este modelo foi posteriormente parametrizado pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) para uma cultura de referência

hipotética, dando origem ao método de Penman-Monteith-FAO, que é usado para estimar a evapotranspiração de referência (ET_0). A razão ET_c/ET_0 , pode ser determinada experimentalmente para diferentes culturas e é conhecido como o coeficiente de cultura (K_c) (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

Assim, Alves et al.(2013) propuseram determinar as necessidades hídricas da cultura do eucalipto irrigado, tendo como referência a estimativa do coeficiente dual de cultura (K_c dual). Os valores médios para os coeficientes de cultura estimados foram de 0,57; 0,13 e 0,70 para K_e (que representa a evaporação na camada superficial do solo), K_{cb} (que descreve a transpiração da cultura) e K_c (coeficiente de evapotranspiração do sistema solo-planta) , respectivamente, na fase inicial de crescimento e de 0,01; 0,81 e 0,82 para K_e , K_{cb} e K_c , respectivamente, na fase média de crescimento da cultura. Os autores afirmam que a metodologia empregada não substitui as medidas em campo para o desenvolvimento das curvas de K_c , mas fornece uma forma consistente de avaliar os valores medidos, bem como fornecer meios para estimar as alterações nos valores de K_c com a mudança da fração de solo coberta por vegetação.

3.3.2 Efeitos da disposição de efluente tratado em florestas de eucalipto

A utilização de efluentes tratados pode suprir as necessidades hídricas em florestas plantadas, aumentando a produtividade, haja vista que o estresse hídrico é um dos principais fatores na redução do crescimento e desenvolvimento de plantas (SEGHATOLESLAMI et al., 2008).

O uso de efluente de tratado na irrigação de eucalipto poderia acelerar seu crescimento, representando uma alternativa para o fornecimento de madeira para atividades da indústria tais como geração de energia, obras de construção civil e de produção de celulose (MARINHO et al., 2014)

Embora as respostas fisiológicas e de crescimento em eucalipto, em função da aplicação de águas residuárias sejam, em geral, positivas (VELLINI et al., 2008; SANDOVAL et al., 2013; FERNANDES et al., 2015), alguns fatores podem causar prejuízos à produção e danos ao meio ambiente, como a presença de metais pesados, por exemplo (MARONEZE et al., 2014). Mesmo que muitos deles sejam nutrientes, quando as concentrações excedem os limites de tolerância das plantas, podem tornar-se tóxicos, além de promoverem a contaminação do solo. Por este motivo, se faz necessária a investigação acerca dos fatores que podem ser influenciados com a introdução de nutrientes e água provenientes de efluentes.

Minogue et al., 2012, avaliou algumas progênies de *E. grandis* e *amplifolia*, e clones de *Populus deltoides*, em relação ao aproveitamento de nutrientes, nitrogênio (N) e fósforo (P), durante 26 meses, em um campo de pulverização de esgoto urbano. O efluente foi aplicado por aspersão, em uma taxa de $93,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Os *E. amplifolia* e *grandis* sobreviveram, porém cresceram muito mal em função de lesões causados pelas baixas temperaturas em invernos severos, por dois anos consecutivos. Porém, os *P. deltoides* demonstraram aptidão para a fitorremediação, absorvendo os nutrientes e promovendo a sua incorporação. Os autores estimaram que 789 kg ha^{-1} de nitrogênio total e 103 kg ha^{-1} de fósforo total tenham sido removidos pela incorporação na biomassa dos *P. deltoides*, o que representa 215% do nitrogênio total e 615% do fósforo total aplicados.

Guo & Sims (2000) avaliando plantios de *E. ovata*, sob irrigação de efluente de abatedouro, por 3 anos, constataram que o efluente promoveu maior crescimento em comparação com os indivíduos não irrigados. De acordo com os autores, isto confirma que a disposição dos efluentes em plantio de eucalipto é uma boa escolha para o pós tratamento destes resíduos.

Stape et al. (2004) investigaram a ecologia da produção de uma floresta jovem (de 3 a 5 anos), plantada com híbrido clonal *E. grandis* x *E. urophylla*. Foram avaliadas a produção de madeira e uso da água estimada (água transpirada) em sequeiro e áreas irrigadas. Os autores observaram que o provimento de água foi o limitante do crescimento das plantas. A irrigação ocasionou aumento de 52% na biomassa. A eficiência do uso da água (produção de madeira por m^3 de água transpirada) teve aumento com a irrigação, de 18% no ano com maior pluviosidade e 75% no ano normal.

Pelissari et al. (2009) avaliando os efeitos da utilização de lodo têxtil e adubação e irrigação com água residuária da suinocultura na produção de mudas de *E. grandis* concluíram que a aplicação de água residuária da suinocultura promoveu os melhores resultados de crescimento, tanto em diâmetro quanto em altura das mudas, antecipando em 30 dias o ciclo de produção das mudas.

Marinho et al. (2014) avaliaram o efeito da irrigação de floresta de eucalipto com efluente tratado, proveniente de lagoa facultativa. Os autores constataram um incremento de 82,9% na produtividade em comparação com o cultivo tradicional, além disso, o diâmetro à altura do peito e a altura total das plantas também foram maiores. Os autores apontam que a utilização de águas residuárias na irrigação de florestas, além de aumentar a produção, evita a introdução de nutrientes em cursos de água.

Lopes et al. (2014) avaliaram equações para volume de madeira, com base no diâmetro do caule de dois híbridos de eucalipto em desenvolvimento inicial, sob irrigação e sem irrigação. Os melhores modelos de estimativa do volume de madeira de plantas jovens

foram os de Brenac, Exponencial e Holhenald e Krenn. A equação de Brenac apresenta maior precisão para estimar o volume de madeira em função do diâmetro a 5 cm de altura do solo com precisão acima de 99% para as plantas até 12 meses de idade, independente do uso da irrigação

Minhas et al.(2015) avaliaram os padrões de crescimento, a produção de biomassa, durante uma rotação de *Eucalyptus tereticornis*, em 10 anos, em densidades de plantio variáveis, avaliando os efeitos da disposição de esgoto doméstico e de águas subterrâneas de boa qualidade. Constataram que nas áreas irrigadas, houve crescimento mais rápido dos indivíduos, com volumes totais de 164,0 e 127,1 m³ ha⁻¹ com esgoto e água, respectivamente.

Hubbard et al. (2010) avaliaram durante um ano, clones de *E grandis* e *urophylla*. Em condições de sequeiro e irrigados, em sítios com diferentes produtividades; foram avaliados o fluxo de seiva, além de alterações no crescimento, eficiência no uso da água e área foliar. As áreas irrigadas, apresentaram maior área de alburno, índice de área foliar e transpiração por unidade de área foliar, mas não houve diferença na resposta da condutância do dossel com déficit de saturação do ar entre os tratamentos. A eficiência do uso da água não foi influenciada pela irrigação e foi semelhante ao tratamento de sequeiro.

Silva; Moraes; Cechin (2014) avaliara o efeito da aplicação de águas residuais municipais tratadas sobre o crescimento e as trocas gasosas em plantas de eucalipto cultivadas em estufa, sob irrigação contínua. Os autores observaram que a irrigação com águas residuária resultou em uma redução de matéria seca total por planta e a relação e aumento da massa foliar específica, independentemente da diluição. As características de trocas gasosas foram negativamente afetadas pela irrigação com água residuária, assim como as taxas fotossintéticas. A concentração de clorofila e carotenoides foram reduzidos nas plantas cultivadas com águas residuárias tratadas. Assim, os resultados apontaram que apenas a fertilização com água residuária não provém os nutrientes necessários para a cultura e que a suplementação com fertilizantes minerais se faz necessária neste caso.

Minhas et al. (2015) observaram que fluxo de seiva quase coincidiu com taxas de crescimento e aumentou até sexto ano de plantio e foi estabilizado depois. Os valores anuais de fluxo de seiva variaram entre 418-473, 1373-1417 e 1567-1628 mm, entre o 7º e o 10º ano de plantio, os autores constataram que houve aumento de 11% na eficiência do uso da água dos indivíduos que foram irrigados com esgoto. Além disso, como houve melhoria na qualidade do solo, também houve incremento na absorção de carbono.

3.4 Irrigação com efluente

A irrigação localizada é altamente recomendada para a aplicação de efluentes no solo, pois se trata de um método seguro, tanto para os trabalhadores, como para o ambiente, devido à sua elevada eficiência de aplicação (BATISTA et al., 2009).

Porém, embora os sistemas de irrigação por gotejamento tenham alcançado um alto nível tecnológico, esses sistemas muitas vezes não são capazes de entregar todas as suas vantagens nominais, principalmente em função dos entupimentos de emissores, considerado o maior problema de manutenção com sistemas de gotejamento. Na verdade, a obstrução parcial ou completa reduz uniformidade de emissão e, como consequência, diminui a eficiência da irrigação e aumenta o volume de água necessário para o cultivo de culturas. Em muitos casos, para assegurar plantas irrigadas do volume de água necessário, é necessário contabilizar a perda de água, aumentando a lâmina de irrigação, que pode elevar os custos de água e energia e a perda por lixiviação de fertilizantes (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

Batista et al., (2005) identificaram os principais fatores causadores de entupimento em gotejadores tipo fita, quando utilizados para a aplicação de água residuária bruta da despolpa dos frutos do cafeeiro. Utilizaram, para tanto, gotejadores espaçados a cada 0,3 m. Com a aplicação de água residuária, houve redução de 100% no CUD após 36 horas e, com a aplicação da água residuária filtrada essa redução ocorreu após 144 horas de funcionamento do sistema. A utilização do filtro orgânico retardou o entupimento dos gotejadores, porém, não preveniu o desenvolvimento do filme biológico na tubulação e junto aos emissores.

Batista; Oliveira; Santos, (2013) avaliaram o efeito de diferentes manejos de água residuária de suinocultura e de água de abastecimento na obstrução de emissores e na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. Os resultados obtidos indicaram que na água residuária de suinocultura as características sólidos suspensos, ferro total e população bacteriana, representaram risco severo de entupimento de gotejadores e que houve redução elevada da uniformidade de aplicação de efluente quando o tempo de aplicação de água residuária foi igual ou superior ao da água de abastecimento.

Em experimento laboratorial, Liu & Huang (2009) avaliaram, utilizando esgoto doméstico tratado, o desempenho de três tipos de emissores comumente usados para a aplicação de água, sendo eles: de labirinto em linha com um fluxo turbulento e com fluxo laminar, e o tipo de pressão-compensante. Os resultados mostraram que todos os índices foram afetados pela qualidade da água, tipo de emissor e tempo de operação. Os valores de coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) e coeficiente de uniformidade de Christiansen

(CUC) para o tratamento com efluente foram menores do que com água. Os autores concluíram que a precipitação química foi a principal razão para o entupimento dos emissores, devido ao pH elevado e a concentração dos íons. O emissor do tipo pressão-compensante mostrou melhor desempenho na função antientupimento, quando comparado aos outros.

Hermes et al. (2015) avaliaram o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento com aplicação de água limpa e água residuária do processamento de mandioca, pela da determinação do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o índice de capacidade do processo (CPL). Os autores observaram que os tratamentos com efluentes apresentaram médias de vazão próximas às obtidas com o uso de água limpa. O CUD foi avaliado como excelente para 3 dos 4 tratamentos aplicados, sendo que o 2º tratamento utilizando água residuária foi considerado bom. Assim, com base nesta técnica, foi possível verificar que o sistema é capaz de manter níveis adequados de uniformidade.

Morais (2017) avaliou a uniformidade da irrigação por gotejamento, utilizando efluente de abatedouro de aves em uma área florestal, testando taxas de irrigação de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹dia⁻¹. O autor observou CUC, CUD e CUE superiores a 90%, e considerados excelentes, sendo que as distribuições apresentaram maior coeficiente de uniformidade para a maior taxa testada, o que foi atribuído, de acordo com o autor, à maior pressão de operação neste tratamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área experimental e informações da indústria

O experimento foi instalado nas áreas de reflorestamento de uma unidade industrial de abate de aves (UIA), no município de Matelândia, no Paraná, nas coordenadas geográficas aproximadas de latitude 25° 12,1577'S e longitude 53° 57,1925'W. A área de estudos encontra-se no divisor de águas entre a bacia do Paraná III e a bacia do Iguaçu, nas microbacias do rio Sabiá e do rio Xaxim, inserida no bioma Mata Atlântica e o clima, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, é Cfa, clima subtropical úmido. A pluviosidade média anual na região é de 1862 mm. O solo é classificado como Latossolo vermelho com textura argilosa.

A UIA abate e processa 350 mil aves por dia. Os principais produtos da unidade são cortes de carne de frango congelados. O planejamento estratégico da empresa prevê a expansão para o abate de 530 mil aves por dia, nos próximos anos.

O processo de industrialização se inicia no transporte das aves até a unidade, onde, na recepção passam por uma fase de aclimatação, com pulverização de água nas gaiolas, ainda nos caminhões. Após o descarregamento, os animais são pendurados pelos pés em ganchos e insensibilizados com descarga elétrica para o abate. Passam pela sangria e escaldagem para higienização e preparação para a depenagem, que é feita com o auxílio de depenadeiras automatizadas. Após, são retiradas as vísceras, que são separadas em comestíveis (coração, fígado e moela) e não comestíveis (pulmões, intestino etc). A carcaça segue para a sala de cortes e em seguida para a classificação. As vísceras comestíveis e cortes de carne, são congelados, paletizados, estocados e expedidos. A produção industrial opera em 3 turnos, das 6 às 15 horas, das 15 às 24 horas e das 0 às 6 horas, em 6 dias por semana.

Com a produção atual, são gerados aproximadamente 7500 m³ de efluentes por dia, cerca de 23 L de efluente por ave abatida. Estes efluentes são tratados em três etapas. Na primeira, são separados os sólidos grosseiros, como ossos, vísceras e carcaças rejeitadas, em peneiras rotativas (tratamento preliminar).

Na segunda etapa, o tratamento primário, há a remoção de sólidos suspensos e óleos e graxas pelo flutador de ar dissolvido (FAD). Os sólidos são utilizados para a produção de farinha para *petfood*. O óleo separado neste processo é destinado para a

produção de biodiesel.

Na terceira etapa, no tratamento biológico, o efluente segue para três lagoas anaeróbias sequenciais, um reator aerado com decantadores secundários, que constituem o sistema de lodo ativado. Na sequência, o efluente passa por quatro lagoas indicadoras. Nestas lagoas o efluente tratado é armazenado para a disposição nas áreas de reflorestamento da unidade.

O sistema completo de tratamento dos efluentes e disposição nas áreas de reflorestamento é apresentado na Figura 2.

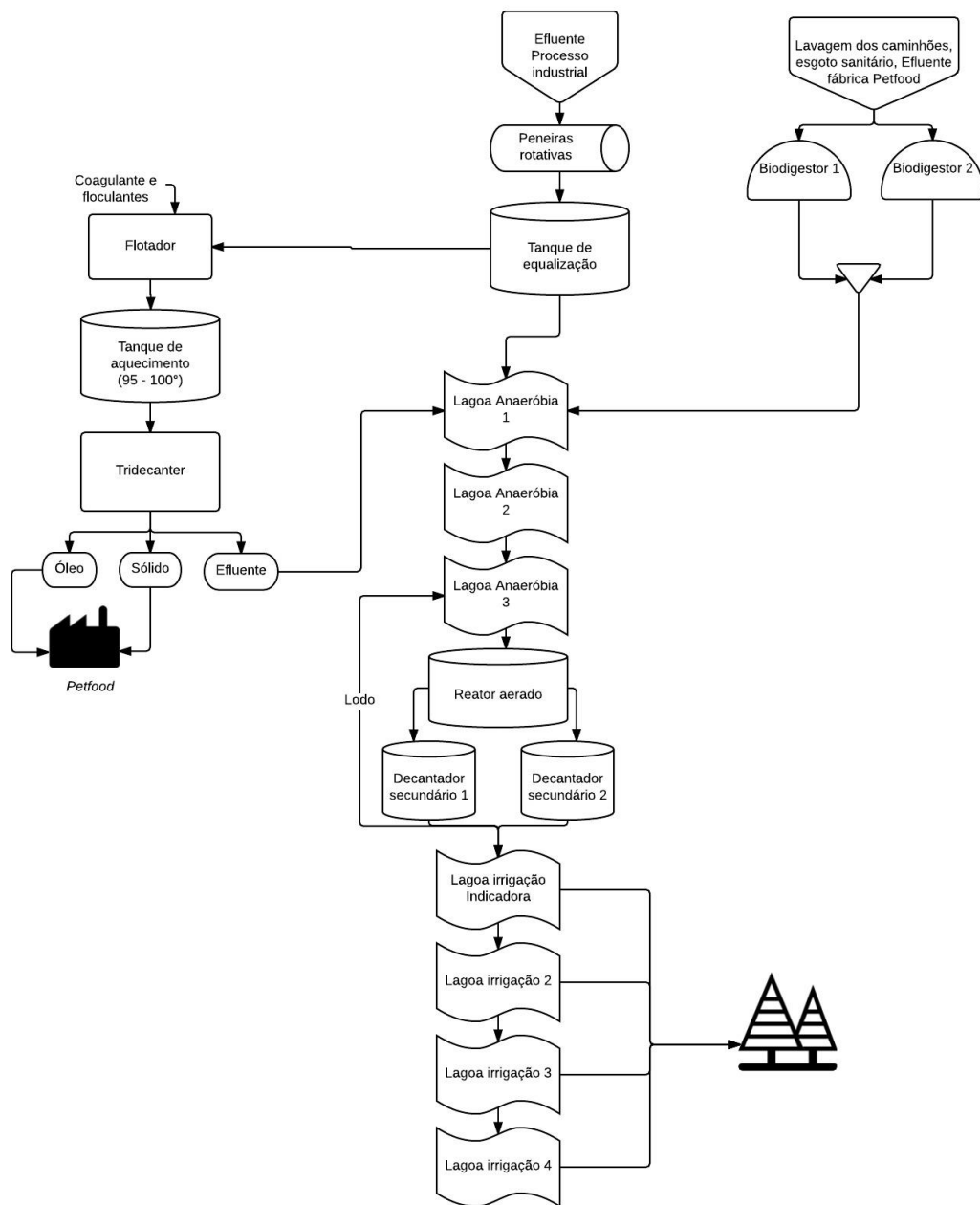


Figura 1 Fluxograma do sistema de tratamento e disposição de efluentes da unidade industrial de aves - UIA.

Os efluentes da fábrica de *petfood* e também provenientes das lavagens dos caminhões que transportam as aves, são tratados previamente em dois biodigestores paralelos e incorporados aos efluentes do abatedouro, nas lagoas anaeróbias.

O efluente tratado é disposto nas áreas de reflorestamento da unidade, tanto por bombeamento para cotas mais altas, como por gravidade para as cotas mais baixas. A UIA possui uma área de reflorestamento de 725,5 ha. Essas áreas atendem à disposição do efluente tratado atualmente e também podem atender às expansões previstas pela empresa.

Atualmente a empresa aplica $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, definidos com base nos ensaios de infiltração de água no solo realizados em 2013. Nestes ensaios, foi utilizado um infiltrômetro de anéis, segundo a metodologia descrita por Bernardo et al (2006). A velocidade de infiltração básica obtida foi de 109 mm h^{-1} , considerada alta segundo o autor.

As florestas formadas nestas áreas têm idades entre 0 e 12 anos e as espécies utilizadas são *Eucalyptus grandis* e *E. citriodora* provenientes de sementes, *E. urophylla* e *E. urograndis*, oriundos de mudas clonais.

4.1.1 Caracterização do efluente

O efluente aplicado no solo foi coletado mensalmente, a partir de agosto de 2016, na Lagoa de Irrigação Indicadora 01 e caracterizado em função das suas características físico-químicas. Na Tabela 2 são apresentadas as características médias deste efluente.

Tabela 2 Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicas do efluente tratado da UIA, bem como as taxas aplicadas a cada tratamento destes parâmetros.

| Parâmetro | Média | Taxa de aplicação ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) | | |
|------------------------|--|--|-------|-------|
| | | T1 | T2 | T3 |
| pH | $7,0 \pm 0,1$ | - | - | - |
| Condutividade elétrica | $0,9 \pm 0,06$ (dS cm^{-1}) | - | - | - |
| SST | $72,1 \pm 11,6$ (mg L^{-1}) | 7,21 | 14,42 | 21,63 |
| NTK | $48,7 \pm 11,5$ (mg L^{-1}) | 4,87 | 9,74 | 14,61 |
| Fósforo total | $20,2 \pm 5,5$ (mg L^{-1}) | 2,02 | 4,05 | 6,08 |
| DBO | $32,9 \pm 10,4$ (mg L^{-1}) | 3,29 | 6,58 | 9,88 |
| DQO | $80,9 \pm 14,7$ (mg L^{-1}) | 8,09 | 16,19 | 24,28 |
| Óleos e graxas | $6,3 \pm 1,9$ (mg L^{-1}) | 0,63 | 1,26 | 1,89 |

Nota¹: Potencial Hidrogeniônico: pH; Sólidos suspensos totais: SST; Demanda química de oxigênio: DQO; Demanda bioquímica de oxigênio: DBO

4.2 Instalação do experimento

As parcelas experimentais foram instaladas em frente à UIA, em um talhão de aproximadamente 98 ha. A área foi plantada com mudas de *Eucalyptus Urophylla*, clone AEC422, com espaçamento planejado de 2 m entre plantas e 3 m entre linhas. O plantio foi realizado em julho de 2015 e está atualmente com 13 meses. Realizou-se o plantio em paralelamente às curvas de nível e alocou-se todas as parcelas em uma mesma curva, com intuito de evitar os efeitos da declividade sobre os tratamentos.

Foram demarcadas e georreferenciadas a campo, 16 parcelas (Figura 2). As áreas das parcelas variam de 264 m² à 392 m², sendo a área média das parcelas 296,8 m² e a área total das parcelas 4.749 m². As variações das áreas ocorrem em função do plantio em curva de nível e também em função da qualidade da operação silvicultural. As parcelas foram delimitadas considerando-se 6 linhas por 9 árvores, portanto, cada uma delas com 54 indivíduos, a parcela útil, visando minimizar os efeitos de bordadura, contemplaram 28 indivíduos.

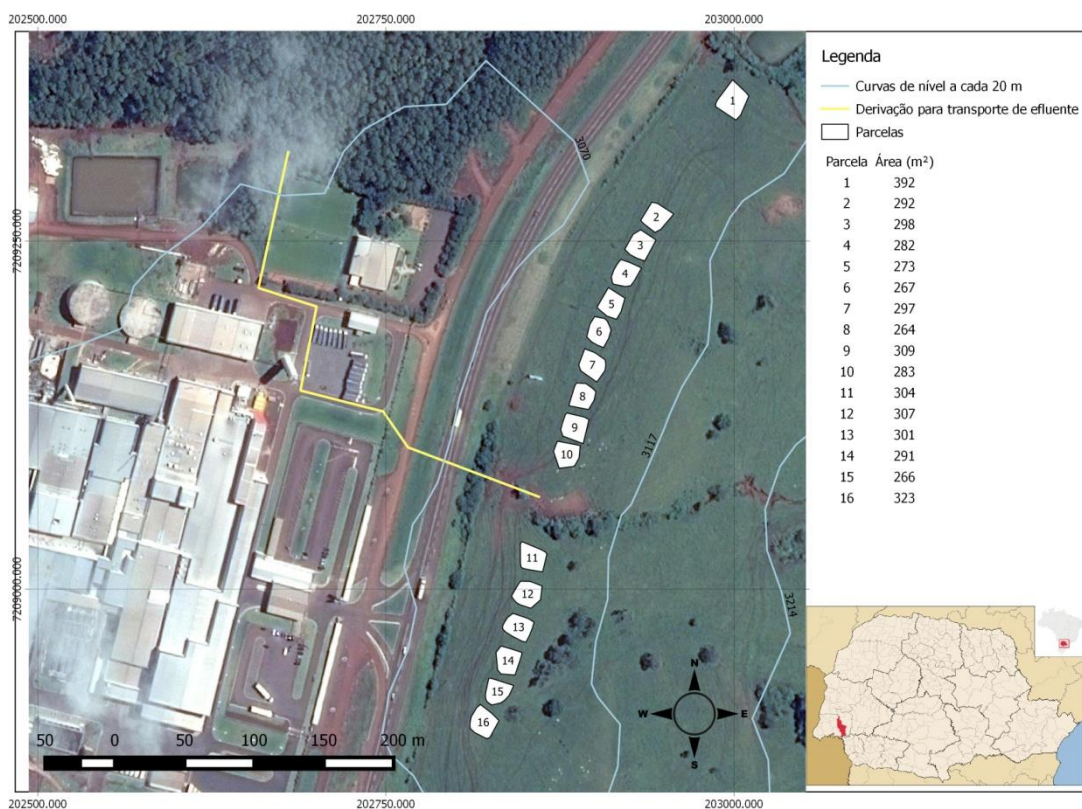


Figura 2 Área de estudo e alocação das parcelas e suas respectivas áreas em m².

Foram aplicadas às parcelas, quatro tratamentos, com quatro repetições cada, sendo um deles testemunha sem aplicação de efluente, e os outros 3, com diferentes taxas de

aplicação de efluente tratado. Os tratamentos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Tratamentos aplicados às parcelas experimentais, e lâminas de água diárias e anuais.

| Tratamento | Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) | Lâmina aplicada ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$) | Lâmina acumulada ($\text{mm} \cdot \text{ano}^{-1}$) |
|------------|--|--|---|
| T0 | 0 | 0 | 0 |
| T1 | 100 | 10 | 3.650 |
| T2 | 200 | 20 | 7.300 |
| T3 | 300 | 30 | 10.950 |

Foram instalados nas parcelas irrigadas, sistemas independentes de irrigação por gotejamento. Os tratamentos foram sorteados inteiramente ao acaso, nas 16 parcelas. As taxas de irrigação foram definidas com base na taxa nominal homologada pelo órgão ambiental, de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (tratamento T1), que já vem sendo praticado pela empresa, o dobro da taxa nominal (tratamento T2) e o triplo (tratamento T3), conforme demandas de pesquisa da Cooperativa.

Na Figura 3 são apresentadas as precipitações mensais durante o período de condução do experimento, bem como as taxas de irrigação praticadas e as taxas totais para cada tratamento, resultantes do somatório entre as taxas aplicadas e a precipitação.

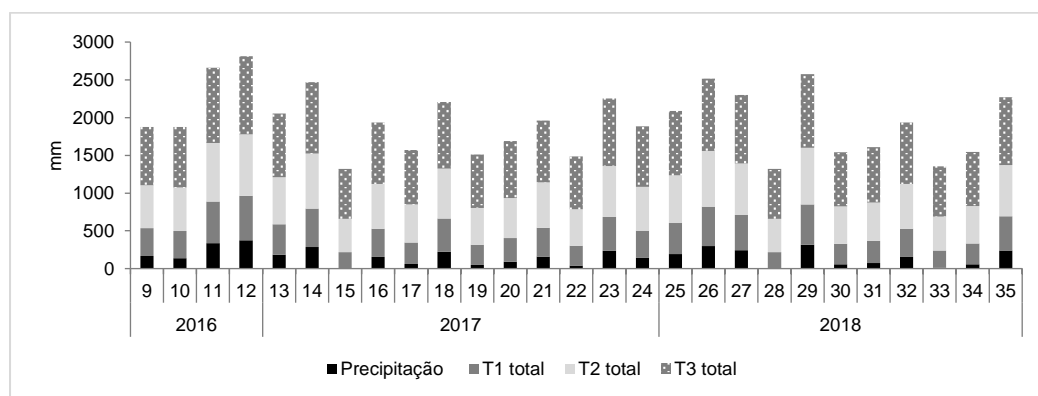


Figura 3 Precipitação mensal ao longo do experimento, considerando dados da estação pluviométrica de Matelândia, PR (código 2554005)

4.2.1 Sistema de irrigação

A derivação da linha de alimentação da fertirrigação, que foi utilizado para conduzir o efluente às parcelas, foi composta por uma motobomba centrífuga com motor de 25 cv de potência e capacidade de recalque de $50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, dois registros do tipo gaveta, de bronze de três polegadas (3") instalados depois do sistema de recalque para regulagem da vazão,

aproximadamente 400 m de mangueiras de polietileno de 3" para o recalque do efluente tratado até a área experimental e 2 filtros de disco para remoção de sólidos suspensos com capacidade de filtragem de 120 Mesh (Figura 4 - A).

As pressões de trabalho de cada área experimental foram definidas em função das especificações do gotejador e aferidas por manômetros e registros tipo gaveta. O volume de efluente aplicado será monitorado por hidrômetros instalados em cada parcela (Figura 4 – B).

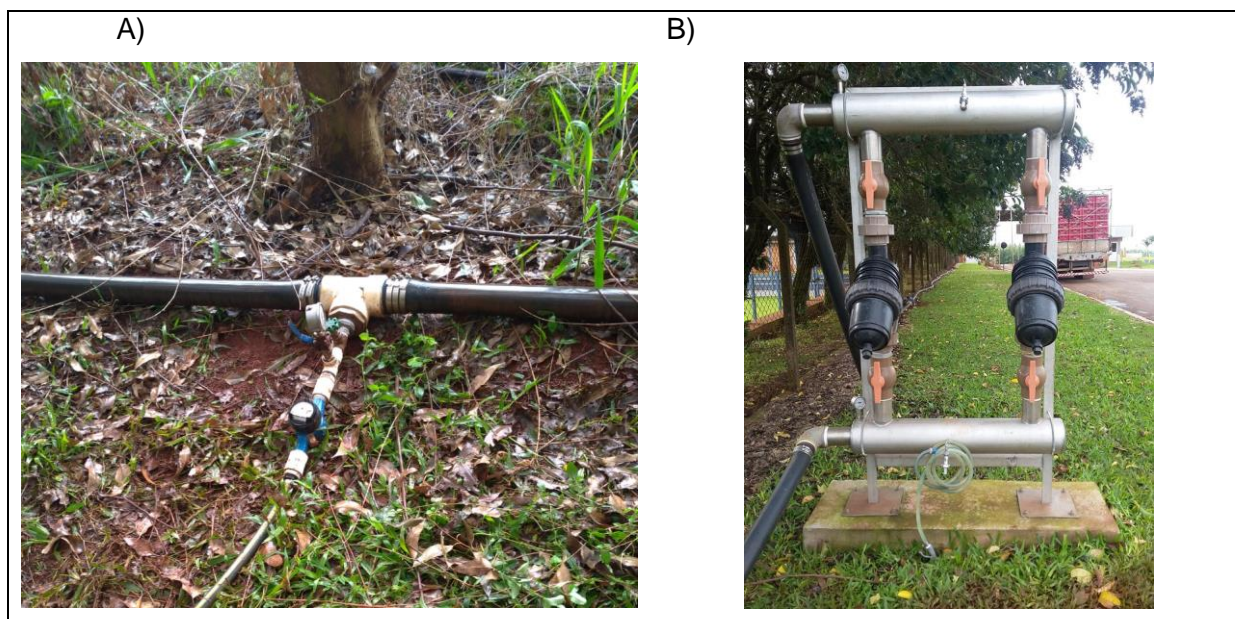


Figura 4 Sistema de monitoramento da irrigação da parcela, composto por hidrômetro, manômetro e registro (A) e sistema para filtragem do efluente, com dois filtros de discos operando em paralelo (B)

Nas parcelas, o sistema de irrigação é composto por um ramal principal de tubos de polietileno de 2" e 6 linhas de tubos gotejadores de $\frac{3}{4}$ ". Os controles de vazão de irrigação em cada parcela serão feitos com registros de gaveta em bronze, de 2". A volume aplicado será monitorado por hidrômetros e a pressão de operação com manômetros, com escala de 0 a 2 bar, instalados no início e no fim das linhas de irrigação de cada parcela.

Na Figura 5, é apresentado o diagrama do sistema de fertirrigação para transporte e aplicação do efluente.

Utilizaram-se mangueiras gotejadoras de polietileno, com diâmetro interno de $\frac{3}{4}$ " e espaçamento entre gotejadores de 0,5 m. A vazão de cada gotejador é de $3,2 \text{ L h}^{-1}$ sob uma pressão de trabalho de 0,7 bar. A pressão máxima de operação é de 0,8 bar. As mangueiras gotejadoras foram instaladas há aproximadamente 0,10 m de do colo das árvores.

O sistema de irrigação foi acionado de forma manual diariamente. No término de cada dia de operação, os dois filtros de discos foram lavados com água corrente, com objetivo eliminar os sólidos suspensos retidos. Semanalmente foi efetuada a limpeza das

mangueiras gotejadoras, liberando-se o fluxo nos finais de curso das mangueiras.

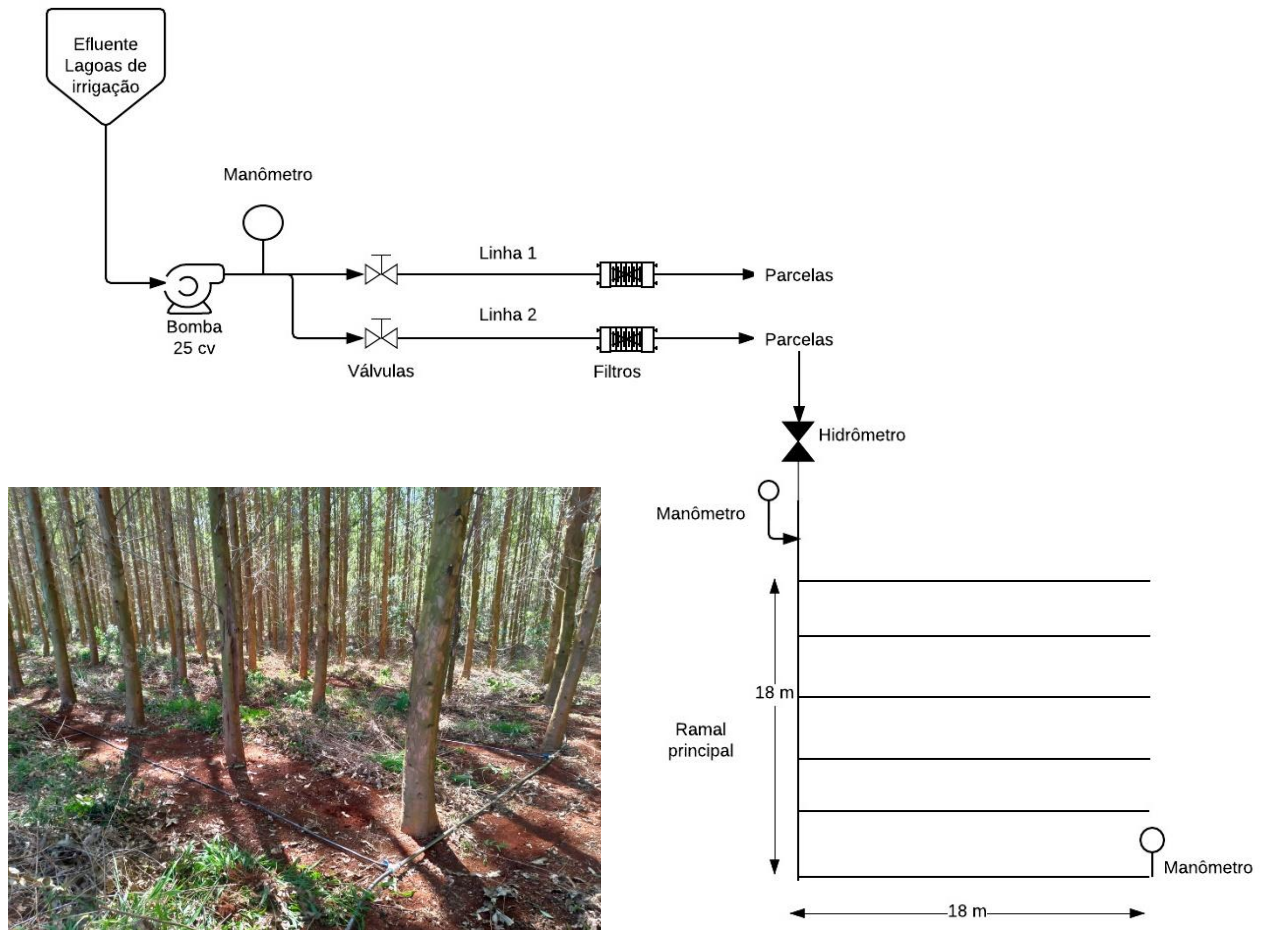


Figura 5 Croqui dos sistemas de irrigação nas parcelas e foto de uma das parcelas irrigadas.

4.3 Coleta e análise de dados

4.3.1 Solo - Amostragem e análise

As amostras de solo para a avaliação de fertilidade foram coletadas na camada de 0 a 0,2 m de profundidade, em 5 ocasiões. A primeira coleta, foi realizada previamente à implantação florestal, para avaliação do terreno, nesta ocasião foram coletadas 30 amostras de solo no talhão. Esta coleta teve por finalidade a orientação de escolha da espécie e clone a ser implantado, bem como o preparo do solo.

A segunda amostragem, foi realizada previamente ao início da irrigação, aos 18 meses de idade da floresta o objetivo era caracterizar a área experimental e obter valores de

referência para comparativos entre os efeitos dos tratamentos, futuramente. As terceira e quarta coletas, foram realizadas ao 6º e 15º meses de irrigação (24 e 33 meses de idade da floresta, respectivamente) e tiveram como objetivo o acompanhamento da evolução dos efeitos dos tratamentos sobre o solo. Por fim, a quinta amostragem foi realizada após 24 meses de irrigação, aos 34 meses de idade da floresta. Foram coletadas 5 amostras por parcela, compostas de 6 subamostras. No total foram coletadas 80 amostras de solo em cada amostragem.

Nestas amostras, foram avaliados parâmetros de fertilidade do solo como P, K, Fe, Cu, Zn, Mn (extrator Melich) pH em CaCl_2 , H+Al (pH 7,5), Al, Ca, Mg (extrator KCl 1 mol L⁻¹), capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação de bases (EMBRAPA, 2018). (EMBRAPA, 2018). As análises de fertilidade do solo e texturais foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental da Unioeste, Campus de Marechal Cândido Rondon, assim como as análises de textura do solo.

4.3.2 Floresta – Inventário e modelagem

As árvores foram mensuradas aos 18 meses de idade, antes do início da irrigação e aos 43 meses, no final do experimento. Foram medidas as circunferências à altura do peito (CAP) de todas as árvores das parcelas, utilizando, para tanto, um fita métrica, além das alturas totais, utilizando o hipsômetro *Blume-Leiss*, com resolução de 0,1m e $\pm 0,1^\circ$.

Com base nos dados coletados, foram calculados para os indivíduos, o diâmetro à altura do peito (DAP, 1,30 m) e a área basal individual (g) (MACHADO, 2003). A partir destes dados foi possível ajustar coeficientes para equações hipsométricas, por meio de regressão, utilizando, para tanto, os modelos apresentados na Tabela 4.

Foram testados 16 modelos hipsométricos clássicos propostos por diversos autores e difundidos amplamente na literatura (BARROS et al., 2002; DE RETSLAFF et al., 2015; MACHADO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2015; RIBEIRO et al., 2010; SANQUETTA et al., 2015; SOUZA; SANTOS; SOUZA, 2017; TÊO et al., 2017)

Para a avaliação da qualidade dos ajustes, utilizou-se como critérios o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.}$), além do erro padrão. Este coeficiente é amplamente difundido para a avaliação de modelos dendrométricos, já que, diferente do R^2 , não necessariamente aumenta com a introdução de variáveis explicativas, permitindo a comparação entre modelos com diferente número de variáveis (QUININO E BESSEGATO, 1991).

As equações foram comparadas entre modelos de mesma natureza: aritméticas e logarítmicas, baseado nos critérios estatísticos e em seguida utilizou-se a análise gráfica da dispersão dos resíduos para identificação de tendências da distribuição dos erros padrão da estimativa em torno da média zero, conforme recomendado por Machado et al., (1994).

Para avaliação volumétrica e de crescimento da floresta, foram avaliados nove modelos clássicos para ajustes de curvas volumétricas (SCOLFORO & THIERSCH, 2004; MACHADO; URBANO; CONCEIÇÃO, 2005; MACHADO et al., 2008b; MACHADO et al., 2008c), apresentados na Tabela 5.

Para tanto, aos 43 meses de idade da floresta, foram abatidas e cubadas, rigorosamente, pelo método de Samllian, 80 indivíduos, distribuídos entre os tratamentos, cujas circunferências foram medidas a 0,1 m, 1,3 m, 3,3 m e assim sucessivamente de 2 em 2 m até a última secção do fuste de cada árvore (MACHADO & FIGUEIREDO, 2003). As medições de circunferências foram realizadas com fita métrica e das alturas com trena. Os modelos foram testados e os critérios adotados para avaliar a qualidade do ajuste serão foram os mesmos utilizados para os modelos hipsométricos.

Tabela 4 Modelos clássicos para ajustes de equação hipsométrica

| Modelos aritméticos | | | | | |
|----------------------|--------------|---|----|-------------|--|
| 1 | Linear | $h = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$ | 7 | Nalüüd | $\sqrt{\frac{d^2}{h - 1,3}} = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$ |
| 2 | Petterson | $\frac{1}{h} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$ | 8 | Hiperbólico | $\frac{d}{\sqrt{h}} = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$ |
| 3 | Petterson' | $\frac{1}{\sqrt[3]{h - 1,3}} = \beta_0 + \beta_1 d + \varepsilon$ | 9 | Trorey | $h = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$ |
| 4 | Henriksen | $h = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \varepsilon$ | 10 | Prodan | $\frac{d^2}{h - 1,3} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$ |
| 5 | Assman | $h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d^2} + \varepsilon$ | 11 | Prodan' | $\frac{d^2}{h} = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$ |
| 6 | Curtis | $h = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$ | | | |
| Modelos logarítmicos | | | | | |
| 12 | Pollanschutz | $\ln(h - 1,3) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$ | 15 | Petterson'' | $\sqrt[3]{\frac{1}{\ln(h)}} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$ |
| 13 | Stoffels | $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$ | 16 | Silva | $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \frac{1}{d} + \varepsilon$ |
| 14 | Curtis' | $\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{d} + \varepsilon$ | | | |

Em que: h = altura total da árvore (m); d = diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm); ε = erro associado ao modelo; $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ = coeficientes a serem estimados; Ln=Logaritmo neperiano.

Tabela 5 Modelos clássicos para ajuste de equações volumétricas

| Simples entrada | | Dupla entrada | |
|-----------------|---|---------------|---|
| 1 | Kopezky-Gehhardt $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \varepsilon$ | 6 | Schumacher-Hall $\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \ln(h) + \varepsilon$ |
| 2 | Dissescu-Meyer $v = \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$ | 7 | Ogaya $v = d^2(\beta_0 + \beta_1 h) + \varepsilon$ |
| 3 | Hohenadl-Krenm $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \varepsilon$ | 8 | Meyer $v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 dh + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h + \varepsilon$ |
| 4 | Hush $\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \varepsilon$ | 9 | Spurr $v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h + \varepsilon$ |
| 5 | Brenac $\ln(v) = \beta_0 + \beta_1 \ln(d) + \beta_2 \frac{1}{d} + \varepsilon$ | | |

Em que: h_5 = altura total da árvore (m); v = volume total da árvore (m^3); d = diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm); h_d = altura dominante média de 100 árvores ha^{-1} de maior d , (m); ε = erro associado ao modelo; $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ = coeficientes a serem estimados; Ln=Logaritmo neperiano.

4.4 Integração e análise dos dados

Feitas as avaliações em relação aos parâmetros de solo, planta e irrigação, as informações foram analisadas de forma integrada, utilizando, estatística exploratória, comparação de médias univariada de Tukey e Dunnett a 5% de significância, e técnicas as análises multivariadas de componentes principais e correlação canônica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação florestal

5.1.1 Ajuste de modelos hipsométricos para o clone AEC224 de *Eucalyptus urophylla* sobre Latossolo irrigado e não irrigado, na região Oeste do Paraná

Os padrões hipsométricos para uma mesma tipologia ou espécie florestal variam muito entre sítios e dentro de um mesmo sítio, sendo recomendado o ajuste dos modelos para uma população, por aspectos econômicos e também para que seja possível a comparação entre os indivíduos, ou parcelas de uma mesma população (SANQUETTA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011; BATISTA et al., 2014;). Neste contexto, para proceder o ajuste de modelos hipsométricos e volumétricos, foram cubadas rigorosamente pelo método Smallian, 80 árvores do povoamento, distribuídas entre os tratamentos e classes diamétrais de forma a representar a população. As avaliação de distribuição dos dados em relação às classes diamétricas, para diâmetros a altura do peito, e de altura, bem como a dispersão dos dados pela probabilidade normal, são apresentadas na Figura 6.

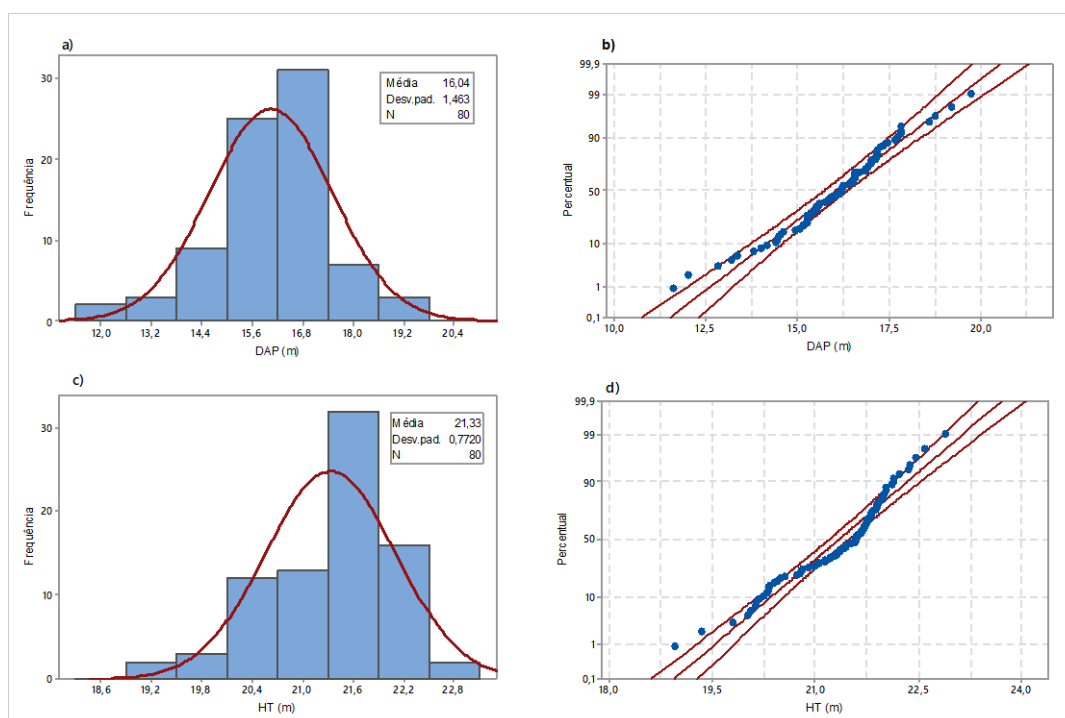


Figura 6 Histogramas dos dados e gráficos de probabilidade normal a 95% de probabilidade, para diâmetro à altura do peito (DAP), e altura total (H)

Dentre os 16 modelos testados, 11 são aritméticos e 5 deles logarítmicos, ajustados com seus coeficientes nas funções lineares. Os resultados destes ajustes, coeficientes e estatísticas de teste são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Coeficientes ajustados para os modelos testados, estatísticas de teste e Fator de correção de Meyer

| # | Modelo | b0 | b1 | b2 | R ² | R ² aj. | Sxy (m) | Sxy% | F | FM |
|----------------------|--------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------|--------------------|---------|-------|---------|----------|
| 1 | Assman | 23,66808** | -588,26** | | 0,385 | 0,377 | 0,609 | 2,857 | 48,82** | - |
| 2 | Curtis | 26,24569** | -78,33** | | 0,382 | 0,374 | 0,611 | 2,864 | 48,14** | - |
| 3 | Prodan' | 0,48040 ^{ns} | 0,11030 ^{ns} | 0,0381* | 0,380 | 0,364 | 0,616 | 2,887 | 23,61** | - |
| 4 | Prodan | 0,60158 ^{ns} | 0,11812 ^{ns} | 0,040 ^{ns} | 0,380 | 0,364 | 0,616 | 2,887 | 23,61** | - |
| 5 | Petterson' | 0,33734** | 0,49402** | | 0,379 | 0,371 | 0,612 | 2,871 | 47,60** | - |
| 6 | Hiperbólico | 0,39787** | 0,19166** | | 0,379 | 0,371 | 0,612 | 2,871 | 47,57** | - |
| 7 | Petterson | 0,19091** | 0,40985** | | 0,379 | 0,371 | 0,612 | 2,872 | 47,57** | - |
| 8 | Naslünd | 0,43786** | 0,19609** | | 0,379 | 0,371 | 0,612 | 2,871 | 47,53** | - |
| 9 | Henriksen | 7,21770** | 5,08937** | | 0,374 | 0,366 | 0,615 | 2,881 | 46,66** | - |
| 10 | Trorey | 9,43135 ^{ns} | 1,18215 ^{ns} | -0,027 ^{ns} | 0,379 | 0,363 | 0,616 | 2,890 | 23,47** | - |
| 11 | Linear | 16,1376 ^{ns} | 0,3230 ^{ns} | | 0,364 | 0,355 | 0,620 | 2,906 | 44,56** | - |
| Modelos Logarítmicos | | | | | | | | | | |
| 12 | Curtis' | 3,2945** | -3,7461** | | 0,380 | 0,372 | 0,612 | 2,868 | 47,81** | 1,000420 |
| 13 | Pollanschutz | 3,2471** | -3,9949** | | 0,380 | 0,372 | 0,612 | 2,887 | 47,79** | 1,000478 |
| 14 | Stoffels | 2,3857** | 0,2429** | | 0,372 | 0,364 | 0,616 | 2,887 | 46,19** | 1,000426 |
| 15 | Petterson'' | 0,6710** | 0,2837** | | 0,372 | 0,364 | 0,616 | 2,887 | 47,57** | 1,000002 |
| 16 | Silva | 4,44000* | -0,30740 ^{ns} | -8,416 ^{ns} | 0,372 | 0,364 | 0,616 | 2,886 | 46,19** | 1,000423 |

Nota: b0, b1 e b2 - coeficientes ajustados para cada modelo; R² - coeficiente de determinação; R²aj. - Coeficiente de determinação ajustado; Syx - Resíduos padrão; Syx% - Resíduos padrão percentuais; F - estatística de teste de Fisher-Snedecor; FM - Fator de correção de Meyer. * significativo a 5% de significância; ** significativo a 1% de significância; ns - Não significativo.

Considerando o teste F (Distribuição Fischer-Snedecor) para adequação dos modelos ajustados, todos podem ser considerados significativos a 5% de significância. Para os coeficientes, apresentaram-se significativos, a 5% de significância, os coeficientes dos modelos de Assman, Curtis, Petterson, Petterson', Hiperbólico, Naslünd e Henriksen. Dentre os modelos logarítmicos, os modelos de Curtis', Pollanschutz, Stoffels e Petterson'' foram apresentaram coeficientes significativos a 5% de significância. Os modelos de Prodan, Prodan', Trorey, Linear e Silva apresentaram um ou mais coeficientes não significativos.

Os coeficientes de determinação (R²) e coeficientes de determinação ajustados (R²aj.) apresentaram valores muito baixos, inferiores a 0,4, denotando uma fraca correlação entre o diâmetro à altura do peito e a altura total das árvores. Esta baixa correlação ocorre porque a relação entre a altura e diâmetros das árvores não é bem definida, tanto para espécies nativas quanto plantadas (CHAPMAN & MEYER, 1949). Além disso, de acordo com Machado et al. (1994), em geral, as curvas hipsométricas construídas para uma população podem ser influenciadas pela dispersão dos dados de altura em relação à amplitude da dispersão dos dados de diâmetro, ou seja, em um povoamento, indivíduos de vários diâmetros podem ter alturas iguais, ou muito semelhantes, resultando, portanto, em baixos R² e R²aj. e erros de estimativa (Syx e Syx%) altos. Entretanto, neste caso, embora os R²aj. tenham sido baixos, os Syx% também foram muito baixos, próximos a 3% para todos os modelos testados, variando, em média, muito pouco entre os modelos, de 2,857% para o

modelo de Assman até 2,906% para o Linear. Desta forma, mesmo com baixos coeficientes de correlação, os modelos podem ser considerados aceitáveis.

Os gráficos de dispersão dos $S_{yx}\%$ para as alturas estimadas (H') em função dos diâmetros a altura do peito (DAP) são apresentados na Figura 7. Foram excluídos desta análise os modelos de Prodan, Prodan', Trorey, Linear e Petterson'', que apresentaram um ou mais coeficientes não significativos.

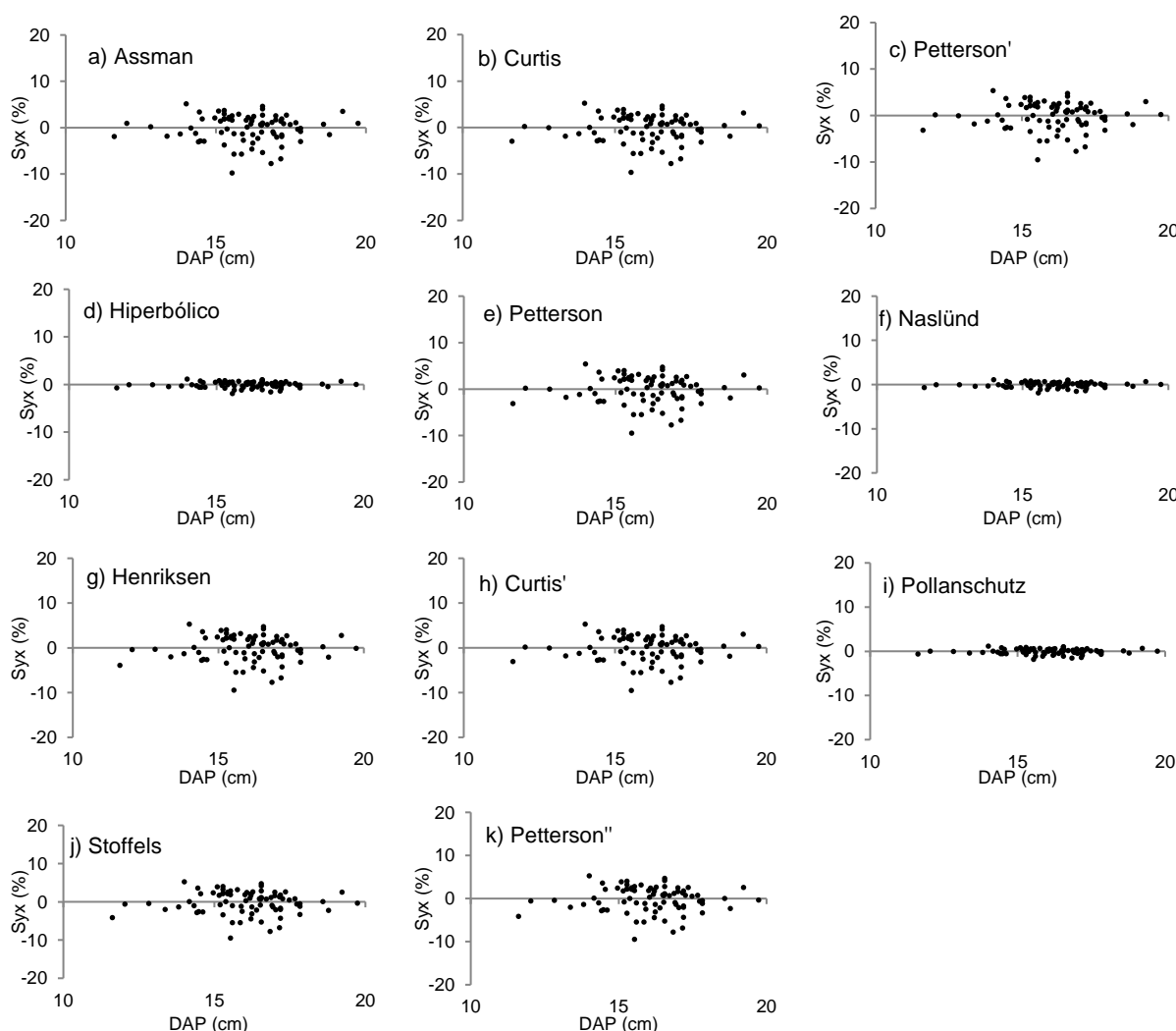


Figura 7 Dispersão dos resíduos padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) para os modelos ajustados.

Nota: $S_{yx}\%$ - Resíduos padrão percentuais; DAP – diâmetro à altura do peito

Embora os erros padrão médios tenham sido muito próximos, em torno de 3%, observa-se nos gráficos de dispersão de resíduos, que os modelos Hiperbólico (d) e de Naslund (f) foram os que obtiveram ajustes com erros mais próximos a zero dentre os modelos aritméticos. Dentre os modelos logarítmicos, o de Pollanschutz (i) apresentou menores erros quando comparados aos outros. De maneira geral, os erros máximos para todos os modelos testados não passaram de 10% da altura total. Porém, há que se observar

que os modelos de Assman (a), Curtis (b), Petterson' (c), Petterson (e), Henriksen, Curtis', Stoffels e Petterson" tendem a superestimar as alturas.

As curvas hipsométricas para os três modelos ajustados, com melhores resultados em relação à análise de dispersão dos resíduos são apresentadas na Figura 8.

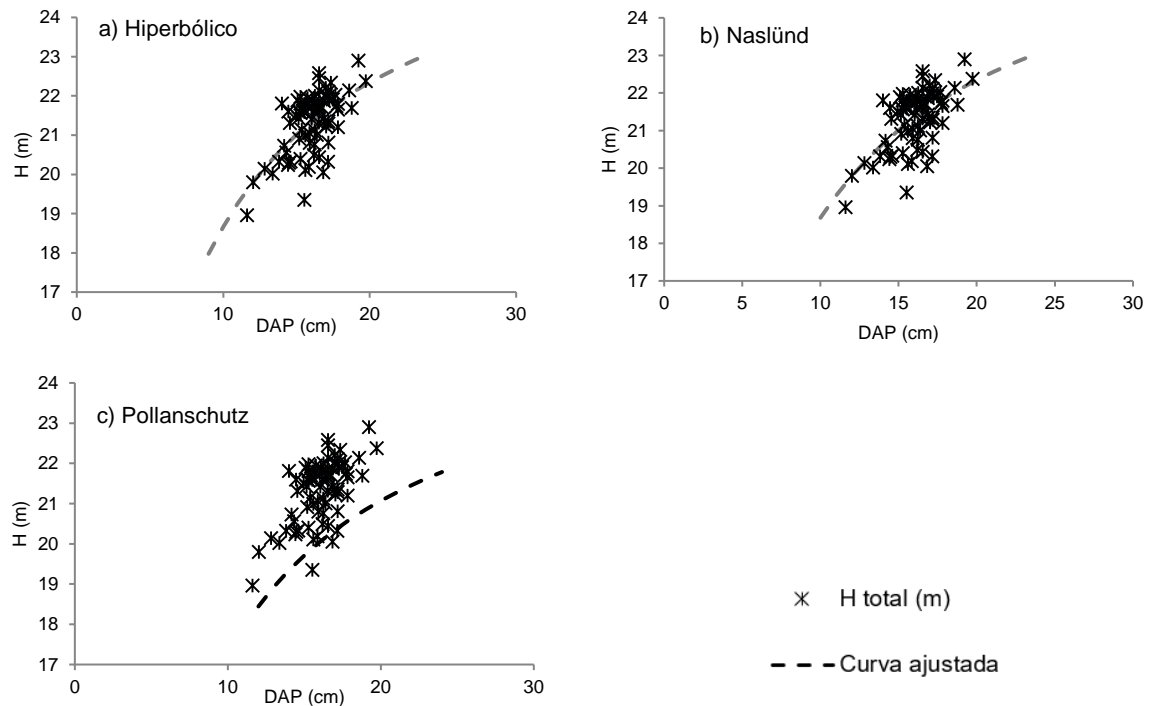


Figura 8 Curvas hipsométricas para os modelos Hiperbólico (a), Naslund (b) e Pollanschutz (c) e distribuição dos dados de altura por diâmetro medidos a campo.

Nota: DAP – diâmetro à altura do peito (cm), H – altura total (m)

As curvas dos modelos Hiperbólico (a) e Naslund (b) se conformam bem aos dados observados em toda a sua extensão, não apresentando discrepâncias muito acentuadas. Observa-se, ainda que as curvas hipsométricas são bastante íngremes, como se espera, de acordo com Machado et al. (2008), em povoamentos jovens para este espécie, ou então, crescendo em sítios de qualidade alta, como é o caso do povoamento em estudo. Nota-se que existe regressão entre altura total e DAP, pois ao aumentar o diâmetro, a tendência da altura também é aumentar, embora essa tendência seja fraca para a amplitude de dados coletados. Souza; Santos; Souza (2017) avaliando modelos para clone de *E. urophylla* também observou ajustes mais adequados para os modelos de Naslund e Hiperbólico, assim como Santos et al. (2014) para a mesma espécie e Moraes Neto et al., (2010) para *E. cloeziana* e *E. grandis*.

A curva hipsometria ajustada para o modelo de Pollanschutz apresentou-se pouco conformada aos dados, embora os erros das estimativas tenham sido baixos. Observa-se

que, por esta curva, há uma tendência a subestimar as alturas totais, nas classes diamétricas observadas.

Desta forma, pode-se considerar, dentre os 16 modelos testados, que os ajustes para os modelos Hiperbólico e de Naslünd são os mais adequados para descrever a relação entre diâmetro à altura do peito e altura total, para povoamentos jovens, equiâneos, de *E. urophylla*, clone AEC224, sobre latossolo, na região oeste do Paraná (sul do Brasil) já que apresentaram as melhores medidas de precisão de ajuste dos modelos hipsométricos e uma distribuição de resíduos aleatória e homogênea em torno da média zero.

5.1.2 Ajuste de modelos volumétricos para o clone AEC224 de *Eucalyptus urophylla* sobre Latossolo irrigado e não irrigado, na região Oeste do Paraná

Dentre os modelos volumétricos testados, cinco deles utilizam simples entrada, utilizando diâmetro à altura do peito e quatro deles com dupla entrada, utilizando dados de diâmetro à altura do peito e altura total. Os resultados destes ajustes, coeficientes e estatísticas de teste são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Coeficientes ajustados para os modelos testados, estatísticas de teste e Fator de correção de Meyer

| Modelo | b0 | b1 | b2 | b3 | b4 | b5 | R ² | R ² aj. | Syx | Syx% | F | FM |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------|--------------------|--------|-------|----------|--------|
| Dissescu-Meyer | | 0,0007** | 0,0007** | | | | 0,993 | 0,981 | 0,017 | 0,079 | 5890,4** | |
| Hush | -7,260** | 2,0338** | | | | | 0,807 | 0,840 | 0,017 | 0,079 | 326,6** | 1,0033 |
| Brenac | 1,701 ^{ns} | -0,3672 ^{ns} | -36,7192 ^{ns} | | | | 0,813 | 0,808 | 0,017 | 0,079 | 167,8** | 1,0032 |
| Kopezky-Gehhardt | 0,0045 ^{ns} | 0,0008** | | | | | 0,809 | 0,806 | 0,017 | 0,079 | 330,1** | |
| Hohenadl-Krenm | -0,1867 ^{ns} | 0,0243 ^{ns} | -1,16E-05 ^{ns} | | | | 0,814 | 0,805 | 0,017 | 0,078 | 168,3** | |
| Schumacher-Hall | -9,9815** | 1,7568** | 1,14039** | | | | 0,840 | 0,837 | 0,076 | 0,072 | 408,1** | 1,0028 |
| Meyer | -1,308 ^{ns} | 0,232 ^{ns} | -0,009 ^{ns} | -0,008 ^{ns} | 0,0003 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,847 | 0,837 | 0,015 | 0,070 | 82,0** | |
| Spurr | 0,0227** | 0,00003** | | | | | 0,836 | 0,834 | 0,016 | 0,079 | 398,5** | |
| Ogaya | 0,0002 ^{ns} | 0,00003** | | | | | 0,124 | 0,112 | 0,0002 | 2E-5 | 11,0** | |

Nota: b0, b1 e b2 - coeficientes ajustados para cada modelo; R² - coeficiente de determinação; R²aj. - Coeficiente de determinação ajustado; Syx - Resíduos padrão; Syx% - Resíduos padrão percentuais; F - estatística de teste de Fisher-Senecor; FM - Fator de correção de Meyer. * significativo a 5% de significância; ** significativo a 1% de significância; ns - Não significativo.

Embora todas as equações ajustadas seja consideradas significativas a 5% de significância pelo teste F de distribuição Fisher-Snedecor, algumas das equações apresentaram coeficientes não significativos, indicando que não há uma associação estatisticamente significativa entre a variável de resposta e o termo. O modelo que apresentou o melhor coeficiente de determinação ajustado (R²aj.) foi o de Dissescu-Meyer. Em relação aos resíduos padrão (Syx) e resíduos padrão percentual (Syx%), praticamente não houve diferença entre os modelos, com exceção do modelo de Ogaya, que apresentou resíduos mais baixos em relação às outras equações, embora tenha apresentado um de seus coeficientes ajustados não significativo.

Os gráficos de dispersão dos $Syx\%$ para os volumes estimados (V') em função dos diâmetros a altura do peito (DAP) são apresentados na Figura 9. Foram excluídos desta análise os modelos de Brenac, Kopezky-Gehhardt, Hohenadl-Krenm, Meyer e Ogaya, que apresentaram um ou mais coeficientes não significativos.

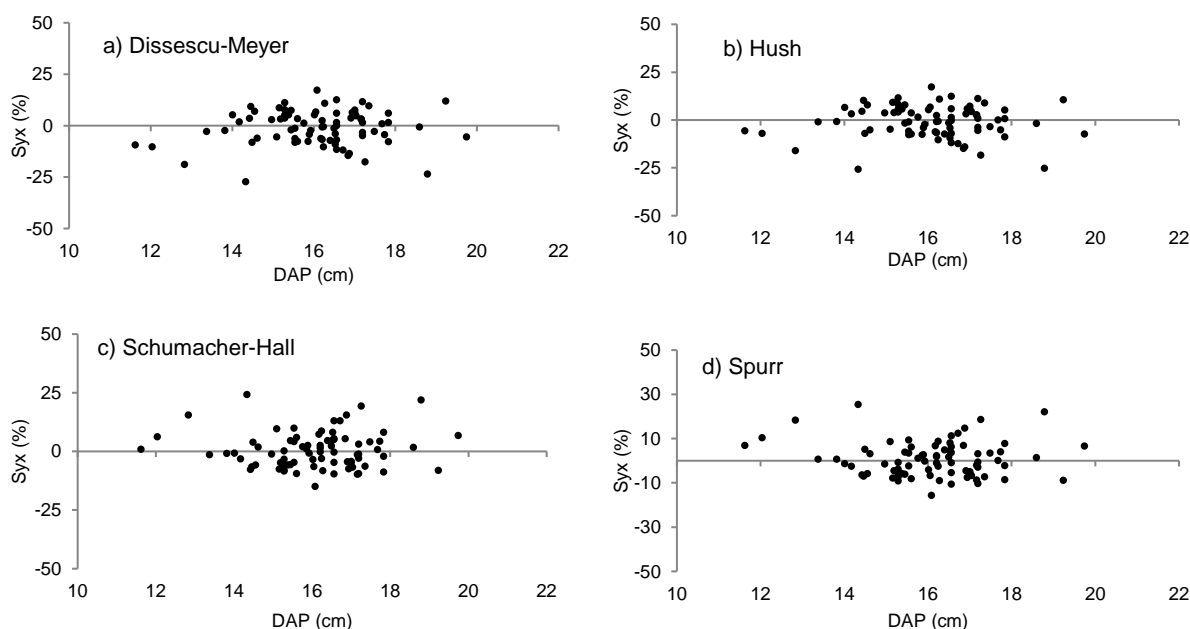


Figura 9 Dispersão dos resíduos padrão da estimativa ($Syx\%$) em função do diâmetro à altura do peito (DAP) para os modelos volumétricos ajustados.

Nota: $Syx\%$ - Resíduos padrão percentuais; DAP – diâmetro à altura do peito

Os resíduos padrão das estimativas para os modelos de Dissescu-Meyer, Hush, Shumacher-Hall e Spurr não variaram muito entre si, entretanto, quando observada a dispersão dos resíduos na Figura 9, pode-se perceber que os modelos de simples entrada de Dissescu-Meyer (a) e de Hush (b), apresentam uma tendência a superestimar os volumes para diâmetros nos extremos das classes diamétricas, tanto para os menores diâmetros, quanto para os maiores. Miguel & Leal (2013) também obtiveram resultados satisfatórios em equações ajustadas para o modelo de Hush, entretanto, para o modelo de Dissescu-Meyer, os autores observaram que o ajuste subestimou os volumes para as primeiras classes diamétricas. Tanto para o estudo desenvolvido por Miguel & Leal (2013), quanto para este, os desvios mais representativos para as classes diamétricas inferiores podem estar relacionados com a uniformidade dos povoamentos, considerando-se populações clonais equiâneas, a distribuição diâmetros dos indivíduos tende a se concentrar em torno da média, resultando em poucas observações nos primeiro e terceiro quartis da distribuição de frequências.

Por outro lado, os modelos de dupla entrada, de Schumacher-Hall e de Spurr, apresentaram maiores desvios acima de zero, para os maiores e menores diâmetros, indicando uma subestimação do volume nessas regiões.

Complementando a análise, traçaram-se as linhas estimativas da variável dependente (V) por entre a nuvem de pontos observados de DAP(cm) para os quatro modelos considerados na distribuição gráfica de resíduos. As curvas volumétricas para os quatro modelos ajustados, com melhores resultados em relação à análise de dispersão dos resíduos são apresentadas na Figura 10.

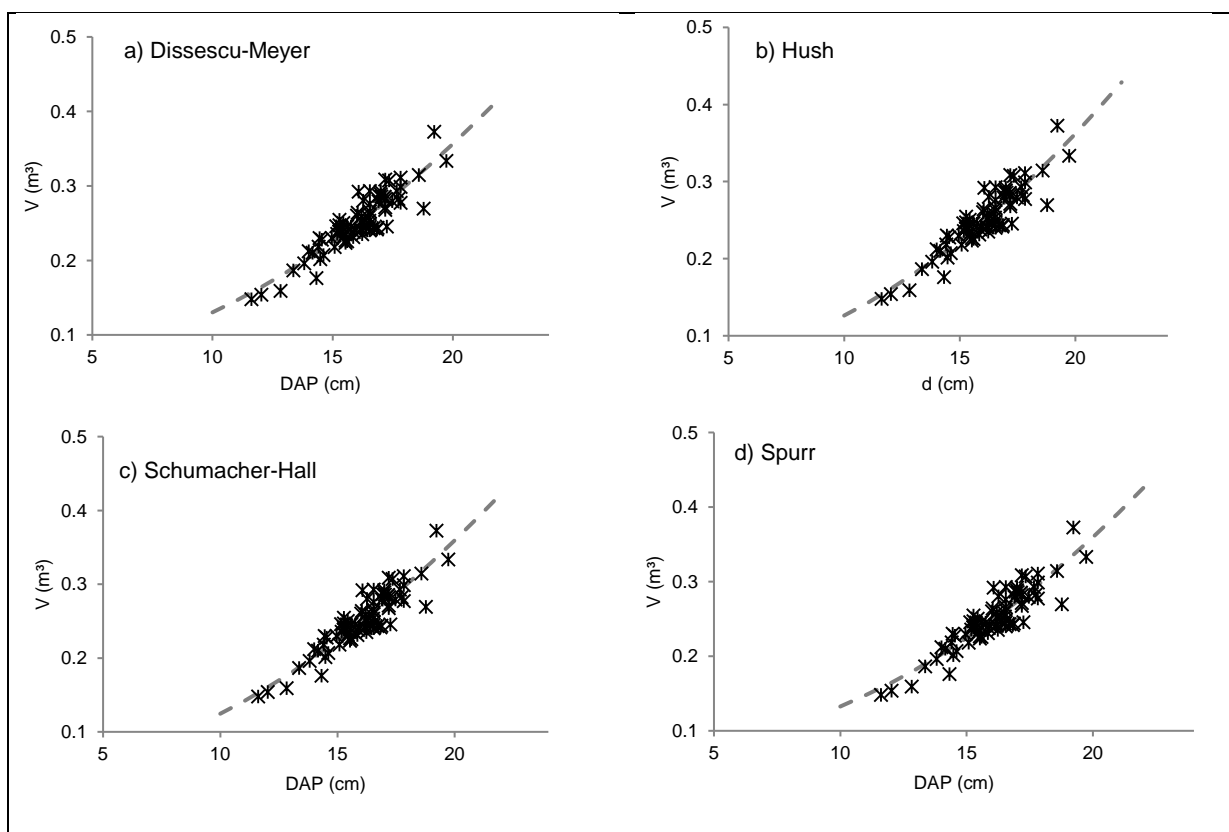


Figura 10 Curvas volumétricas para os modelos Dissescu-Meyer (a), Hush (b), Schumacher-Hall (c) e Spurr (d) e distribuição dos dados de volume por diâmetro medidos a campo.

Nota: DAP – diâmetro à altura do peito (cm), H – altura total (m)

Todas as curvas geradas a partir das equações ajustadas selecionada, apresentam excelente conformação aos dados. Como era de se esperar para os modelos volumétricos, existe forte correlação DAP e o volume, e também com as alturas, no caso de modelos de dupla entrada.

Desta forma, pode-se considerar, dentre os 9 modelos testados, que os ajustes para os modelos de Dissescu-Meyer, Hush, Schumacher-Hall e Spurr, são os mais adequados para descrever a relação entre diâmetro à altura do peito (e altura total no caso dos modelos de dupla entrada) e volume individual, para povoamentos jovens, equiâneos, de *E. urophylla*, clone AEC224, sobre latossolo, na região oeste do Paraná (sul do Brasil) já

que apresentaram as melhores medidas de precisão de ajuste e uma distribuição de resíduos aleatória e homogênea em torno da média zero. Neste caso, podem ser considerados mais adequados os modelos de simples entrada de Dissescu-Meyer e de Hush, já que são menos custosos em relação ao inventário florestal, por não necessitarem das medições de alturas totais.

5.1.3 Estimativas florestais individuais e populacionais para o experimento, pré e pós irrigação

São apresentados na Tabela 8, as médias e desvios padrão para as variáveis diâmetro à altura do peito (DAP), área basal (g), área basal por hectare ($G \text{ ha}^{-1}$), volume individual (v) e volume por hectare ($V \text{ ha}^{-1}$) para todas as parcelas.

A irrigação foi iniciada aos 18 meses de idade do povoamento florestal, nesta ocasião foi realizado um censo florestal para as parcelas experimentais. O segundo censo foi realizado aos 43 meses de idade do povoamento (após 24 meses de irrigação).

Tabela 8 Parâmetros médios e desvios padrão para variáveis dendrométricas, por parcela, levantadas a os 18 e aos 43 meses de idade do povoamento (zero e 24 meses de irrigação)

| Tempo de irrigação | Parc. | Trat. | Mort. (%) | DAP (cm) | g (m^2) | $G \text{ ha}^{-1}$ ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$) | H (m) | v (m^3) | V ha^{-1} | Ima ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) |
|--------------------|-------|-------|-----------|----------|--------------------|--|----------|--------------------|--------------------|---|
| 0 meses | 1 | T0 | 10,00% | 9,8±2,3 | 0,251±0,081 | 198,8 | 18,1±3,5 | 0,082±0,025 | 64,47 | 53,73 |
| | 2 | T2 | 6,70% | 9,9±3,0 | 0,264±0,095 | 271,4 | 17,7±4,9 | 0,085±0,030 | 87,67 | 73,06 |
| | 3 | T1 | 6,70% | 9,7±2,8 | 0,251±0,080 | 253 | 17,6±4,8 | 0,081±0,026 | 81,92 | 68,27 |
| | 4 | T1 | 6,70% | 9,5±2,7 | 0,241±0,072 | 255,9 | 17,5±4,8 | 0,078±0,023 | 83,05 | 69,21 |
| | 5 | T1 | 3,30% | 9,9±2,1 | 0,254±0,061 | 270 | 18,2±3,5 | 0,082±0,020 | 87,54 | 72,95 |
| | 6 | T3 | 13,30% | 9,2±3,7 | 0,241±0,105 | 288,9 | 16,6±6,4 | 0,078±0,034 | 93,47 | 77,89 |
| | 7 | T3 | 3,30% | 10,1±2,3 | 0,263±0,090 | 256,7 | 18,2±3,6 | 0,085±0,028 | 83,09 | 69,24 |
| | 8 | T0 | 0,00% | 9,9±0,6 | 0,243±0,031 | 257,8 | 18,6±0,4 | 0,079±0,010 | 83,89 | 69,91 |
| | 9 | T3 | 0,00% | 10±0,7 | 0,25±0,033 | 226,4 | 18,7±0,4 | 0,081±0,010 | 73,57 | 61,31 |
| | 10 | T2 | 0,00% | 10±2,1 | 0,255±0,062 | 261,3 | 18,2±3,5 | 0,083±0,020 | 84,69 | 70,58 |
| | 11 | T0 | 3,30% | 9±1,1 | 0,202±0,047 | 193,1 | 17,9±0,8 | 0,066±0,015 | 63,35 | 52,79 |
| | 12 | T1 | 6,70% | 8,9±2,6 | 0,211±0,072 | 206,3 | 17,1±4,7 | 0,069±0,023 | 67,36 | 56,13 |
| | 13 | T2 | 6,70% | 9,2±2,6 | 0,226±0,071 | 225,5 | 17,3±4,7 | 0,074±0,023 | 73,38 | 61,15 |
| | 14 | T2 | 3,30% | 9,6±2,1 | 0,236±0,066 | 235,5 | 17,9±3,5 | 0,077±0,021 | 76,59 | 63,82 |
| | 15 | T0 | 6,70% | 9±2,3 | 0,214±0,073 | 241 | 17,5±3,6 | 0,07±0,023 | 78,69 | 65,58 |
| | 16 | T3 | 6,70% | 8,9±2,6 | 0,212±0,073 | 196,4 | 17,1±4,7 | 0,069±0,023 | 64,11 | 53,43 |
| | Total | | 10,70% | 9,5 | 0,238±0,074 | 237,9 | 17,7±4,0 | 0,077±0,024 | 77,29 | 64,9 |
| 24 meses | 1 | T0 | 10,00% | 12,9±4,6 | 0,463±0,192 | 366,2 | 18,7±6,3 | 0,146±0,060 | 115,71 | 35,06 |
| | 2 | T2 | 6,70% | 16,7±4,7 | 0,738±0,224 | 758,1 | 20,4±5,6 | 0,23±0,069 | 236,58 | 71,69 |
| | 3 | T1 | 6,70% | 15,7±4,3 | 0,65±0,191 | 654,6 | 20,1±5,5 | 0,204±0,060 | 204,99 | 62,12 |
| | 4 | T1 | 6,70% | 15,2±4,2 | 0,61±0,180 | 649,4 | 20±5,4 | 0,192±0,056 | 203,75 | 61,74 |
| | 5 | T1 | 3,30% | 15,8±3,1 | 0,642±0,138 | 681,5 | 20,7±4,0 | 0,201±0,043 | 213,73 | 64,77 |
| | 6 | T3 | 13,30% | 15,6±6,1 | 0,689±0,282 | 825,5 | 19,1±7,3 | 0,215±0,088 | 257,66 | 78,08 |
| | 7 | T3 | 3,30% | 16,9±3,7 | 0,737±0,237 | 720 | 21±4,1 | 0,23±0,073 | 224,86 | 68,14 |
| | 8 | T0 | 0,00% | 14,7±1,0 | 0,539±0,068 | 571,2 | 20,9±0,4 | 0,17±0,021 | 180,28 | 54,63 |
| | 9 | T3 | 0,00% | 17,6±1,2 | 0,765±0,106 | 692,7 | 21,8±0,3 | 0,239±0,032 | 216,38 | 65,57 |
| | 10 | T2 | 1,50% | 16,7±3,3 | 0,712±0,159 | 729,1 | 20,9±4,0 | 0,222±0,049 | 227,97 | 69,08 |
| | 11 | T0 | 3,30% | 13,0±3,0 | 0,436±0,134 | 415,9 | 19,6±3,9 | 0,138±0,042 | 131,98 | 39,99 |
| | 12 | T1 | 7,10% | 15,1±4,2 | 0,604±0,178 | 590,6 | 19,9±5,4 | 0,19±0,056 | 185,35 | 56,17 |
| | 13 | T2 | 6,70% | 15,5±4,3 | 0,637±0,190 | 634,4 | 20,1±5,5 | 0,20±0,059 | 198,8 | 60,24 |
| | 14 | T2 | 5,60% | 16,4±3,2 | 0,688±0,146 | 686 | 20,9±4,0 | 0,215±0,045 | 214,72 | 65,07 |
| | 15 | T0 | 6,70% | 13,0±4,0 | 0,455±0,166 | 512,6 | 19,1±5,3 | 0,144±0,052 | 162,23 | 49,16 |
| | 16 | T3 | 7,40% | 15,8±4,3 | 0,658±0,189 | 611,2 | 20,1±5,5 | 0,206±0,059 | 191,34 | 57,98 |
| | Total | | 10,71% | 14,7 | 0,598±0,239 | 624,7 | 19,3±6,4 | 0,188±0,074 | 195,87 | 60,0 |

Nota: Parc.- Parcela; Trat. – Tratamentos; Mort. – Mortalidade; DAP – Diâmetro à altura do peito; g – área basal individual média; $G \text{ ha}^{-1}$ – área basal estimada por hectare; H – altura total; v – volumes individuais; $V \text{ ha}^{-1}$, volume estimado por hectare; IMA – Incremento médio anual.

Em relação ao incremento médio anual (IMA), foram observadas aos 14 meses de idade da floresta ($IMA_{1,3}$), antes do início da irrigação, valores variando desde $52,79 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (parcela 11) até $77,89 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (parcela 6), superando a exceptiva de incremento médio para este clone, de $42 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, de acordo com Paludzyszyn Filho & Santos (2013). Já aos 43 meses de idade ($IMA_{3,4}$), após 24 meses de irrigação, a amplitude dos incrementos médios anuais foi maior, variando de $49,16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (parcela 15) até $78,08 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (parcela 6). Este distanciamento pode ser resultante dos efeitos dos tratamento, já que, pela a Figura 11 é possível observar que os incrementos para as parcelas testemunhas (T0) foi menor aos 43 meses do que aos 18 meses de idade da floresta, enquanto que para as parcelas submetidas a irrigação, os $IMA's_{3,4}$ superaram ou se aproximaram muito dos $IMA's_{1,2}$.

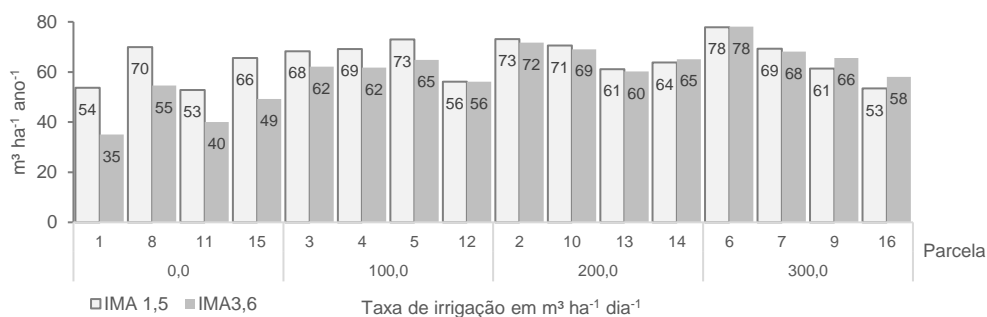


Figura 11 Incremento médio anual por parcelas experimentais, para clones AEC 224, de *E.urophylla*, aos 18 ($IMA_{1,5}$) e 43 meses ($IMA_{3,6}$) sob taxas de irrigação de 0 (T0), 100 (T1), 200 (T2) e 300 (T3) $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$

O comportamento dos dados de IMA, para parcelas testemunha (tratamento T0) indica que a floresta começou a crescer mais lentamente dando indícios que a inflexão da curva de Incremento Médio Anual (IMA) se aproxima, sendo recomendado o manejo destas áreas (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011; ZEID, 1993). Para o tratamento T1 (100 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), os $IMA's$ aos 18 e 43 meses se mantiveram muito próximos, indicando que o crescimento perdura no mesmo ritmo e para as parcelas submetidas aos tratamentos T2 e T3 (200 e 300 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente) os $IMA's$ aumentaram, indicando que os indivíduos nestas parcelas poderão tardar mais para atingir a assíntota produtiva.

Paludzyszyn Filho & Santos (2013) avaliaram o comportamento de vários clones de diversas espécies de eucalipto, em função de condições ambientais, características de solo, clima e susceptibilidade a pragas. Em relação ao AEC 244, os autores argumentam que, embora seja mais resistente ao ataque de algumas pragas, este clone pode sucumbir à

quebras do fuste no seu terço superior. De fato, a mortalidade das árvores na área experimental, quase que em sua totalidade, se deu em função da quebra fuste, já em fase avançada de desenvolvimento. A mortalidade por quebra de ponteira aumentou nos tratamentos T1 (parcela 12), T2 (parcelas 10 e 14) e T3 (parcela 16), todos irrigados.

As médias para as variáveis dendrométricas e estimativas populacionais, por tratamento, bem como desvios padrão e testes de média são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 Médias e desvios padrão das variáveis dendrométricas e testes de média de Tukey e Dunnett para clone AEC 224 de *E. urophylla* aos 18 e 43 meses de idade, submetidos aos tratamentos

| Variável | Tratamento (m ³ há ⁻¹ dia ⁻¹) | 18 meses | 43 meses | Tukey* | Dunnett** |
|---|--|-------------|-------------|--------|-----------|
| DAP (cm) | 0 | 9,45±1,77 | 13,38±3,52 | a | a |
| | 100 | 9,53±2,53 | 15,44±3,97 | b | |
| | 200 | 9,67±2,45 | 16,30±3,92 | b | |
| | 300 | 9,52±2,62 | 16,42±4,32 | b | |
| g (m ²) | 0 | 0,228±0,064 | 0,472±0,152 | a | a |
| | 100 | 0,240±0,073 | 0,627±0,172 | b | |
| | 200 | 0,245±0,075 | 0,694±0,184 | c | |
| | 300 | 0,240±0,082 | 0,711±0,218 | c | |
| G h ⁻¹ (m ² ha ⁻¹) | 0 | 222,7±31,7 | 466,5±92,6 | a | a |
| | 100 | 246,3±27,7 | 644,0±38,3 | b | |
| | 200 | 248,4±21,5 | 701,9±53,9 | b | |
| | 300 | 242,1±39,7 | 712,3±88,5 | b | |
| H (m) | 0 | 17,6±2,5 | 19,5±4,6 | a | a |
| | 100 | 17,4±4,4 | 20,2±5,1 | a | a |
| | 200 | 17,5±4,1 | 20,6±4,8 | a | a |
| | 300 | 17,3±4,4 | 20,5±5,1 | a | a |
| v (m ³) | 0 | 0,074±0,02 | 0,149±0,047 | a | a |
| | 100 | 0,078±0,023 | 0,196±0,054 | b | |
| | 200 | 0,080±0,024 | 0,217±0,057 | c | |
| | 300 | 0,078±0,026 | 0,222±0,067 | c | |
| V ha ⁻¹ (m ³ ha ⁻¹) | 0 | 72,6±10,3 | 147,6±29,1 | a | a |
| | 100 | 80,0±8,8 | 202,0±11,9 | b | |
| | 200 | 80,6±6,7 | 219,5±16,5 | b | |
| | 300 | 78,6±12,6 | 222,6±27,4 | b | |

Nota: DAP – Diâmetro à altura do peito; g – área basal individual média; G ha⁻¹ – área basal estimada por hectare; H – altura total; v – volumes individuais; V ha⁻¹, volume estimado por hectare; IMA – Incremento médio anual. * No teste de Tukey, letras diferentes indicam diferença significativa entre os tratamentos; ** no teste de Dunnett, os tratamentos estatisticamente semelhantes a 5% de significância recebem a mesma letra.

No início do experimento, aos 18 meses de idade da floresta, não foi constatada diferença significativa a 5% de significância para nenhuma das variáveis dendrométricas observadas, indicando que as características médias das parcelas de cada tratamento são homogêneas. Em compensação, após 23 meses de irrigação, observou-se diferenças significativas entre o tratamento T0 e os tratamentos irrigados T1, T2 e T3, para as variáveis DAP, G ha⁻¹, e V ha⁻¹, sendo que, o tratamento que obteve as maiores médias foi o T3 (16,42 cm, 712,3 m² ha⁻¹ e 222,6 m³ ha⁻¹, respectivamente).

A variável volume por hectare no tratamento T3, apresentou incremento 92% maior do que T0, não irrigado. Comparativamente, Marinho et al. (2014) constataram um incremento de 82,9% no volume por hectare para *E. grandis*, comparando áreas não irrigadas e com irrigação suplementar com água de reuso de esgoto, proveniente de lagoa secundária de tratamento.

As médias de área basal individual (g) e volume individual (v), apresentaram médias estatisticamente semelhantes para T2 (200 m³ h⁻¹ dia⁻¹) e T3 (300 m³ h⁻¹ dia⁻¹), diferindo das médias dos tratamentos T0 e T1. Em geral, as variáveis dendrométricas individuais e estimativas para o povoamento foram maiores no tratamento T3, com taxa de irrigação maior, seguido das médias de T2, T1 e T0, com exceção da variável altura, que apresentou a maior média no tratamento irrigado T2. Em geral, os povoamentos de eucalipto respondem bem à irrigação (GUO & SIMS, 2000; STAPE et al., 2004; PELISSARI et al., 2009; FERNANDES et al., 2012; OLIVEIRA et al.; 2013; LOPES et al., 2014; MINHAS et al., 2015). Na Figura 12 são apresentadas as respostas em incremento médio anual e incremento corrente, para o período de 23 meses de irrigação.

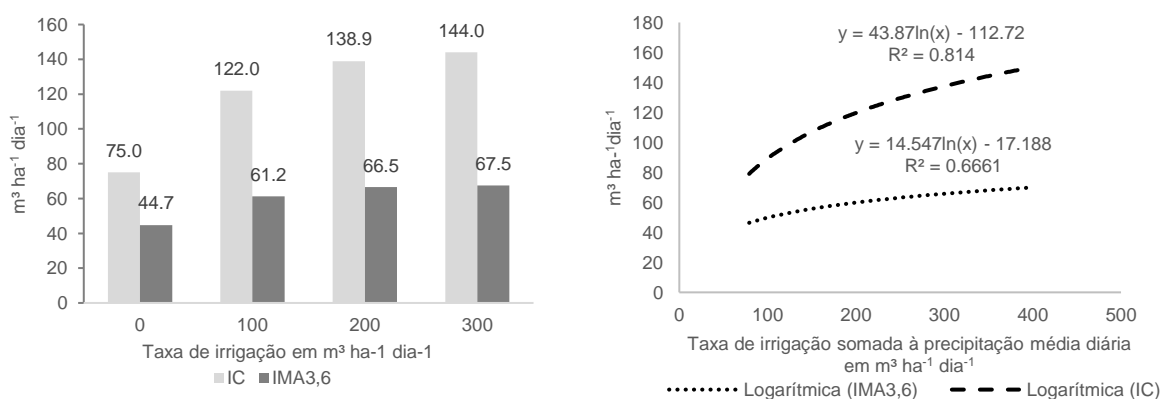


Figura 12 Incremento médio anual na idade de 2 anos (IMA_{3,6}) e Incremento corrente para o período de 23 meses (IC), em função das taxas de irrigação de 0, 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ dia⁻¹; e curvas ajustadas para IMA_{3,4} e IC em função dessas taxas de irrigação somadas à precipitação média diária da estação pluviométrica de Matelândia, PR (código 2554005)

Pela análise do IC, ou seja, o incremento acumulado no período de 24 meses de irrigação, pode-se constatar que os tratamentos irrigados, T1, T2 e T3 (com taxas de irrigação de 100, 200 e 300 m³ ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente) apresentaram incrementos 63%, 85% e 92% maiores (respectivamente) do que T0 (testemunha). Este fato pode ser explicado pelas altas demandas hídricas do eucalipto, em especial clones de alto rendimento em fases iniciais de desenvolvimento (STAPE et al., 2010). A disponibilidade de água afeta o crescimento das plantas porque promove a abertura dos estômatos, a atividade fotossintética e, havendo a disponibilidade de nutrientes e condições adequadas à espécie,

a produção de biomassa. Por outro lado, o déficit hídrico pode reduzir o potencial hídrico na condutância foliar e estomática, promovendo o fechamento dos estômatos e afetando o acúmulo de foto-assimilados e, conseqüentemente reduzindo a produção de madeira (LIMA et al.; 2003).

5.2 Avaliação do solo florestal irrigado com altas taxas de efluente tratado de abatedouro de aves

A expectativa em relação aos resultados de monitoramento de solos florestais irrigados com efluentes tratados, sobretudo em taxas muito superiores à precipitação habitual da região, como no caso deste trabalho, é que as diferenças entre os tratamentos se façam evidentes em curto prazo. Entretanto, muitos dos atributos avaliados variaram pouco em função dos tratamentos e mesmo em relação à condição inicial antes do início da irrigação, conforme pode ser observado na Figura 13.

Por se tratar de um nutriente estável e com baixa solubilidade, o fósforo (a) tende a acumular no solo, mesmo quando proveniente de águas residuárias, com baixas concentrações. Assim, o uso destes efluentes para irrigação trazer benefícios aos reflorestamentos apresentando baixo risco ambiental, mesmo se aplicado consistentemente por longos períodos de tempo (DEGENS et al.,2000). Este efeito de acúmulo pode ser observado na Figura 13 (a).

Após 15 meses de irrigação, as concentrações médias de fósforo encontradas nas amostras de solo foram 8,6, 26,4, 47,6 e 69,4 kg de P ha⁻¹ (Tabela 10), para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, respectivamente, apresentam uma tendência crescente da concentração deste nutriente em relação às taxas de irrigação. Aos 24 meses torna-se mais evidente, inclusive pelo teste de médias de Tukey a 5 % de significância (Tabela 10), o distanciamento das concentrações de fósforo dos tratamentos irrigados, T1, T2 e T3, para o tratamento não irrigado T0. Nesta ocasião, os tratamento irrigados apresentaram concentração de fósforo superiores aos 80 kg ha⁻¹, enquanto T0 apresentou concentração média de fósforo de 27,4 kg ha⁻¹. Considerando as demandas nutricionais do gênero *Eucalyptus*, cujo valor médio está em torno de 44 kg de P ha⁻¹ (SILVEIRA & GAVA, 2014), entende-se que a aplicação do efluente nas taxas T1, T2 e T3 poderia ser vantajosa para a manutenção do estoque de fósforo no solo, mesmo após a colheita.

Com exceção das amostras do tratamento T0, que não recebeu efluente, observou-se um aumento significativo no estoque de fósforo no solo desde o início da irrigação até os seis meses, seguido de queda destes estoques entre os 6º e o 15º mês de irrigação e manutenção das concentrações entre o 15º e o 24º mês. Este comportamento pode ser

explicado pelas altas demandas nutricionais do eucalipto, que atingem o seu ápice entre 12 e 24 meses, fase do fechamento da copa das árvores (LACLAU et al., 2010).

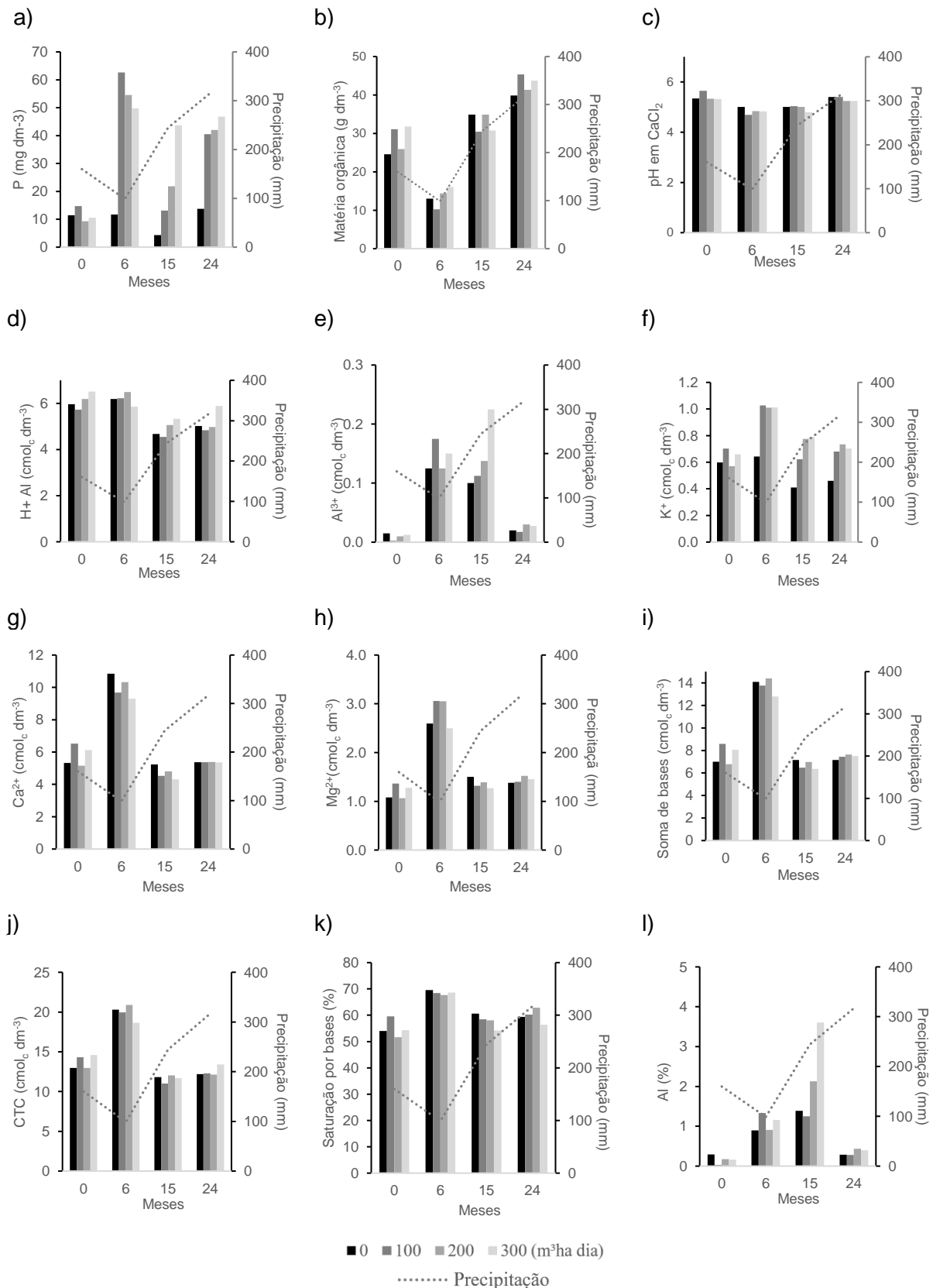


Figura 13 Atributos do solo em função dos tratamentos T0, T1, T2 e T3, amostrados a 0, 6, 15 e 24 meses de irrigação e precipitação total nos meses de coleta

Nota: P – Fósforo; H+Al – Acidez potencial; Al³⁺ – Alumínio trocável, K⁺ - Potássio; Ca²⁺- Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; CTC – Capacidade de troca catiônica.

Além das questões nutricionais, o sexto mês de irrigação coincidiu com um dos meses mais secos do ano, com precipitação de 98,8 mm (Figura1). Considerando que a difusão do fósforo é muito suscetível a variações na umidade em solos argilosos, com menor fator de impedância e maior interação íon coloide, as maiores concentrações deste nutriente nesta amostragem podem estar relacionadas também com a questão hídrica (NYE, 1979).

Os teores de matéria orgânica (b) (Tabela 10) pouco variaram entre os tratamentos para todas as amostragens. Entretanto, observa-se um incremento para todos os tratamentos com o passar do tempo.

É possível que incremento nos teores de matéria orgânica não tenha uma relação direta com as taxas de irrigação praticadas, já que estatisticamente as médias dos tratamentos T2 e T3 podem ser consideradas iguais à testemunha, pelo teste de Dunnett a 5% de significância. A incorporação da matéria orgânica pode estar mais estritamente relacionada com a maior produção de serrapilheira do que necessariamente com a irrigação (GUO & SIMS, 2000).

Houve uma ligeira redução pH (c) do solo nos tratamentos irrigados (Tabela 10). Este fato pode estar associado com o aumento de íons Al^{3+} (e), já que o fósforo proveniente de águas residuárias, em geral, está parcialmente ligado a componentes orgânicos e, portanto, não pode formar complexos com íons de ferro ou alumínio na sua entrada no solo (JIMENEZ, 1995). GUO & SIMS (2000; 2003) observaram resultados semelhantes em relação ao comportamento do pH em áreas irrigadas com efluente de abatedouro. Os autores associaram a redução do pH à produção de ácidos relacionados com a nitrificação e a liberação dos ácidos orgânicos em função da decomposição da serrapilheira e da atividade biológica.

Em relação à concentração de potássio (f), observou-se incremento de 29 e 6% (Tabela 10) para os tratamentos T2 e T3, respectivamente, enquanto que nos outros tratamentos constatou-se a redução nas concentrações. Mesmo com um incremento negativo no tratamento T1, todos os tratamentos irrigados tiveram médias estatisticamente diferentes da testemunha.

Supõe-se que estas reduções nas concentrações de potássio no solo estejam diretamente ligadas ao consumo do nutriente pelas árvores, já que o potássio é o um dos elementos mais acumulados no eucalipto, embora o máximo consumo ocorra entre 24 e 36 meses de idade (BELLOTE & FERREIRA, 1993; BASSACO et al., 2018). Os níveis mais elevados de potássio observados nos tratamentos T2 e T3 podem ser um bom indicativo, considerando que o nutriente pode melhorar as relações hídricas nas folhas, o controle dos

movimentos estomáticos e as trocas gasosas foliares, favorecendo a transpiração nas áreas com maior quantidade de água disponível (BATTIE-LACLAU et al., 2016).

Tabela 10 Médias, desvios padrão, testes de média e incremento das variáveis de atributos do solo amostrados a 0 e 24 meses de irrigação

| Atributo | Tratamento | Pré-irrigação | 24º mês de irrigação | Tukey* | Dunnnett** | Varição média*** | Incremento médio %**** |
|--|------------|---------------|----------------------|--------|------------|------------------|------------------------|
| P (mg dc ⁻³) | T0 | 11,4±13,7 | 13,7±10,5 | a | a | 2,3 | 20% |
| | T1 | 14,7±13,8 | 40,5±21,1 | b | | 25,8 | 176% |
| | T2 | 9,3±8,9 | 42,0±30,2 | b | | 32,7 | 350% |
| | T3 | 10,6±8,6 | 46,8±43,9 | b | | 36,3 | 344% |
| Matéria orgânica (g dc ⁻³) | T0 | 24,5±5,5 | 39,9±4,8 | a | a | 15,3 | 62% |
| | T1 | 31,1±5,8 | 45,3±4,5 | b | | 14,2 | 46% |
| | T2 | 25,9±7,3 | 41,3±4,5 | a | a | 15,4 | 59% |
| | T3 | 31,8±7,0 | 43,7±6,0 | a | a | 11,9 | 38% |
| pH in CaCl ₂ | T0 | 5,3±0,4 | 5,4±0,5 | a | a | 0,06 | - |
| | T1 | 5,6±0,4 | 5,4±0,4 | a | a | -0,25 | - |
| | T2 | 5,3±0,4 | 5,2±0,5 | a | a | -0,1 | - |
| | T3 | 5,3±0,4 | 5,2±0,3 | a | a | -0,08 | - |
| H+AL (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 6,0±1,7 | 5,0±1,6 | a | a | -0,9 | -16% |
| | T1 | 5,7±1,6 | 4,8±0,8 | a | a | -0,9 | -16% |
| | T2 | 6,2±1,5 | 5,0±2,3 | a | a | -1,2 | -20% |
| | T3 | 6,5±1,2 | 5,9±1,4 | a | a | -0,6 | -10% |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 0,015±0,04 | 0,020±0,04 | a | a | 0,01 | 33% |
| | T1 | 0,003±0,01 | 0,018±0,04 | a | a | 0,02 | 600% |
| | T2 | 0,010±0,03 | 0,030±0,05 | a | a | 0,02 | 200% |
| | T3 | 0,013±0,04 | 0,028±0,05 | a | a | 0,02 | 120% |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 0,60±0,21 | 0,46±0,12 | a | a | -0,14 | -23% |
| | T1 | 0,70±0,22 | 0,68±0,23 | b | | -0,02 | -3% |
| | T2 | 0,57±0,19 | 0,73±0,27 | b | | 0,16 | 29% |
| | T3 | 0,66±0,23 | 0,70±0,18 | b | | 0,04 | 6% |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 5,3±1,4 | 5,38±0,9 | a | a | 0,05 | 1% |
| | T1 | 6,5±1,8 | 5,37±1,0 | a | a | -1,16 | -18% |
| | T2 | 5,1±1,3 | 5,39±1,1 | a | a | 0,24 | 5% |
| | T3 | 6,1±2,1 | 5,36±0,9 | a | a | -0,77 | -13% |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 1,1±0,39 | 1,38±0,10 | a | a | 0,3 | 28% |
| | T1 | 1,4±0,34 | 1,40±0,25 | a | a | 0,04 | 3% |
| | T2 | 1,1±0,33 | 1,52±0,20 | a | a | 0,46 | 43% |
| | T3 | 1,3±0,42 | 1,46±0,15 | a | a | 0,18 | 14% |
| Soma de bases (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 7,0±1,8 | 7,2±0,9 | a | a | 0,2 | 2% |
| | T1 | 8,6±2,2 | 7,4±1,4 | a | a | -1,1 | -13% |
| | T2 | 6,8±1,6 | 7,6±1,2 | a | a | 0,9 | 13% |
| | T3 | 8,1±2,6 | 7,5±1,0 | a | a | -0,5 | -7% |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) | T0 | 13,0±2,2 | 12,2±1,3 | a | a | -0,8 | -6% |
| | T1 | 14,3±1,5 | 12,3±1,1 | a | a | -2 | -14% |
| | T2 | 13,0±1,7 | 12,1±0,9 | a | a | -0,9 | -7% |
| | T3 | 14,6±2,3 | 13,4±1,1 | b | | -1,2 | -8% |
| Saturação por bases (%) | T0 | 54,0±10,9 | 59,4±9,8 | a | a | 5,4 | 10% |
| | T1 | 59,5±11,6 | 60,3±7,2 | a | a | 0,7 | 1% |
| | T2 | 51,7±8,8 | 62,9±7,3 | a | a | 11,2 | 22% |
| | T3 | 54,3±9,8 | 56,4±8,6 | a | a | 2,1 | 4% |

Nota: P – Fósforo; H+Al – Acidez potencial; Al³⁺ – Alumínio trocável, K⁺ – Potássio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; CTC – Capacidade de troca catiônica; * Incremento médio em relação às medias amostrais das análises pré-irrigação; ** Incremento médio percentual em relação às médias amostrais pré- irrigação.

Por outro lado, na solução do solo, o potássio é móvel e, também, sujeito às perdas por lixiviação. A passagem de sua forma trocável para a não trocável pode ser rápida,

dependendo da concentração do nutriente na solução do solo (ROSOLEM et al., 2003). Aos 6 meses de irrigação, com a precipitação menor do que nas outras ocasiões de amostragens, foram observadas concentrações maiores de potássio, sobretudo para os tratamentos irrigados, que pode sugerir a lixiviação do potássio associada às altas taxas de irrigação somadas às taxas pluviométricas mais altas, ou nos períodos mais chuvosos do ano.

Não foi possível identificar um padrão relacionado com as taxas de irrigação para as concentrações de cálcio (g), magnésio (h), bem como para a capacidade de troca catiônica (j) e a soma de bases, embora estes parâmetros apresentem comportamentos semelhantes entre si ao longo do experimento e, assim como o potássio, concentrações maiores na amostragem aos 6 meses de irrigação.

Já para a saturação por bases (k), é possível identificar, aos 15 meses uma correspondência negativa com as taxas de irrigação, ou seja, quanto maiores as taxas, menores são os valores de saturação por bases, relacionados aos valores crescentes de Al% (l). Porém aos 24 meses de irrigação já não se observa mais uma relação clara entre a saturação por bases, o Al% e as taxas de irrigação. A semelhança das médias dos tratamentos nesta ocasião de amostragem é respaldada pelo teste de médias de Dunnett, que não aponta diferença entre a média destas variáveis para os tratamentos irrigados e o tratamento não irrigado. O alumínio é um dos principais fatores de inibição ao crescimento das plantas em solos ácidos. Se o pH diminui abaixo de 5,0, o alumínio é solubilizado na forma fitotóxica principalmente como o íon Al^{3+} livre, e em *Eucalyptus spp* pode provocar a inibição do crescimento das raízes e a formação de calosidades em suas pontas (KINRAIDE 1991; KOCHIAN 1995; TAHARA ET AL., 2008).

Na Figura 14 são apresentadas as variações nas concentrações de de cobre (a), zinco (b), manganês (c) e ferro (d), em função dos tratamentos e do tempo de irrigação. Foi observado decréscimo (Tabela 11) nas concentrações de cobre, zinco, manganês e ferro ao longo de 15 meses, embora, aos 24 meses de irrigação, as concentrações de zinco tenham apresentado incremento de 29%, 60%, 45% e 32% para os tratamentos T0, T1, T2 e T3, respectivamente. Tanto para as concentrações de zinco quanto de cobre apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos T1 e T0, embora, estatisticamente esses tratamentos não difiram dos demais.

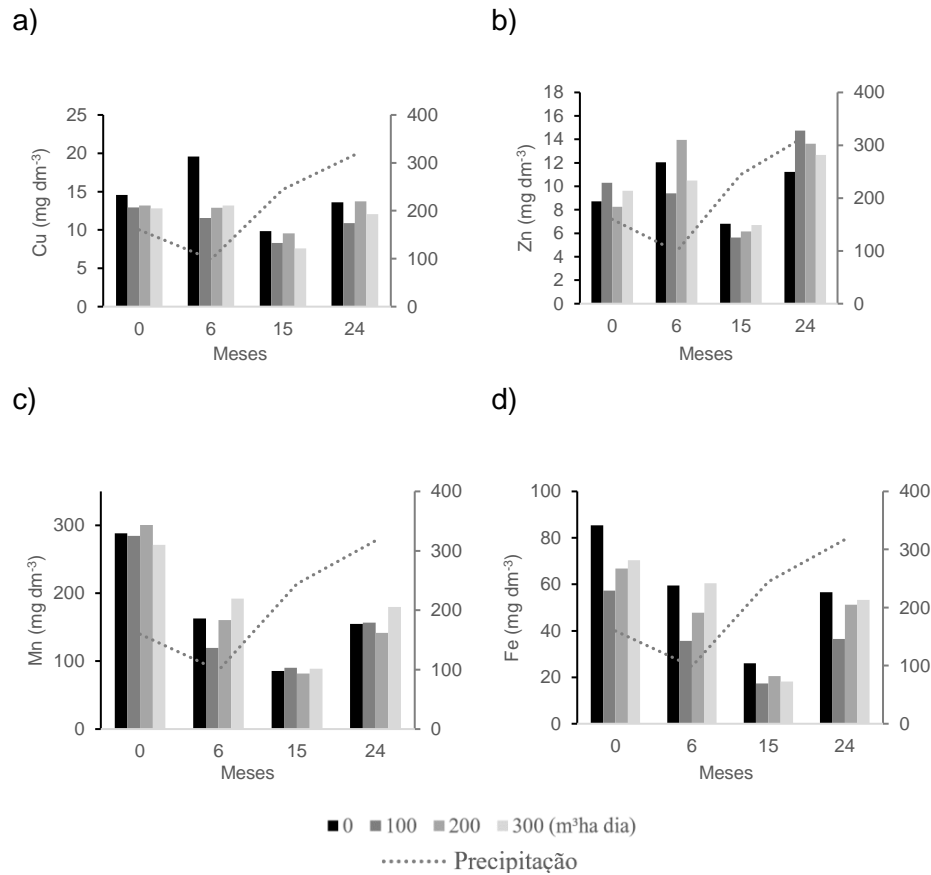


Figura 14 Concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe do solo em função dos tratamentos T0, T1, T2 e T3, amostrados a 0, 6, 15 e 24 meses de irrigação e precipitação total nos meses de coleta

Nota: Cu – Cobre; Zn – Zinco; Mn – Manganês, Fe - Ferro.

Os teores de ferro e manganês apresentaram decréscimos representativos nas suas concentrações, entre as amostragens pré irrigação e aos 24 meses, mesmo no tratamento testemunha, T0 (Figura 2), de modo que esta redução pode não estar relacionada diretamente com a irrigação, mas sim com o consumo ou deslocamento dos nutrientes para as camadas subsuperficiais do solo (LI & SHUMAN, 1996, EL-NAHHAL ET AL., 2013). Outra possibilidade é a adsorção de metais em óxidos de manganês, que possuem superfícies carregadas negativamente em pH ácido, adsorvendo fortemente os metais (STAHL & JAMES, 1991). As deficiências de Cu e de Zn são mais frequentes em solos argilosos e mais avermelhados e escuros, ricos em hidróxidos de ferro e manganês e matéria orgânica, que controlam a disponibilidade desses micronutrientes em solução (NASCIMENTO et al., 2002).

Tabela 11 Médias, desvios padrão, testes de média e incremento das concentrações de Cu, Zn, Mn e Fe do solo amostrados a 0 e 24 meses de irrigação

| Atributo | Tratamento | Pré-irrigação | 24º mês de irrigação | Tukey* | Dunnett** | Varição média*** | Incremento médio %**** |
|---------------------------|------------|---------------|----------------------|--------|-----------|------------------|------------------------|
| Cu (mg dm ⁻³) | 0 | 14,5±3,2 | 13,5±3,3 | a | a | -1,0 | -7% |
| | 100 | 12,9±3,7 | 10,8±3,5 | b | a | -2,1 | -16% |
| | 200 | 13,1±3,5 | 13,7±2,1 | ab | a | 0,5 | 4% |
| | 300 | 12,8±3,4 | 12,0±4,1 | ab | a | -0,8 | -6% |
| Zn (mg dm ⁻³) | 0 | 8,7±2,9 | 11,2±2,7 | a | a | 2,5 | 29% |
| | 100 | 10,3±4,9 | 14,7±3,6 | b | a | 4,5 | 43% |
| | 200 | 8,2±3,21 | 13,6±3,9 | ab | a | 5,4 | 65% |
| | 300 | 9,6±4,3 | 12,6±4,3 | ab | a | 3,1 | 32% |
| Mn (mg dm ⁻³) | 0 | 288,2±82,8 | 154,7±50,3 | a | a | -133,5 | -46% |
| | 100 | 284,7±106,8 | 156,9±51,1 | a | a | -127,8 | -45% |
| | 200 | 300,4±5,0 | 141,6±27,8 | a | a | -158,8 | -53% |
| | 300 | 271,4±74,8 | 179,9±94,3 | a | a | -91,5 | -34% |
| Fe (mg dm ⁻³) | 0 | 85,4±29,7 | 56,5±14,1 | a | a | -28,9 | -34% |
| | 100 | 57,3±24,7 | 36,5±12,8 | b | a | -20,9 | -36% |
| | 200 | 66,8±25,9 | 51,3±15,0 | a | a | -15,5 | -23% |
| | 300 | 70,3±38,3 | 53,3±21,3 | a | a | -17,1 | -24% |

Nota: Cu – Cobre; Zn – Zinco; Mn – Manganês; Fe - Ferro; ** Incremento médio em relação às medias amostrais das análises pré-irrigação; ** Incremento médio percentual em relação às médias amostrais pré- irrigação.

Embora, para alguns atributos, não tenha se constatado diferença significativa entre os tratamentos, a 5% de significância, nos teste de Tukey e Dunnett, aos 24 meses de irrigação, quando comparados em relação aos dados obtidos na coleta pré-irrigação, pôde-se constatar a evolução dos parâmetros, bem como sua relação com as taxas de irrigação. Para avaliação desta relação procedeu-se o ajuste de equações que buscassem descrever a o comportamento dos parâmetros em função das taxas de irrigação. Os resultados de equações que apresentaram o coeficiente de ajuste (R^2) superior a 0,7 são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 Equações exponenciais ajustadas para os parâmetros monitorados, em função da taxa de irrigação com efluente tratado de abatedouro de aves, aos 24 meses de irrigação por gotejamento.

| Parâmetro | Equação ajustada | R^2 |
|--|-----------------------------|-------|
| P (mg dc ⁻³) | $y = 47,403\ln(x) - 254,15$ | 0,83 |
| pH | $y = -0,0006x + 5,6174$ | 0,81 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | $y = 0,3726\ln(x) - 1,6346$ | 0,74 |
| Soma de bases (cmol _c dm ⁻³) | $y = 0,5975\ln(x) + 3,7893$ | 0,71 |

Nota: R^2 = Coeficiente de determinação; Foram apresentados apenas os ajustes cujo coeficiente de determinação foi superior a 0,7.

Buscando a simplificação do grupo de variáveis gerados para compreensão global da variação dos dados de atributos do solo, após 24 meses desde o início da irrigação, procedeu-se a análise de componentes principais. Na Tabela 13 são apresentados os resultados desta análise.

Tabela 13 Análise de componentes principais para o conjunto de dados de atributos de solo florestal após 24 meses do início do experimento

| Componentes da variância | Componentes principais | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Autovalor (correlações) | 6,49 | 3,27 | 2,41 | 1,37 | 0,75 | 0,57 | 0,44 | 0,33 | 0,22 | 0,08 |
| Proporção % | 40,6% | 20,4% | 15,1% | 8,6% | 4,7% | 3,6% | 2,8% | 2,1% | 1,4% | 0,5% |
| Proporção acumulada | 40,6% | 61,0% | 76,1% | 84,6% | 89,3% | 92,9% | 95,7% | 97,7% | 99,1% | 99,6% |
| Correlações com as componentes principais | | | | | | | | | | |
| P (mg dc ⁻³) | 0,263 | 0,239 | 0,100 | -0,232 | 0,413 | 0,060 | -0,261 | -0,218 | 0,625 | 0,151 |
| Matéria orgânica (g dc ⁻³) | 0,153 | 0,313* | 0,141 | -0,156 | -0,570 | 0,524 | 0,275 | 0,063 | 0,139 | 0,142 |
| pH in CaCl ₂ | 0,326* | -0,037 | 0,148 | -0,007 | 0,478 | 0,062 | 0,107 | 0,179 | -0,484 | 0,067 |
| H+AL (cmol _c dm ⁻³) | -0,290 | 0,252 | -0,060 | -0,340* | 0,089 | -0,073 | -0,186 | -0,088 | -0,227 | 0,696 |
| Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) | -0,328* | 0,113 | -0,225 | 0,195 | 0,013 | 0,271 | -0,289 | 0,009 | -0,123 | -0,037 |
| K ⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,268 | 0,235 | -0,207 | 0,078 | -0,086 | -0,097 | -0,506 | 0,570 | 0,122 | -0,167 |
| Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,252 | -0,185 | -0,373* | -0,075 | 0,108 | 0,394 | 0,061 | -0,284 | -0,128 | -0,002 |
| Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) | 0,211 | -0,018 | -0,425* | -0,118 | -0,350 | -0,512 | 0,072 | 0,031 | -0,076 | 0,264 |
| Soma de bases (cmol _c dm ⁻³) | 0,295 | -0,099 | -0,393* | -0,063 | 0,004 | 0,190 | -0,067 | -0,060 | -0,036 | 0,044 |
| CTC (cmol _c dm ⁻³) | -0,081 | 0,256 | -0,372* | -0,518* | 0,102 | -0,027 | 0,120 | -0,120 | -0,105 | -0,493 |
| Saturação por bases (%) | 0,304* | -0,262 | -0,133 | 0,280 | -0,027 | 0,167 | -0,093 | 0,003 | 0,018 | 0,297 |
| Al (mg dm ⁻³) | -0,332* | 0,124 | -0,189 | 0,197 | 0,016 | 0,303 | -0,288 | 0,016 | -0,125 | 0,007 |
| Cu (mg dm ⁻³) | -0,247 | -0,227 | -0,323* | 0,256 | 0,048 | -0,124 | 0,128 | -0,238 | 0,393 | 0,031 |
| Zn (mg dm ⁻³) | 0,068 | 0,461* | -0,132 | 0,355 | 0,149 | -0,068 | 0,298 | -0,026 | -0,008 | 0,048 |
| Mn (mg dm ⁻³) | 0,068 | 0,461* | -0,132 | 0,355 | 0,149 | -0,068 | 0,298 | -0,026 | -0,008 | 0,048 |
| Fe (mg dm ⁻³) | -0,250 | -0,203 | -0,215 | -0,190 | 0,261 | 0,174 | 0,396 | 0,652 | 0,263 | 0,173 |

Nota: P – Fósforo; H+Al – Acidez potencial; Al³⁺ – Acidez trocável; K⁺ – Potássio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; CTC – Capacidade de troca catiônica; Cu – Cobre; Zn – Zinco; Mn – Manganês; Fe – Ferro; *Caracteres com scores selecionadas dentro de cada fator. O critério para classificação foi: valor absoluto <0,30, considerado pouco significativo; 0,30–0,40, mediamente significativo; e ≥0,50, altamente significativo, de acordo com Coelho (2003).

Os atributos químicos do solo (16 variáveis originais) foram agrupados em quatro componentes, e o ajuste do modelo foi capaz de explicar 84,6% das variâncias das variáveis com autovalores maiores que 1, de acordo com o critério de Kaiser (1960). O primeiro componente explicou 40,6% (Figura 2a) da variabilidade química do solo da área experimental. Esse componente é constituído pelos pelo pH em CaCl₂, a acidez trocável (Al³⁺), a soma de bases e a concentração de Al. Vale ressaltar que embora sejam os atributos que mais expliquem a variância da primeira componente estes atributos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (grupos na PCA), o que sugere que as estas variações ocorreram, predominantemente dentro dos grupos, ou que as variações dentro dos tratamentos foi tão expressiva quanto entre eles.

Pelo gráfico de carregamentos (b), na Figura 15, é possível observar graficamente a relação positivo do pH e da saturação por bases com a primeira componente principal, bem como a correlação negativa com a acidez potencial e a concentração de alumínio total. Estas variáveis são relacionadas entre si, considerando que em solos argilosos, a diminuição da saturação por bases, por perdas de Ca, Mg e K, acarreta a redução do pH e, conseqüentemente, quebra dos minerais de argila e liberando íons de Al, que concorrem pelos os sítios ativos LOPES (1998).

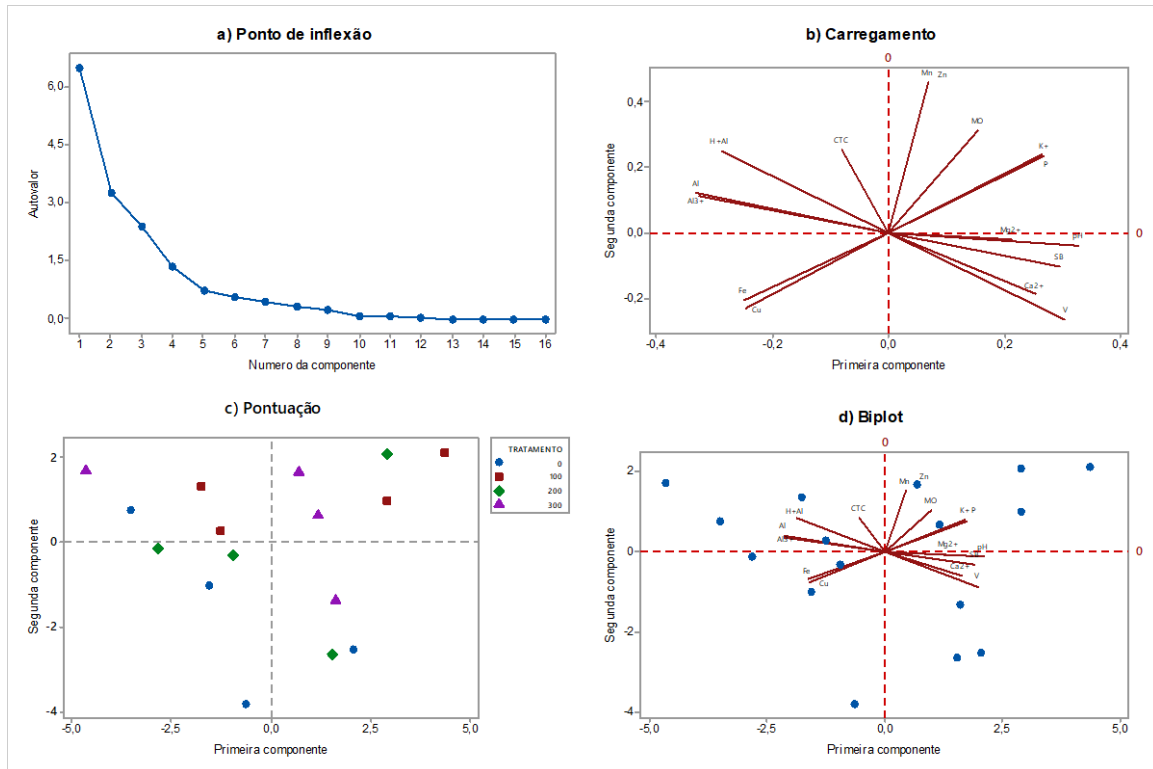


Figura 15 Gráficos da avaliação componentes principais para o conjunto de dados de atributos do solo 24 meses após o início do experimento

A proporção acumulada entre o primeiro e o segundo componente explicou 61,0% da variabilidade, e as concentrações de zinco e magnésio foram os constituintes mais representativos, com maior carga fatorial de 0,461, dentro desta componente. Pelo gráfico de score (c) a relação dos tratamentos T0 e T3, com a primeira componente, indicadas por agrupamentos desses pontos, a esquerda e à direita do zero, respectivamente. Esta distribuição fornece indícios da influência das taxas de irrigação, nas variáveis Saturação por bases e pH, positivamente e acidez trocável, acidez potencial e Al negativamente.

5.3 Correlação entre atributos do solo irrigado com efluente de abatedouro de aves e produção florestal

Para o entendimento da relação entre os atributos do solo irrigado e não irrigado, com as variáveis dendrométricas e de produção florestal, procedeu-se, primeiramente, a análise de correlação univariada de Pierson (Tabela 14).

Para as análises pré-irrigação, aos 18 meses de idade da floresta, foram observadas poucas correlações moderadas, acima de 0,6, e apenas uma forte correlação (significativa a 5% de significância) entre a mortalidade média e a acidez potencial. Aos 43 meses de idade, após 24 meses de irrigação para os tratamentos T1, T2 e T3, constatou-se fortes correlações positivas entre as concentrações de potássio e as variáveis dendrométricas individuais: diâmetro à altura do peito (DAP), área basal média dos indivíduos (g) e volume individual médio (v), além do incremento médio anual. Sette Jr. et al. (2010) avaliando o crescimento em diâmetro de *E.grandis*, relacionado a aplicação de potássio, constataram crescimento superior, com incremento acumulado no período total de 24 meses de 4,14 cm. Além Novais et al. (1986), Andrade et al. (1994), Faria et al. (2002) e Silveira & Gava (2014) que também observaram o efeito positivo da adubação potássica no crescimento das árvores de eucalipto.

Tabela 14 Matriz de correlação univariada de Pierson para o conjunto de variáveis florestais em função das variáveis de solo aos 24 meses do experimento.

| Variáveis | | Trat. | P | M.O. | pH | H+Al | Al ³⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | CTC | Al | Cu | Zn | Mn | Fe |
|--|--|--------------|--------------|-------|-------|---------------|------------------|----------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pré irrigação | Mort. (%) | - | 0,14 | -0,06 | -0,35 | -0,72* | 0,51 | 0,19 | 0,11 | 0,25 | -0,16 | 0,30 | -0,10 | -0,05 | -0,30 | -0,12 |
| | DAP (cm) | - | 0,02 | 0,16 | -0,24 | -0,11 | -0,23 | -0,25 | -0,55 | -0,34 | -0,53 | 0,05 | -0,12 | -0,39 | 0,06 | -0,25 |
| | g (cm ²) | - | 0,18 | 0,19 | -0,42 | -0,38 | -0,06 | -0,09 | -0,54 | -0,23 | -0,60 | 0,16 | -0,30 | -0,41 | -0,08 | -0,33 |
| | G (m ² ha ⁻¹) | - | 0,24 | -0,05 | -0,11 | -0,47 | 0,01 | -0,07 | -0,17 | -0,17 | -0,36 | 0,10 | -0,47 | -0,15 | -0,20 | -0,03 |
| 18 meses de idade | Hd (m) | - | 0,18 | 0,19 | -0,42 | -0,38 | -0,06 | -0,09 | -0,54 | -0,23 | -0,60 | 0,16 | -0,30 | -0,41 | -0,08 | -0,33 |
| | v (m ³) | - | 0,18 | 0,19 | -0,42 | -0,36 | -0,07 | -0,10 | -0,54 | -0,24 | -0,60 | 0,16 | -0,29 | -0,41 | -0,08 | -0,32 |
| | V (m ³ ha ⁻¹) | - | 0,24 | -0,05 | -0,09 | -0,46 | 0,00 | -0,07 | -0,16 | -0,17 | -0,35 | 0,09 | -0,46 | -0,14 | -0,20 | -0,02 |
| | IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | - | 0,24 | -0,05 | -0,09 | -0,46 | 0,00 | -0,07 | -0,16 | -0,17 | -0,35 | 0,09 | -0,46 | -0,14 | -0,20 | -0,02 |
| 43 meses de idade | Mort. (%) | 0,21 | 0,38 | 0,21 | 0,16 | 0,12 | 0,13 | 0,12 | -0,22 | -0,37 | -0,01 | 0,14 | -0,17 | 0,50 | 0,11 | 0,03 |
| | DAP (cm) | 0,76* | 0,29 | 0,40 | -0,05 | 0,00 | -0,12 | 0,76* | 0,09 | 0,55 | 0,28 | -0,13 | -0,26 | 0,19 | 0,13 | -0,26 |
| | g (cm ²) | 0,83* | 0,37 | 0,44 | -0,02 | 0,02 | -0,12 | 0,80* | 0,08 | 0,52 | 0,29 | -0,13 | -0,30 | 0,27 | 0,16 | -0,26 |
| | G (m ² ha ⁻¹) | 0,67 | 0,38 | 0,62 | -0,11 | 0,12 | -0,16 | 0,64 | -0,12 | 0,44 | 0,26 | -0,16 | -0,42 | 0,35 | 0,40 | -0,34 |
| | Hd (m) | 0,42 | 0,77* | 0,01 | 0,51 | -0,16 | -0,53 | 0,57 | 0,20 | 0,33 | 0,16 | -0,53 | -0,47 | 0,20 | 0,47 | -0,32 |
| | v (m ³) | 0,82* | 0,37 | 0,44 | -0,02 | 0,02 | -0,12 | 0,80* | 0,08 | 0,52 | 0,29 | -0,13 | -0,30 | 0,27 | 0,16 | -0,26 |
| | V (m ³ ha ⁻¹) | 0,66 | 0,37 | 0,62 | -0,11 | 0,12 | -0,16 | 0,64 | -0,13 | 0,44 | 0,26 | -0,16 | -0,42 | 0,35 | 0,40 | -0,34 |
| IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹) | 0,81* | 0,37 | 0,62 | -0,11 | 0,12 | -0,16 | 0,64 | -0,13 | 0,44 | 0,26 | -0,16 | -0,42 | 0,35 | 0,40 | -0,34 | |

Nota: P – Fósforo; H+Al – Acidez potencial; Al³⁺ – Acidez trocável, K⁺ – Potássio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; CTC – Capacidade de troca catiônica; ; Cu – Cobre; Zn – Zinco; Mn – Manganês; Fe – Ferro; ; DAP – Diâmetro à altura do peito; g – área basal individual média; G – área basal estimada por hectare; Hd – altura dominante; v – volumes individuais; V, volume estimado por hectare; IMA – Incremento médio anual. * Forte ou muito forte correlação, significativo a 5% de significância.

A altura dominante (Hd), a altura das árvores com maior DAP, apresentou forte correlação positiva com as concentrações de fósforo no solo. Novais et al. (1982) para a cultura do eucalipto apontou que níveis críticos de fósforo no solo podem ser responsáveis por até 80 % da altura máxima de mudas, aos 85 dias de idade das plantas. Além disso,

Ismael et al. (1998) obtiveram correlação de 0,95% entre as doses de fósforo e a altura de do *E. grandis*.

Em relação aos tratamentos, foi possível observar fortes correlações com as variáveis dendrométricas, relativas às médias dos indivíduos, e correlação moderada com as variáveis de produtividade do povoamento, área basal por hectare (G), volume por hectare (V) e incremento médio anual (IMA). Os tratamentos não apresentaram correlação significativa com a altura dominante e a mortalidade média.

Considerando que a variação do conjunto de variáveis florestais sofre influência dos diferentes atributos químicos do solo e das taxas de irrigação, de forma indissociável neste experimento, fez-se necessária uma avaliação multivariada dessas matrizes de dados. Assim, para avaliar a relação entre a matriz de dados de atributos do solo, com as variáveis dendrométricas, procedeu-se a análise de correspondência canônica – CCA.

Após uma análise de correlação univariada de Pierson, foram excluídas as variáveis edáficas que apresentaram alta redundância ($r > 0,7$), sendo excluídas as variáveis H+Al, Mg^{2+} , soma de bases (SB), saturação por bases (V), Al e Al^{3+} ; e para a matriz de dados florestais foram eliminadas as variáveis área basal média dos indivíduos (g) e mortalidade.

Os dados de atributos de solo, por apresentarem escalas muito diversas, foram padronizados por meio da subtração da média e divisão pelo desvio padrão conhecido como z-score. As variáveis de solo foram transformadas por meio da raiz quadrada (HAIR et al., 2009).

Os autovalores da CCA para os dois primeiros eixos de ordenação (Tabela 15) evidenciaram o gradiente das variáveis dendrométricas e produtivas, das parcelas experimentais.

Tabela 15 Análise de correspondência canônica para as matrizes de dados de atributos de solo florestal e dendrometrias, após 24 meses do início do experimento

| Eixos | 1 | 2 | 3 |
|--|------------------|---------|----------|
| Autovalores | 0,029 | 0,0002 | 2,45E-05 |
| Variância dos dados dendrométricos (%) | 99,14 | 0,7768 | 0,083 |
| Variância acumulada dos dados dendrométricos (%) | 99,14 | 99,91 | 99,99 |
| Correlações internas (<i>Intraset</i>) | | | |
| P (mg dc ⁻³) | -0,1491 | -0,2400 | 0,129767 |
| Matéria orgânica (g dc ⁻³) | 0,9664** | -0,1157 | -0,007 |
| pH in CaCl ₂ | 0,6797* | 0,1312 | 0,091899 |
| K ⁺ (cmolc dm ⁻³) | -0,6289* | -0,1950 | -0,16142 |
| Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³) | -0,8676** | 0,0587 | -0,01244 |
| Cu (mg dm ⁻³) | -0,8890** | 0,0151 | -0,08005 |
| Zn (mg dm ⁻³) | -0,2244 | 0,3617 | -0,27877 |
| Mn (mg dm ⁻³) | 0,2379 | -0,2319 | 0,01763 |
| Fe (mg dm ⁻³) | -0,0216 | -0,1374 | -0,11509 |

Nota: P – Fósforo; H+Al – Acidez potencial; Al^3 – Acidez trocável, K⁺ - Potássio; Ca²⁺- Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; CTC – Capacidade de troca catiônica; Cu – Cobre; * Forte correlação com o eixo; * Moderada correlação com o eixo.

O eixo 1 ilustrou a existência de uma separação do grupo de pontos referente à coleta de dados aos 18 meses de idade da floresta, à esquerda do eixo e à direita do eixo aos 34 meses de idade (Figura 16 a). Em relação ao segundo eixo, é possível verificar um ordenamento e distanciamento dos pontos em função dos tratamentos. Reunidos, os três primeiros eixos da ordenação concentram 99,99% da variação global, com uma baixa variância remanescente não explicada. Assim, as variáveis edáficas e taxas de irrigação aplicadas explicaram satisfatoriamente a variação das características dendrométricas e produtivas da floresta.

O teor de matéria orgânica apresentou forte correlação positiva com primeiro eixo de ordenação e as concentrações de cálcio, e cobre apresentaram forte correlações negativa com este eixo (superiores a 0,7). Os atributos pH em CaCl_2 e potássio, apresentaram correlações moderadas positiva e negativa, respectivamente. Em relação ao segundo eixo, as variáveis edáficas não apresentaram correlação forte ou moderada, mas os valores mais expressivos de correlação foram observados para o zinco e fósforo, respectivamente.

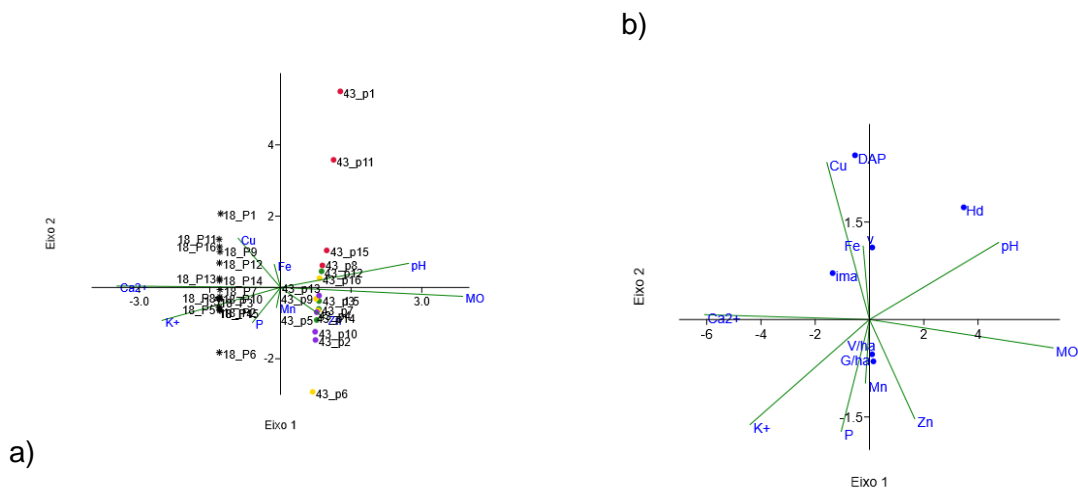


Figura 16 Diagrama de ordenação das parcelas e variáveis ambientais edáficas nos dois primeiros eixos de ordenação (a) e variáveis dendrométricas de produção florestal (b) produzidos pela análise de correspondência canônica (CCA)

Por meio da análise gráfica do diagrama de ordenações (Figura 16 b) podemos inferir que a altura dominante (Hd) é positivamente correlacionada com o teor de matéria orgânica no solo, bem como com o pH, ao passo que esta variável dendrométrica é afetada negativamente pelo aumento das concentrações de cálcio e potássio. A variável incremento médio anual (IMA), apresentou relação contrária com esses atributos do solo, é influenciado, positivamente pelo cálcio e pelo potássio e negativamente pelo aumento do pH e do teor de matéria orgânica.

A os pontos referentes área basal por hectare (Gha) e o volume por hectare (Vha) foram plotados muito próximos ao zero, para ambos os eixos, o que pode indicar pouca variação positiva destas variáveis em função das concentrações de zinco e negativas em função das concentrações de cobre. Os volumes individuais e DAP também tendem a aumentar em função das doses de cobre e ferro, entretanto são negativamente correlacionados com o zinco e fósforo. Grande parte dessas relações podem ser explicadas em função de sintomas de toxicidade causada pelo Zn, caracterizados por redução no crescimento e clorose de folhas, semelhantemente à deficiência de Fe, além de deficiência de outros nutrientes como resultado da inibição competitiva que o Zn pode exercer na absorção de outros íons (MALAVOLTA & VITTI, 1997; SOARES et al., 2001). Ismael et al. (1998) observaram, em relação aos teores atípicos de zinco em solução nutritiva, efeito negativo acentuado sobre o crescimento do eucalipto. Os autores atribuem os efeitos negativos ao efeito do Zn sobre a translocação do Fe absorvido para a parte aérea, resultando em um menor crescimento em diâmetro e incremento de volume.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se deste trabalho, em relação aos objetivos propostos que:

a. Os modelos hipsométricos que melhor descrevem a relação diâmetro à altura do peito e altura total para povoamentos jovens, equiâneos, de *E. urophylla*, clone AEC224, sobre Latossolo, na região oeste do Paraná (sul do Brasil) são os modelo hiperbólico, e Naslünd, com erro padrão médio de 0,6 m; e o modelo volumétrico com ajuste mais acurado foi o de Dissescu-Meyer, com erro padrão médio de 0,017 m³.

b. Há uma correlação positiva e significativa entre o incremento médio anual e as taxas de aplicação de efluentes testadas. Os tratamentos apresentaram efeitos significativos para o diâmetro à altura do peito, área basal individual, área basal por hectare, volume individual e volume por hectare. A taxa de irrigação de 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ produziu as médias mais altas para todas estas variáveis. Esta taxa de irrigação colaborou para um incremento 92% superior para este tratamento em relação à testemunha.

c. As taxas de irrigação influenciaram nas concentrações de fósforo e potássio do solo, aos 24 meses de irrigação. A taxa de irrigação de 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ foi a que apresentou as concentrações mais altas deste nutriente. O tratamento de 100 m³ha⁻¹dia⁻¹ exerceu influência sobre as taxas de cobre e zinco do solo.

d. Houve relação entre a altura dominante das árvores e as concentrações de matéria orgânica e pH do solo, e negativa com o cálcio e potássio. O diâmetro à altura do peito se correlaciona de forma positiva com as concentrações de ferro e cobre e negativamente com zinco e manganês.

5 CONCLUSIONS

It is concluded from this work, in relation to the proposed objectives that:

a. The hypsometric models that best describe the relationship between diameter and height of the chest and total height for *E. urophylla* young clusters, AEC224 clone, on Latosol, in the western region of Paraná (southern Brazil) are the hyperbolic model, and Naslünd, with mean standard error of 0.6 m; and the most accurate volumetric model was the Dissescu-Meyer model, with an average standard error of 0.017 m³.

b. There is a positive and significant correlation between the average annual increment and the rates of effluent application tested. The treatments had significant effects for diameter at breast height, individual basal area, basal area per hectare, individual volume and volume per hectare. The irrigation rate of 300 m³ day⁻¹ produced the highest averages for all these variables. This irrigation rate contributed to a 92% increase for this treatment in relation to the control.

c. Irrigation rates influenced concentrations of phosphorus and potassium in soil, at 24 months of irrigation. The irrigation rate of 300 m³ha⁻¹dia⁻¹ was the one with the highest concentrations of those nutrients. The treatment of 100 m³ha⁻¹dia⁻¹ exerted influence on the copper and zinc rates of the soil.

d. There was a positive relation between the dominant height of the trees and the concentrations of organic matter and pH of the soil, and negative with calcium and potassium. The diameter at breast height correlates positively with iron and copper concentrations and negatively with zinc and manganese.

5 CONCLUSIONES

Se concluye de este trabajo, en relación a los objetivos propuestos que:

a. Los modelos hipsométricos que mejor describen la relación diámetro a la altura del pecho y la altura total para poblados jóvenes, equiáneos, de *E. urophylla*, clone AEC224, sobre Latossolo, en la región oeste de Paraná (sur de Brasil) son los modelos hiperbólicos, y Naslünd, con error estándar medio de 0,6 m; y el modelo volumétrico con ajuste más acurado fue el de Dissescu-Meyer, con error estándar medio de 0,017 m³.

b. Hay una correlación positiva y significativa entre el incremento medio anual y las tasas de aplicación de efluentes probadas. Los tratamientos presentaron efectos significativos para el diámetro a la altura del pecho, área basal individual, área basal por hectárea, volumen individual y volumen por hectárea. La tasa de irrigación de 300 m³ha⁻¹ día⁻¹ produjo los promedios más altos para todas estas variables. Esta tasa de irrigación colaboró para un incremento del 92% superior para este tratamiento en relación al testigo

c. Las tasas de irrigación influenciaron en las concentraciones de fósforo y potasio del suelo, a los 24 meses de irrigación. La tasa de irrigación de 300 m³ha⁻¹ día⁻¹ fue la que presentó las concentraciones más altas de este nutriente. El tratamiento de 100 m³ha⁻¹ día⁻¹ ejerció influencia sobre las tasas de cobre y zinc del suelo.

d. Se observó una relación entre la altura dominante de los árboles y las concentraciones de materia orgánica y pH del suelo, y negativa con el calcio y el potasio. El diámetro a la altura del pecho se correlaciona de forma positiva con las concentraciones de hierro y cobre y negativamente con zinc y manganes.

5 CONCLUSIONES

A partires deste traballo, se conclúe en relación aos obxectivos propostos que:

a. Os modelos hipsométricos que mellor describen a relación entre o diámetro á altura do peito e a altura total para poboacións novas, equidistantes, de *E. Urophylla*, clon AEC224, sobre Latossolo, na rexión oeste do Paraná (sur do Brasil), son os modelos hiperbólico, e Naslünd, con erro típico medio de 0,6 m; e o modelo volumétrico con axuste máis exacto foi o de Dissescu-Meyer, con erro típico medio de 0,017 m³.

b. Existe unha correlación positiva e significativa entre o incremento medio anual e as doses de aplicación de efluentes testadas. Os tratamentos presentaron efectos significativos para o diámetro á altura do peito, a área basal individual, a área basal por hectárea, o volume individual e o volume por hectárea. A taxa de rega de 300 m³ ha⁻¹ día⁻¹ produciu as medias máis altas para todas estas variables. Esta dose de irrigación incrementou 92% en relación á testemuña.

c. As doses de irrigación influenciaron as concentracións de fósforo e potasio do solo aos 24 meses de irrigación. A dose de rega de 300 m³ ha⁻¹ día⁻¹ presentou as concentracións máis altas destes nutrientes. O tratamento de 100 m³ ha⁻¹ día⁻¹ exerceu influencia sobre os contidos de cobre e zinc do solo.

d. Existe unha relación entre a altura dominante das árbores e as concentracións de materia orgánica e o pH do solo, e negativa con o calcio e o potasio. O diámetro á altura do peito se relaciona de forma positiva con as concentracións de ferro e cobre e negativamente con as de zinc e manganeso.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora tenham sido observados bons resultados em relação à disposição de efluentes tratados de abatedouro de aves, em altas taxas, tanto no crescimento florestal e produção de madeira, quanto na manutenção dos estoques de nutrientes do solo, recomenda-se, para um entendimento completo deste processo, a avaliação de águas superficiais e subterrâneas e áreas adjacentes às parcelas, além de avaliação de micro e macro faunas relacionadas ao solo. Além disso, recomenda-se a investigação detalhada das respostas florestais às doses em outras faixas etárias.

Sobre a replicabilidade, destacamos que cada tipo de efluente possui características próprias, que variam desde sua origem na indústria até a forma de tratamento e disposição e a carga orgânica poluente destes efluentes deve ser levada em conta antes do planejamento da disposição em taxas de irrigação muito altas, como neste estudo.

Por fim, a disposição de efluentes tratados por sistema de irrigação por gotejamento apresentou-se como boa alternativa, já que promoveu a distribuição uniforme dos efluentes, favorecendo a infiltração no solo. Certamente o sistema de filtração necessita de especial atenção, já que os sólidos suspensos e gorduras são os principais agentes de entupimento dos gotejadores, neste caso.

7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G. D. Aspectos legais para a água de reúso. **Vértices**, v. 13, n. 2, p. 31–43, 2011.
- ALVES, M. E. B.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; NEVES, J. C. L. Estimate of the crop coefficient for eucalyptus cultivated under irrigation during initial growth. **Cerne**, v. 19, n. 2, p. 247–253, 2013.
- AMORIM, A. K. B.; NARDI, I. R. DE; NERY, V. DEL. Water conservation and effluent minimization : Case study of a poultry slaughterhouse. v. 51, p. 93–100, 2007.
- ANDRADE, A. D., VITAL, B., BARROS, N. D., DELLA LUCIA, R. M., CAMPOS, J., & VALENTE, O.; Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, v.18, n.1, p.69-78, 1994.
- ARIENZO, M.; CHRISTEN, E. W.; QUAYLE, W.; KUMAR, A. A review of the fate of potassium in the soil – plant system after land application of wastewaters. **Journal of Hazardous Materials journal**, v. 164, p. 415–422, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório Anual 2016**. Relatório Anual, p. 136, 2016.
- AVERY, L. M.; KILLHAM, K.; JONES, D. L. Survival of E . coli O157 : H7 in organic wastes destined for land application. **Journal of Applied Microbiology**, 98, 814–822 p. 814–822, 2005.
- BARROS, D. A. de; MACHADO, S. A.; JÚNIOR, F. W. A.; SCOLFORO, J. R. Comportamento de Modelos Hipsométricos Tradicionais e Genéricos para Plantações de Pinus oocarpa em Diferentes Tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 45, p. 3-28,2002.
- BASSACO, M. V. M.; MOTTA, A.C.V.;PAULETTI, V.P.; STEPHEN A. N.; FERREIRA S; Nitrogen, phosphorus, and potassium requirements for *Eucalyptus urograndis* plantations in southern Brazil. **New Forests**, v. 49, n. 5, p. 681–697, 2018.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; FILHO, D. F. S. Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- BATISTA, R. O.; MATOS, A. T. de; CUNHA, F. F. da; MONACO, P. A. Lo. Obstrução de gotejadores utilizados para a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Irriga**, v. 10, n. 3, p. 288–294, 2005.
- BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.17, n.7, p.698–705, 2013.
- BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MARIN, O. L. Z.; SOUZA, J. A. R.; SARTORI, M. A.; OLIVEIRA BATISTA, R. Eficiencia del tratamiento químico em la prevención del taponamiento de goteros aplicando agua residual sanitaria tratada. **Dyna**, v.76, p.149- 157, 2009
- BATTIE-LACLAU, P.; Delgado-Rojas, J.S.; Christina, M.; Nouvellon, Y.; Bouillet, J.P.; Piccolo, M.C.; Moreira, M. Z.; Gonçalves, J. L. M., Rouspard, O.; Laclau J.P.; Potassium fertilization increases water-use efficiency for stem biomass production without affecting intrinsic water-use efficiency in *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 364, p. 77–89, 2016.
- BELLAVER, C., OLIVEIRA, P.A.; Balanço da água nas cadeias de aves e suínos. **Revista Avicultura Industrial**, Edição 1183, Número 10. 2009 . São Paulo.

- BELLOTE, A.F.J.; FERREIRA, C.A. 1993. Nutrientes minerais e crescimento de árvores adubadas de *Eucalyptus grandis*, na região do cerrado, no Estado de São Paulo. **Boletim Pesquisa Florestal**, 26/27: 17-65.
- BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. & NEVES, J.C.L. Respostas de mudas de eucalipto a camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, 10:181-195, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento. Portaria nº 210 de 10 de novembro de 1998. Secretaria de Defesa Agropecuária.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resoluções do CNRH. Brasília, 2005; http://www.cnrh.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=14. Acesso em: 15 set 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resoluções do CONAMA. Brasília, 2011; Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3> >Acesso em: 15 set 2018.
- BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 287–302, 2015.
- CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water Quality and Distribution Uniformity in Drip/Trickle Irrigation Systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 70, n. 4, p. 355–365, 1998.
- CASTRO, C. A. de O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016.
- CHAPMAN, H. H.; MEYER, W.H. **Forest mensuration**. New York: Mcgraw-Hill, 1949. 522 p.
- CHEIS, D. Falta de normas técnicas para reúso de água ainda é um problema no país. **Revista TAE**, v. 12, n. 2, p. 1–4, 2013.
- CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela agricultura irrigada. **Revista Política Agrícola**, p. 17–25, 2015.
- COARUCCI FILHO, B.; VERONEZ, A. H. Irrigação de Eucalipto com Efluente Sanitário de Lagoa Facultativa : Eficiência do Sistema Solo-Planta no Pós-Tratamento. **Artigos técnicos**, 2014.
- COELHO, A.M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVARES V., V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.259-290.
- DE RETSLAFF, F. A. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; BERNETT, L. G.; FIGURA, M. A. Curvas de sítio e relações hipsométricas para *eucalyptus grandis* na região dos Campos Gerais, Paraná. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 219–225, 2015.
- DEGENS, B. P., SCHIPPERA, L. A., SPARLINGA, G. P., VOJVODIC-VUKOVIC, M. Decreases in organic C reserves in soils can reduce the catabolic diversity of soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 189-196, 2000.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179 p.

- DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. a.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302–310, 2008.
- EL-NAHHAL, Y.; TUBAIL, K. SAFI, M.; SAFI, J.; Effect of Treated Waste Water Irrigation on Plant Growth and Soil Properties in Gaza Strip, Palestine; **American Journal of Plant Sciences**; v. 4, n.1736-1743, 2013.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro, 2018.
- FARIA, G. E.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LIMA, J.C.; TEIXEIRA, J. L.; Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. **Revista Árvore**, v.26, n.5, p.577-584, 2002.
- FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. DE. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica, **Ciência Florestal**, v. 45, n. 1, p. 29–34, 2015.
- GERBENS-LEENES, P. W.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The water footprint of poultry , pork and beef : A comparative study in different countries and production systems. **Water Resources and Industry**, v. 1–2, p. 25–36, 2013.
- GONÇALVES, J. L. D. M. Recomendações de Adubação para Eucalyptus, Pinus e Espécies Típicas da Mata Atlântica. In: **Documentos Florestais**. p. 1–23, 1995.
- GRATTAPAGLIA, D. Genolyptus-Rede Brasileira de Pesquisa do Genoma de Eucalyptus. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 61. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/306094/1/doc62.pdf#page=57> >. Acessado em: Maio, 2018.
- GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Effect of meatworks effluent irrigation on soil, tree biomass production and nutrient uptake in *Eucalyptus globulus* seedlings in growth cabinets. **Bioresource Technology**, v. 72, n. 3, p. 243–251, 2000.
- GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Soil response to eucalypt tree planting and meatworks effluent irrigation in a short rotation forest regime in New Zealand. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 3, p. 341–347, 2003.
- HAIR Jr., J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E. & TATHAM, R.L. Análise multivariada de dados. 6.ed. Porto Alegre, Bookman, 2009. 688p.
- HERMES, E.; ANTONIO, M.; BOAS, V.; RODRIGUES, L. N.; MELO, E. L. De. Process capacity index in drip irrigation with cassava wastewater processing. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 12, p. 1427–1433, 2015.
- HUBBARD, R. M.; STAPE, J.; RYAN, M. G.; ALMEIDA, A. C.; ROJAS, J. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1714–1721, 2010.
- IBÁ, Instituto Brasileiro de Produtores de Árvores. Relatório anual. São Paulo: 204 p. 2015.
- ISMAEL, J. J.; VALERI, S. V.; CORRADINI, L.; et al. Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em quatro tipos de solos. **SCIENTIA FORESTALIS**, v. 54, p. 29–40, 1998.
- Jiménez B.; Wastewater Reuse to Increase Soil Productivity. **Water Science and Technology**; v.32, p. 173–180. 1995
- Kaiser, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v.20, p141-151, 1960.
- KINRAIDE T.B. Identity of the rhizotoxic aluminum species. *Plant Soil* 134:167–178,1991.

- KIST, B. B.; SANTOS, C. E. DOS; CARVALHO, C. DE; MÜLLER, I.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro de aves e suínos 2015**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2015
- KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237- 260, 1995.
- LACLAU, J.-P., LEVILLAIN, J., DELEPORTE, P., NZILA, J.D.D., BOUILLET, J.-P., SAINT ANDRÉ, L., VERSINI, A., MARESCHAL, L., NOUVELLON, Y., THONGO M'BOU, A., RANGER, J.; Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in Eucalyptus plantations established on a sandy tropical soil. **Forest Ecology Management**. 260, 2148–2159, 2010.
- LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. Stomatal responses of Eucalyptus species to elevated CO₂ concentration and drought stress. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003.
- LI, Z.; SHUMAN, L.M. Heavy metal movement in metal-contaminated soil profiles. **Soil Science**, Baltimore, v. 161, n. 10, p. 656-666, 1996.
- LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 745–756, 2009
- LOPES, A.S., FOLEGATTI, M. V., OLIVEIRA, G.Q.; FANAYA JÚNIOR, E.D.; BELCHIOR, I. B.; BRITO, K.R. M. Evaluation of wood volume in young eucalyptus trees with and without irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 18, n. 10, p. 1079–1085, 2014.
- LOPES, A. S. M.; Manual internacional de fertilidade do solo. 2a ed. Piracicaba: POTAFOS, 1998.
- MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; Dendrometria. Curitiba, 309p. 2003.
- MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L. URBANO, E. Modelagem volumétrica para bracinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da região metropolitana de Curitiba. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.56, p.17-29, 2008.
- MACHADO, S. A.; BAILEY, R. L.; BASSO, S. F.; BEVILACQUA JUNIOR, V. G. Análise do comportamento da relação hipsométrica com respeito à idade para plantações de *Pinus elliotti* no Paraná. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 5-12, 1994.
- MACHADO, S. D. A.; URBANO, E.; CONCEIÇÃO, M. B. DA. Comparação de métodos de estimativa de volume para *Pinus oocarpa* em diferentes idades e diferente regimes de desbastes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 50, p. 81–98, 2005.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNCZIK A. L. D.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TÉO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 56, p. 5-16, 2008b.
- MACHADO, S. A.; AGUIAR, L. P.; FIGUEIREDO FILHO, A.; KOEHLER, H. S. Modelagem do volume do povoamento para *Mimosa scabrella* Benth. na região metropolitana de Curitiba. **Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 465-478, 2008c.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p. 1997.
- MARINHO, E. L. D. O.; CORAUCCI FILHO, B.; ROSTON, D. M.; et al. Evaluation of the productivity of irrigated *Eucalyptus grandis* with reclaimed wastewater and effects on soil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 225, n. 1, 2014.
- MARONEZE, M. M.; ZEPKA, L. Q.; VIEIRA, J. G.; QUEIROZ, M. I.; JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2014.

- MEES, J. B. R.; GOMES, S. D.; HASAN, S. D. M.; GOMES, B. M.; VILAS BOAS, M. A. Nitrogen removal in a SBR operated with and without pre-denitrification: effect of the carbon : nitrogen ratio and the cycle time. **Environmental Technology**, v. 35:1, n. December 2014, p. 115–126, 2013.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. *Ecosystems* p. 401–415, 2012.
- MENDES, A. M. S. Introdução a fertilidade do solo. Barreiras: 2007.
- MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A. Seleção de equações volumétricas para a predição do volume total de *Eucalyptus urophylla* s. t. blake na região norte do Estado de Goiás. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, p. 1372-1386, 2013.
- MINHAS, P. S. S.; YADAV, R. K. K.; LAL, K.; CHATURVEDI, R. K. K. Effect of long-term irrigation with wastewater on growth, biomass production and water use by *Eucalyptus* (*Eucalyptus tereticornis* Sm.) planted at variable stocking density. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 151–160, 2015.
- MINOGUE, P. J. .; MIWA, M.; ROCKWOOD, D. L. .; L.MACKOWIAK, C.; Removal of nitrogen and phosphorus by eucalyptus and populus at a tertiary treated municipal wastewater sprayfield. **International Journal of Phytoremediation**, v. 14, p. 0–14, 2012.
- MITTAL, G. S. Characterization of the Effluent Wastewater from Abattoirs for Land Application Characterization of the Effluent Wastewater from. **Food Reviews International**, v. 20, n. 3, p. 229–256, 2004.
- MITTAL, G. S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application — a review. v. 97, p. 1119–1135, **Bioresource Technology**, 2006.
- MORAES NETO, S. P.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MUNHOZ, D. J. M.; GUMARÃES JÚNIOR, R.; 479 MARCHÃO, R. L. Modelos hipsométricos para *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus grandis* em 480 Sistemas Agrossilvipastoril. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.
- MORAIS, J.; Uniformidade de irrigação por gotejamento usando efluente tratado de abatedouro de aves, Dissertação de mestrado do Programa de Engenharia Agrícola; Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 87p., 2017.
- NASCIMENTO, C.W.A.; FONTES, R.L.F.; NEVES, L.C.L.; MELICIO, A.C.F.D. Fracionamento, dessorção e extração química de Zn em Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.599-606, 2002.
- NERY, V.D.; DAMIANOVIC, M. H. Z.; POZZI, E.; Resources , Conservation and Recycling Long-term performance and operational strategies of a poultry slaughterhouse waste stabilization pond system in a tropical climate. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 71, p. 7–14, 2013.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. **Revista Árvore**, v.6, p.29-37, 1982.
- NYE, P.H. Diffusion of ions and uncharged solutes in soils and soil clays. *Advances in Agronomy*, v.31, p. 225-272, 1979.
- OCDE; FAO. Perspectivas Agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024. p. 1–54, 2015.
- OLIVEIRA, F. G. R. B. de; SOUSA, G. T. de O.; AZEVEDO, G. B. de; BARRETO, P. A. B. Desempenho de modelos hipsométricos para um povoamento de *Eucalyptus urophylla* no município de Jaguaquara, Bahia. **Biosfera**, Goiânia, v.7, n. 13, p. 331-338, 2011.

OLIVEIRA, G.M.V., MELLO, J.M., ALTOÉ, T.F., SCALON, J.D., SCOLFORO, J.R.S., PIRES J.V.; Equações hipsométricas para *Eucalyptus* spp. não manejado em idade avançada com técnicas de inclusão de covariantes. **Cerne**, v. 21, p. 483–492, 2015.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. DOS. Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso, Embrapa Florestas, 2013.

PARANÁ. Conselho estadual do Meio Ambiente. CEMA. Resoluções da CEMA. Curitiba, 2016. <http://www.iap.pr.gov.br/pagina-276.html>. Acessado em 15 de Set. de 2016.

PELISSARI, R. A. Z.; SAMPAIO, S. C.; GOMES, S. D.; CREPALLI, M. S. Lodo têxtil e água residuária da suinocultura na produção de mudas de *eucalyptus grandis* (W, Hill ex Maiden). **Engenharia agrícola**, v. 29, n. 2, p. 288–300, 2009.

QIAN, Y. L.; MECHAM, B. Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways. **Agronomy Journal**, v. 97, n. May, p. 717–791, 2005.

QUININO, R.C., Reis EA, Bessegato LF. O coeficiente de determinação R² como instrumento didático para avaliar a utilidade de um modelo de regressão linear múltipla. Belo Horizonte: UFMG; 1991.

REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T. dos.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de clones de eucalipto em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 34, n. 80, p. 263-269, 2014.

RIBAS, T.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. *Ambiente e Água - Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 3, n. 3, p. 81–94, 31 dez. 2008.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; MELLO, J. M.; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S.; Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp.; **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 22–31, 2010.

ROCHA, C. T. D. DA; CHRISTOFIDIS, D. Vantagens da opção pela agricultura irrigada. **Política Agrícola**, v. 2, p. 17–25, 2015.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, p. 30, 2010.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 355-362, 2003.

SANDOVAL, H.; MENDES, J.; PAULA, N. F. DE. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 603–611, 2013.

SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; CÔRTE, A.P.D.; FERNANDES, L.A.V.; SIQUEIRA, J.D.P. Inventários Florestais: Planejamento e Execução. 2ª Ed. Curitiba – PR, Multi-Graphic, 2009. 316 p.

SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C.R.; MOGNON, F.; DALLA CORTE, A.P.; RODRIGUES, A.L.; MAAS, G.C.B; Ajuste de equações hipsométricas para a estimação da altura total de indivíduos jovens de teca *Hypsometric equations adjustment to estimate the total height of young trees of teak*; **Científica**; v. 43; p. 400–406, 2015.

SANTOS, M. L.; BRASIL NETO, A. B.; PAUMGARTTEN, A. É. A.; RODRIGUES, R. P.; SANTOS, C. R. 513 Estimativa da relação hipsométrica para um povoamento de *Eucalyptus urograndis* no município de Moju, nordeste paraense. **Enciclopédia Biosfera- Goiânia**, v.10, n.19. p.1039-1048, 2014.

- SCOLFORO, J.R.S. Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 393p.
- SEGHATOLESLAMI, M. J.; KAFI, M.; MAJIDI, E. Effect of Drought Stress At Different Growth Stages on Yield and Water Use Efficiency of Five Proso Millet (*Panicum Miliaceum* L.) Genotypes. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 4, p. 1427–1432, 2008.
- SETTE JÚNIOR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. SCrescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* w. hill. ex. maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, v. 34, p. 979–990, 2010.
- SILVA, J. ALVES; MORAES, M.; CECHIN, I. The Influence of Municipal Treated Wastewater on Morpho-Physiological Characteristics of Eucalyptus Plants. **Water Air Soil Pollut**, v. 2130, 2014.
- SILVEIRA, R. L. V. DE A.; GAVA, J. L. Nutrição e Adubação Fosfatada em Eucalyptus. In: Fósforo na Agricultura Brasileira. p. 1–49; 2010.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO FLORESTAL. Produção florestal: Extração de madeira. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/publicacoes/2230-boletim-snif-producao-florestal-2016/file> . Acesso em: setembro jun. 2018
- SMILES, D. E. Sodium and potassium in soils of the Murray – Darling Basin: a note. **Australian Journal of Soil Research**, v. 10, p. 727–730, 2006.
- SOARES, C.P.B.; PAULA NETO. F.; SOUZA, A.L. Dendrometria e inventário florestal. 2. Ed. Viçosa: Editora UFV. 2011. 272 p.
- SOUZA, A. S. DE; SANTOS, J. X. DOS; SOUZA, D. V. modelagem da relação hipsométrica para um povoamento híbrido de eucalipto na Amazônia brasileira. **Biofix**, v. 2, p. 44–53, 2017.
- STAHL, R.S.; JAMES, B.R. Zinc sorption by manganese-oxide-coated sand as a function of pH. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, p. 1291-1294, 1991.
- STAPE, J., BINKLEY, D., RYAN, M., GOMES A.; Water use, water limitation, and water use efficiency in a Eucalyptus plantation. **Bosque** (Valdivia), v. 25, n. 2, p. 35–41, 2004.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G.; FONSECA, S.; LOOS, R.; TAKAHASHI, E. N.; SILVA, C. R.; SILVA, S.; HAKAMADA, R. E.; FERREIRA, J. M.; LIMA, A. M.; GAVA, J. L.; LEITE, F. P.; SILVA, G.; ANDRADE, H.; ALVES, J. M. The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1686-1694, 2010.
- TAHARA, K.; NORISADA, M; HOGETSU, T.; KOJIMA, K.; Aluminum tolerance and aluminum-induced deposition of callose and lignin in the root tips of *Melaleuca* and *Eucalyptus* species. **Journal of Forest Research**, v. 10, n. 4, p. 325–333, 2005.
- TÉO, S. J.; MACHADO, S.D.A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; TOME.; General height-diameter equation with biological attributes for *Pinus taeda* L. STANDS. **Cerne**, v. 23, n. 4, p. 403–411, 2017.
- TZANAKAKIS, V. A.; PARANYCHIANAKIS, N.; LONDRA, P.; ANGELAKIS, A; EFFLUENT application to the land: Changes in soil properties and treatment potential. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 11, p. 1757–1764, 2011.
- US EPA, 2004. Effluent limitations guidelines and new source performance standards for the meat and poultry products point source category. U. S. Environmental Protection Agency (US EPA) Federal Registration 69 (173). <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20002F0Q.PDF?Dockey¼20002F0Q.PDF>. Acessado em 15 de setembro de 2018.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE . 2016. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Production and Trade of All Meats to Expand. Disponível

em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.pdf. Acesso em: 6 de Janeiro de 2019.

VALTA, K., KOSANOVIC, T., MALAMIS, D., MOUSTAKAS, K., LOIZIDOU, M.; Desalination and Water Treatment Overview of water usage and wastewater management in the food and beverage industry. **Desalination and Water Treatment**, v. 53, n. 12, p. 3335–3347, 2015.

VELLINI, A.L.T.T., N.F. DE PAULA, P.L.C.A. ALVES, L.C. PAVANI, C.A.V. BONINE, E.A. SCARPINATI AND R.C. DE PAULA; Respostas fisiológicas de diferentes clones de eucalipto sob diferentes regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v. 32, p. 651–663, 2008.

WWAP. The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs. 2016.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v.39, n.3, p. 594-616. 1993.