

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

LUCIANA CRISTINA DO CARMO SILVA CARVALHO

APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO URBANO COMO SUBSTRATO PARA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata*)

VOLTA REDONDA

2018

LUCIANA CRISTINA DO CARMO SILVA CARVALHO

**APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO URBANO COMO SUBSTRATO
PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fabiana Soares dos Santos

Coorientadora: Dr^a. Carla Andreia da Cunha Martins

Coorientador: Prof. Dr. Afonso Aurélio de Carvalho Peres

Volta Redonda, RJ

2018

Ficha catalográfica automática - SDC/BEM

C331a Carvalho, Luciana Cristina do Carmo Silva
Aproveitamento de lodo de esgoto urbano como substrato para
produção de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) /
Luciana Cristina do Carmo Silva Carvalho; Fabiana Soares dos
Santos, orientadora; Afonso Aurélio de Carvalho Peres,
coorientador. Volta Redonda, 2018.
89 f.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal Fluminense,
Volta Redonda, 2018.

1. Biossólido. 2. Calagem. 3. Salinidade. 4.
Orçamentação parcial. 5. Produção intelectual. I. Título
II. Santos, Fabiana Soares dos, orientadora. III. Peres,
Afonso Aurélio de Carvalho, coorientador. IV. Universidade
Federal Fluminense. Escola de Engenharia Industrial e
Metalúrgica de Volta Redonda.

CDD -

LUCIANA CRISTINA DO CARMO SILVA CARVALHO

**APROVEITAMENTO DE LODO DE ESGOTO URBANO COMO SUBSTRATO
PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental

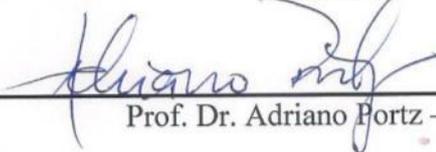
Aprovada em 27 de fevereiro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

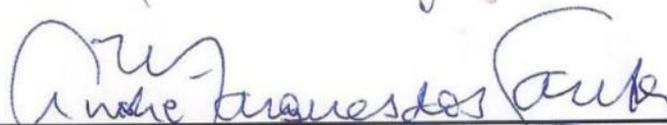


Prof.^a. Dr.^a. Fabiana Soares dos Santos – UFF

Orientadora



Prof. Dr. Adriano Portz – UFF



Prof. Dr. André Marques dos Santos – UFRRJ

Volta Redonda

2018

Dedico este trabalho aos meus pais, Solange e Geziel, mercedores das mais belas alegrias.

E àqueles apaixonados pela pesquisa, pois superam as adversidades e enxergam que o mundo melhor é produto do fazer Ciência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, autor da vida, por sustentar-me e iluminar os meus caminhos.

À minha segunda casa, Universidade Federal Fluminense, de onde levo valiosa aprendizagem.

À orientadora, professora Fabiana Soares dos Santos, pela sabedoria e gentileza, por dedicar com tanto zelo, o seu tempo e conhecimento nesta pesquisa. Sem dúvidas, é uma das minhas maiores referências de vida.

Aos coorientadores, Carla Martins e Afonso Peres, professores de excelência, os quais conquistaram minha admiração e imenso respeito, indispensáveis em minha caminhada.

Às bancas pelo precioso enriquecimento deste trabalho.

Ao SAAE pela receptividade, solicitude e contribuição neste projeto.

Aos professores do programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental pela generosidade e colaboração acadêmica e profissional. Especialmente, aos professores Adriano Portz, Welington Kiffer e Carlos Eduardo Teodoro pelo auxílio em diversos momentos do mestrado.

Aos companheiros de turma do PGTA, Isaac, Pâmela, Leonardo, Silvana, Brisa, Camila, Luana e Lívia, pela troca de conhecimentos e apoio nessa jornada, especialmente as admiráveis Laís, Lucinere, Jéssica e Fernanda pela amizade de valor inestimável.

Às queridas Isabela Amaral, Helena, Isabella Cosiello que atuaram na iniciação científica e Roberta, no estágio desse trabalho. O meu sincero agradecimento pela disposição, alegria, força de vontade, companhia no laboratório, cuidado de nossas sementes e mudinhas de cedro, bem como, pela riquíssima amizade.

Ao técnico do Laboratório de Solos e Água, Alexandre, pelo incentivo e amizade, além das dicas, auxílio nas análises e nos cuidados com as plantas. E aos colegas do Laboratório, Natanael, Frederico, Deborah, Pâmela, Patrícia e Bartolomeu pela importante colaboração.

A toda a minha família, sobretudo, aos meus pais que abraçaram o mestrado junto comigo e com amor me fizeram alcançar esse objetivo. Aos meus irmãos, André e Gustavo, e aos meus sogros, Sueli e Abel, por tanto carinho, preocupação e suporte no decorrer da pós-graduação.

Ao meu lindo esposo Rafael e aos donos dos sorrisos mais cativantes, meus filhos Davi e Cíntia, pela compreensão e carinho nessa trajetória. Sou grata pelo nosso amor que cresce dia após dia. Foi por eles que o meu desejo pelo mestrado transformou-se em força para a sua concretização.

Aos meus amigos, em especial a Vanessa, Lundoí e Marília, que sempre acreditaram em mim, incentivando e caminhando junto para que eu pudesse superar todos os desafios.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente cooperaram no desenvolvimento deste trabalho.

Toda semente plantada em solo fértil e regularmente regada sempre dá bons frutos. O solo não está fora, mas dentro de você. Toda semeadura começa da mente para o coração – e toda colheita parte do coração para o mundo.

Luciaurea

RESUMO

Não obstante a reflexão social no que concerne à relevância do gerenciamento de resíduos sólidos ou ainda, a estreita preocupação que é conferida ao tratamento das águas residuais, a adoção de uma prática segura, adequada e sustentável à destinação do lodo de esgoto, subproduto proveniente dessa etapa do saneamento básico, é imprescindível e, por sua vez, está associada a benefícios que vão além da saúde pública e da preservação ambiental. O lodo, em virtude do processo de higienização o qual é submetido, pode configurar-se biossólido, e ser, portanto, de uso pertinente na agricultura ou silvicultura, frente ao fornecimento de matéria orgânica e de macro e micronutrientes aos vegetais. Contudo, ainda que estabelecida essa importância, estima-se que cerca de 50% do lodo de esgoto que é produzido é destinado a aterros no Brasil. Em vista disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar o aproveitamento do lodo de esgoto urbano, gerado na ETE Ronaldo Gonçalves em Volta Redonda - RJ, como componente do substrato para desenvolvimento de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*). Para tanto, foram analisadas as características microbiológicas do resíduo atentando-se à sua nocividade pela presença de patógenos. A estabilização alcalina foi o tratamento considerado nessa pesquisa, em razão de sua praticidade técnica e operacional, bem como o baixo custo inerente do processo. A calagem demonstrou-se eficiente na redução dos agentes patogênicos, na proporção de 30% de cal hidratada por peso seco de lodo. Posteriormente, o biossólido - associado com vermiculita ou substrato comercial Basaplant[®] - compôs os substratos em diferentes proporções (25, 50, 75 e 100%), utilizados para a semeadura e desenvolvimento do cedro. Foram determinados ainda os teores de nutrientes disponíveis e totais dos tratamentos. E após a colheita, foram tomados os parâmetros de biomassa aérea e radicular, altura, diâmetro do colo, teor relativo de clorofila e de nutrientes do vegetal. O maior desenvolvimento das mudas foi observado no tratamento 100% Basaplant[®], seguido dos tratamentos 25% vermiculita + 75% biossólido e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido. O menor desenvolvimento das mudas cultivadas em maiores proporções de biossólido pode ser decorrente de fatores como o elevado pH e condutividade elétrica ou salinidade dos substratos, além dos teores e interação entre nutrientes, sobretudo, as concentrações de fósforo assimilável. Por conseguinte, através da técnica de orçamentos parciais, verificou-se a relação custo-benefício entre o emprego de vermiculita e substrato comercial com a tecnologia de uso do biossólido na produção de mudas. Foi evidenciado que, sob as condições dessa pesquisa, não é viável a modificação do modelo de cultivo em que se emprega 100% substrato comercial Basaplant[®] para o qual considera diferentes proporções de biossólido, vermiculita e Basaplant[®]. No entanto, os tratamentos 25% vermiculita + 75% biossólido e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido foram recomendados enquanto bons modelos de cultivo, em vista dos ganhos financeiros, de produção e, sobretudo, dos benefícios ambientais pela destinação adequada do lodo de esgoto.

Palavras-chave: Biossólido. Calagem. Caleação. Salinidade. Orçamentação parcial.

ABSTRACT

Despite the social reflection regarding the relevance of solid waste management, or the close concern for wastewater treatment, the adoption of a safe, adequate and sustainable practice for the disposal of sewage sludge, a byproduct from this stage of basic sanitation is essential and, in turn, is associated with benefits that go beyond public health and environmental preservation. The sludge, due to the hygienization process which it subjected, can be biosolids, and therefore be of relevant use in agriculture or forestry, for the supply of organic matter and macro and micronutrients to the plants. However, even if this importance is established, it is estimated that about 50% of the sewage sludge that is produced is destined for landfills in Brazil. The aim of this study was to evaluate the use of urban sewage sludge, generated at the Ronaldo Gonçalves ETE in Volta Redonda - RJ, as a component of the substrate for the development of Australian cedar (*Toona ciliata*) seedlings. For that, the microbiological characteristics of the residue were analyzed considering its harmfulness by the presence of pathogens. The alkaline stabilization was the treatment considered in this research, due to its technical and operational practicality, as well as the low inherent cost of the process. Liming was efficient in the reduction of pathogens in the proportion of 30% hydrated lime per dry weight of sludge. Subsequently, the biosolids - associated with vermiculite or commercial substratum Basaplant[®] - composed the substrates in different proportions (25, 50, 75 and 100%), used for sowing and development of cedar. The available nutrient and total nutrient contents of the treatments were also determined. After the harvest, the parameters of aerial and root biomass, height, diameter of the colon, relative chlorophyll content and nutrients of the plant were taken. The highest development of the seedlings was observed in the 100% Basaplant[®] treatment, followed by the treatments 25% vermiculite + 75% biosolid and 75% Basaplant[®] + 25% biosolid. The lower development of seedlings cultivated in greater proportions of biosolids may be due to factors such as high pH and electrical conductivity or salinity of the substrates, besides the contents and interaction between nutrients, especially the assimilable phosphorus concentrations. Therefore, the cost-benefit relationship between the use of vermiculite and commercial substrate with the technology of using biosolids in the production of seedlings was verified through the technique of partial budgets. It was evidenced that, under the conditions of this research, it is not feasible to modify the cultivation model in which 100% Basaplant[®] commercial substrate is used for one in which it considers different proportions of biosolid, vermiculite and Basaplant[®]. However, the treatments 25% vermiculite + 75% biosolid and 75% Basaplant[®] + 25% biosolid were recommended as good cultivation models, considering the financial gains, production and, above all, the environmental benefits due to the adequate disposal of the sewage sludge.

Keywords: Biosolids. Liming. Calcination. Salinity. Budgeting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma de caleação do lodo de esgoto, p. 28

Figura 2 – Características de *Toona ciliata*: A. Árvores de Cedro australiano; B. Detalhe das folhas alternadas e pecioladas; C. Fruto tipo cápsula; D. Fruto em árvore; E. Sementes aladas, p. 31

Figura 3 – Tratamentos com biossólido, vermiculita e substrato comercial. Superior (esq. para dir.): tratamentos com granulometria fina para análise de CHNOS; e em sacos para mudas. Inferior (esq. para dir.): em solução de CaCl_2 para análise de pH; e para análise de nutrientes, p. 40

Figura 4 – Cultivo de cedro australiano (*Toona ciliata*) com misturas de biossólido, vermiculita e substrato comercial (aproximadamente, dois meses após a semeadura), p. 42

Figura 5 – Valores médios de pH observados durante 2 horas de incubação, após a caleação do lodo de esgoto com diferentes porcentagens de Ca(OH)_2 em relação ao peso seco de lodo, p. 45

Figura 6 – Valores médios de pH observados em 16 semanas de incubação, após a caleação do lodo de esgoto com diferentes porcentagens de Ca(OH)_2 em relação ao peso seco de lodo, p. 46

Figura 7 – Mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) formadas em substrato com diferentes proporções (%) de biossólido, vermiculita e Basaplant[®] (seis meses após a semeadura), p. 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de lodo de esgoto ou derivado pela concentração de agentes patogênicos, p. 25

Tabela 2 – Comparação das médias aritméticas dos percentuais de remoção entre os tratamentos de caleação a 30%, 40% e 50% em relação ao peso seco de lodo, p. 27

Tabela 3 – Concentrações de agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto pré e pós-estabilização alcalina, p. 47

Tabela 4 – Resultados médios das análises químicas (Na, pH, nutrientes disponíveis e parâmetros S, T, V) dos tratamentos contendo diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®] no pré-plantio, p. 49

Tabela 5 – Limites de interpretação das determinações relacionadas com a acidez do solo, p. 50

Tabela 6 – Análises químicas totais dos tratamentos contendo diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®] no pré-plantio, p. 54

Tabela 7 – Valores médios da condutividade elétrica e percentagem de saturação por sódio trocável (PST) dos substratos contendo diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®], p. 58

Tabela 8 – Classificação dos solos afetados por sais, p. 59

Tabela 9 – Parâmetros de desenvolvimentos das mudas de cedro australiano produzidas com diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®], p. 61

Tabela 10 – Resultados médios das análises totais de macronutrientes contidos em parte aérea e radicular de mudas de cedro australiano cultivadas em substratos a base de biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®], p. 65

Tabela 11 – Médias do Índice Falker de clorofila total (a+b) foliar das mudas de cedro australiano formadas em substrato com diferentes proporções de biossólido, vermiculita, substrato comercial Basaplant[®], p. 68

Tabela 12 – Valores monetários líquidos obtidos pelo método de orçamentação parcial, considerando a substituição de 100% vermiculita para o emprego de diferentes meios de cultivo de cedro australiano, p. 69

Tabela 13 – Valores monetários líquidos obtidos pelo método de orçamentação parcial, considerando a substituição de 100% substrato comercial Basaplant[®] para o emprego de diferentes meio de cultivo de cedro australiano, p. 70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BSPA	Biomassa seca da parte aérea
BSR	Biomassa seca da raiz
CAESB	Companhia de Águas e Esgotos de Brasília
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTC	Capacidade de troca de cátions
EEIMVR	Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
ICF	Índice de Clorofila Falker
INOVAGRI	Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
ITB	Instituto Trata Brasil
MB	Mogno Brasileiro
MO	Matéria orgânica
NMP	Número Mais Provável
pH	Potencial de hidrogênio iônico
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PST	Porcentagem de saturação por sódio trocável
RALF	Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado
RCN	Revista Campo e Negócios
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST	Sólidos Totais

TSEFA	Terra Fina Seca ao Ar
UFF	Unidade Formadora de Foco
UFL	Universidade Federal de Lavras
UFP	Unidade Formadora de Placa
UGL	Unidade de Gerenciamento de Lodo
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UTP	<i>Useful Tropical Plants</i>
VR	Volta Redonda

SUMÁRIO

- 1 INTRODUÇÃO, p. 16.
- 2 OBJETIVOS, p. 19
 - 2.1 OBJETIVOS GERAIS, p. 19
 - 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS, p. 19
- 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, p. 20
 - 3.1 CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO URBANO, p. 20
 - 3.2 DESTINAÇÃO FINAL E RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO, p. 22
 - 3.3 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS, p. 24
 - 3.4 TRATAMENTO DO LODO POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA, p. 26
 - 3.5 SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTO - VOLTA REDONDA, p. 29
 - 3.6 CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata*), p. 30
 - 3.7 MACRONUTRIENTES E FATORES RELEVANTES AO CRESCIMENTO VEGETAL, p. 32
 - 3.8 A RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO NO USO DE BIOSSÓLIDO, p. 34
- 4 MATERIAIS E MÉTODOS, p. 37
 - 4.1 LODO DE ESGOTO E ANÁLISE INICIAL DE AGENTES PATOGÊNICOS, p. 37
 - 4.2 ESTABILIZAÇÃO ALCALINA DO LODO DE ESGOTO, p. 37
 - 4.3 CULTIVO DO CEDRO AUSTRALIANO, p. 38
 - 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS COM BIOSSÓLIDO, VERMICULITA E BASAPLANT[®], p. 40
 - 4.5 ANÁLISE VEGETAL, p. 41
 - 4.6 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO, p. 43
- 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO, p. 45
 - 5.1 AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO ALCALINA DO LODO DE ESGOTO, p. 45
 - 5.2 AVALIAÇÕES MICROBIOLÓGICAS PRÉ E PÓS-TRATAMENTO, p. 47
 - 5.3 AVALIAÇÕES DE FERTILIDADE DOS SUBSTRATOS, p. 48
 - 5.3.1 Análises químicas dos substratos de pré-plantio, p. 48
 - 5.3.2 Avaliação da condutividade elétrica dos substratos, p. 58
 - 5.4 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISES QUÍMICAS DOS VEGETAIS, p. 60
 - 5.4.1 Avaliação da produção das mudas, p. 60

5.4.2 Avaliação dos teores de macronutrientes nos vegetais, p. 64

5.4.3 Avaliação do teor relativo de clorofila total, p. 68

5.5 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO, p. 69

6 CONCLUSÕES, p. 73

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p. 74

1 INTRODUÇÃO

Há onze anos, mais especificamente em 5 de janeiro de 2007, novas exigências passaram a constituir a Lei Federal N° 11.445, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2007). Enfim, uma década se passou e, contudo, metade da população do país permanece sem acesso ao serviço de esgotamento sanitário. De acordo com os dados mais recentes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) somente 50,3% dos brasileiros tem acesso à coleta de esgoto, ou seja, mais de 100 milhões de habitantes recorrem a medidas alternativas para dispor os efluentes (VELASCO, 2017). Apesar disso, nesses últimos 20 anos, houve um estreito progresso nesse percentual, pois em 2007, a população atendida com coleta de esgoto era equivalente a 42%, e no tocante ao tratamento de efluentes, o valor elevou-se de 32,5% em 2007 para 42,7% no ano de 2017 em concordância com os dados do Instituto Trata Brasil (ITB, 2015; VELASCO, 2017).

Conquanto a crescente e tímida reflexão social no que tange à relevância do saneamento básico, do gerenciamento de resíduos sólidos e do tratamento das águas residuais, igualmente é necessária a adoção prática de uma sustentável destinação do lodo de esgoto (subproduto inerente do tratamento de efluentes) culminando em benefícios que perpassam a saúde pública e a preservação do meio ambiente.

O destino ou disposição final desse resíduo ainda esbarra em dificuldades sociais, ambientais e econômicas por algumas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Contudo, numa ótica bastante otimista, a literatura científica vem apontando alternativas seguras e sustentáveis, capazes de minimizar os impactos negativos e mesmo reduzir os custos da destinação do lodo quando dispostos em aterros sanitários (no Brasil, principalmente, é o modo de descarte preponderante), por descarga oceânica (atualmente, não autorizada) e por processos de incineração (GODOY, 2013; VERLICCHI; ZAMBELLO, 2015).

Por essa razão, nos últimos anos, diversos estudos qualificados (CORRÊA et al., 2010; CALDEIRA et al., 2012; ZUBA JUNIO et al., 2013; CABREIRA et al., 2017) comprovam a eficiência do uso do lodo de esgoto agregando valor em aplicações de menor custo às empresas que o gerencia. Outrossim, sugerem o olhar de que o lodo tratado não encerra um ciclo, todavia, assume significado enquanto matéria rica em nutrientes apropriada para prosseguir seu percurso, enquanto bio-sólido, que deve atender aos níveis aceitáveis pela legislação acerca dos aspectos físico-químicos e sanitários de uso (FARIAS; SANTOS, 2007).

Nesse sentido, a cogeração de energia por meio de biogás (FELCA et al., 2015); o aproveitamento industrial para fabricação de tijolos e cerâmicas; a produção de agregado leve para construção civil; produção de cimento; a reciclagem agrícola e recuperação de solos degradados (GODOY, 2013); bem como, o uso aplicado ao reflorestamento (RIELING et al., 2014), representam alguns dos modos de aproveitamento do lodo que vem sendo explorados. No momento atual, a utilização do biossólido nos segmentos da agricultura e silvicultura recebe maior notoriedade e mais estudos que corroboram a possibilidade de seu emprego (PAEZ, 2011; FARIA et al., 2013; ROSSMANN et al., 2014; BORTOLINI et al., 2017; AFÁZ et al., 2017).

A aplicação agrícola do biossólido demonstra-se cada vez mais atrativa devido ao seu importante valor fertilizante. Esse resíduo compreende nutrientes essenciais à planta, além disso, cita-se o incremento em matéria orgânica (MO) fornecida ao solo, a capacidade de retenção de água e agregação do mesmo (MOHAMMAD; ATHAMNEH, 2004). Exemplificando, os autores Ahmed, Fawy e Abdel-Hady (2010) asseveram que o lodo pode conter teores totais próximos de 3% em nitrogênio (N), 2% em fósforo (P), 0,5% em potássio (K) e 1,5% em magnésio (Mg), bem como micronutrientes, elementos não essenciais, microrganismos e ovos de parasitas.

Isso posto, é inegável que o gerenciamento adequado do uso do lodo é essencial para potencializar seus efeitos benéficos e minorar seus efeitos adversos. Esse gerenciamento, segundo Mohammad e Athamneh (2004) deve considerar aspectos que vão desde o conteúdo de metais pesados e outros contaminantes, a quantidade e a forma dos nutrientes contidos no lodo até o tipo de cultivo, e adicionalmente, em concordância com Kelessidis e Stasinakis (2012), a adoção de tratamentos eficientes do resíduo a fim de alcançar significativa remoção de agentes patogênicos e compostos tóxicos, sendo capazes também de controlar odores.

Cabe salientar que há diversos tratamentos recomendados para a desinfecção do lodo de esgoto, a exemplo da digestão anaeróbica, a secagem térmica, a pasteurização, a compostagem e ainda a estabilização alcalina com cal virgem ou hidratada (BRASIL, 2006; YOSHIDA et al. 2015). Essas recomendações e outras exigências estão legisladas na Resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), e trata-se do instrumento em vigor para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETE (BRASIL, 2006).

Destarte, as pesquisas que se dedicam ao estudo da viabilidade técnica, operacional e econômica do aproveitamento do biossólido para aplicação à agricultura e silvicultura, assim

como estabelece o presente trabalho, justificam-se pelo fato de avaliarem os efeitos do lodo nos solos e para as espécies vegetais, a composição e manejo mais eficiente do resíduo, bem como, as suas variáveis financeiras. Conhecer essas implicações contribui por minimizar o impacto ambiental em decorrência de sua destinação final ambientalmente adequada. Ademais, o lodo constitui-se uma valiosa fonte de matéria orgânica e de macro e micronutrientes imprescindíveis ao desenvolvimento vegetal.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o potencial de uso do lodo de esgoto urbano como componente do substrato para desenvolvimento de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar as características microbiológicas do lodo de esgoto através da análise de agentes patogênicos, segundo critérios da Resolução CONAMA Nº 375/2006.
- Aplicar processos para redução de patógenos.
- Realizar a caracterização química dos substratos do pré-plantio tratados com diferentes proporções de lodo de esgoto, vermiculita e substrato comercial.
- Avaliar o crescimento das mudas de cedro australiano considerando as variáveis de biomassa aérea e radicular, altura, diâmetro de colo, teor relativo de clorofila e estado nutricional do vegetal.
- Comparar através da técnica da Orçamentação Parcial a relação custo-benefício entre o uso de vermiculita e substrato comercial e o emprego do biossólido na produção de mudas de cedro australiano.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DO LODO DE ESGOTO URBANO

O lodo de esgoto trata-se de um subproduto proveniente dos processos de tratamento primário (processos físicos de remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes) e secundário (processos biológicos de remoção da matéria orgânica) das águas residuais, como exemplo os efluentes urbanos (domésticos, comerciais e industriais) nas ETEs (SAITO, 2007; DIELLE, 2014).

Esse resíduo tem sua espécie de valor pela sua composição em matéria orgânica e macro e micronutrientes, principalmente, nitrogênio (N) e fósforo (P), bem como, pode apresentar elementos como: arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg), molibdênio (Mo), níquel (Ni), selênio (Se) e zinco (Zn) (LOBO et al., 2013; AREIAS, 2015). Cabe ressaltar que esses últimos acendem certa preocupação no tocante à aplicação do lodo de esgoto nos solos agricultáveis em razão dos seus impactos. Afinal, os metais pesados configuram-se substâncias potencialmente perigosas para as plantas e para a cadeia alimentar e, portanto, com riscos evidentes para a saúde humana e animal em determinadas circunstâncias (PINHEIRO, 2007). Para tanto, a verificação cuidadosa da presença desses elementos é recomendada e por sua vez, devem ser respeitados os limites máximos de concentração permitidos para lodo ou produto derivado consoante ao estabelecido na Resolução N° 375/2006 do CONAMA (BRASIL, 2006). De acordo com Onofre, Abatti e Tessaro (2015), o lodo oriundo do tratamento de efluentes domésticos e comerciais, comumente, apresenta baixa concentração de metais pesados. Contudo, se o esgoto industrial, associado com as águas pluviais, tiver acesso ao mesmo sistema de tratamento, poderá acarretar em um aumento expressivo para esses elementos.

Garantida a segurança no que foi exposto, o biossólido compõe-se de elementos benéficos e imprescindíveis ao desenvolvimento e produção vegetal que em virtude de estarem na forma orgânica (porção majoritária), vão sendo liberados ao solo através de processos oxidativos, paulatinamente, o que por sua vez, contribui para a absorção mais eficiente desses nutrientes pelas plantas, diminuindo assim o risco de poluição ambiental (MALTA, 2001).

Acerca disso, biossólidos são quaisquer produtos orgânicos provenientes do tratamento de esgoto, que possam ser utilizados de maneira benéfica ou reciclados, assim

definido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1995; PAREDES FILHO, 2011). Ser benéfico está relacionado ao fato de não causar danos ao meio ambiente e à saúde humana e animal (CORRÊA; FONSECA; CORRÊA, 2007). Reserva-se o termo bio sólido ao produto estabilizado e com finalidade útil, de outro modo, são empregadas as designações: torta, lodo ou sólidos (FERNANDES; SOUZA, 2001).

Ainda no tocante à composição do lodo têm-se características bastante variáveis em função da origem do esgoto, do processo de tratamento do mesmo e de seu caráter sazonal. Assim como apontam Bettiol e Camargo (2006), geralmente, possuem 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, demais nutrientes, além de elementos potencialmente tóxicos e agentes patogênicos.

Concernente aos efeitos da MO sobre as características físicas do solo, Barbosa e Tavares Filho (2006), os associam à melhoria no grau de agregação, que conseqüentemente, afeta a densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água. Nesse aspecto, o lodo de esgoto é capaz de aumentar a retenção de umidade em solos arenosos e melhorar a permeabilidade e infiltração nos solos argilosos, bem como fornecer boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície, sob certo período. Além disso, o lodo pode elevar o teor em sais solúveis, de matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, que por sua vez, é de sobremaneira benéfico para a maior parte de nossos solos agrícolas que comumente são pobres e apresentam baixa CTC (CAMARGO, 2007).

A dinâmica do nitrogênio no solo implica em transformações e armazenamento que passam por processos de mineralização, desnitrificação, volatilização, absorção pelas plantas, fixação de $N-NH_4^+$ pelos minerais de argila, retenção de $N-NH_4^+$ como cátion trocável, imobilização de N-inorgânico na matéria orgânica do solo e imobilização microbiana (BOEIRA; MAXIMILIANO, 2006). Conforme as autoras, a maior porção de N encontrada em lodos de esgoto apresenta-se na forma orgânica, principalmente sob formas proteicas, que compõem uma fração lábil da MO, de fácil degradação pelos microrganismos do solo, favorecendo a rápida liberação de N mineral à solução do solo.

O lodo de esgoto também é eficiente no fornecimento de fósforo ao solo e no aumento da disponibilidade desse nutriente para a cultura. Munhoz e Berton (2006) pressupõem que, posterior à aplicação de lodo, a modificação na disponibilidade de P esteja associada a uma redistribuição do elemento entre as suas principais frações no solo. Os autores alertam apenas que quantias elevadas de P, advindas do lodo, são capazes de modificar a dinâmica do nutriente, bem como se tem o risco de contaminação frente ao seu

transporte, adsorvido ao material particulado, direcionado aos corpos hídricos superficiais. A eutrofização é uma problemática à biodiversidade, desse modo, devem ser tomadas as devidas cautelas acerca do enriquecimento não somente para P, como também para N. Boeira e Maximiliano (2006) afirmaram que as doses de lodo aplicadas devem ser recomendadas dando importância as necessidades de nitrogênio das plantas, que por sua vez, atuará de modo a evitar a geração excedente de nitrato.

Dentro do exposto, o uso agrícola e florestal do biossólido é estimulado desde que submetido a um rigoroso tratamento, fundamentado na verificação das concentrações máximas permitidas de elementos potencialmente tóxicos e na redução de patógenos e atratividade de vetores, conforme estabelecido através da Resolução CONAMA Nº 375/2006 (BRASIL, 2006).

Vale considerar algumas pesquisas desenvolvidas no país que vem demonstrando a viabilidade do uso do biossólido na produção vegetal, tanto para a agricultura quanto para a silvicultura. Vieira, Tanaka e Silva (2004) apresentam dados relevantes no cultivo de soja a partir de substrato com lodo de esgoto, assim como Ferreira (2005), na implantação de cafezal, e em cultura de bananeira por estudos de Melo e Ligo (2008). Ademais, Bettioli e Camargo (2000) elencam consideráveis informações acerca do aproveitamento do lodo, em cultivo de aveia, trigo, feijão, girassol, café e pêssego. O seu potencial tem sido atestado também em espécies florestais e os resultados para culturas de *Eucalyptus* spp são descritos por diversos autores (REZENDE, 2005; SILVA et al., 2008; PAEZ, 2011; CALDEIRA et al., 2013).

3.2 DESTINAÇÃO FINAL E RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO

O lodo produzido nas ETES tem a gestão como um dos maiores desafios para o sistema técnico e econômico, visto que o processamento de sua fase sólida pode alcançar 60% dos custos de operação da estação de tratamento (FERNANDES; SOUZA, 2001). Em referência à Godoy (2013), 90% do lodo produzido mundialmente tem sua disposição ou destinação final por processos de incineração, em aterros e uso em áreas agricultáveis. Cabe mencionar que o processo de destinação do lodo de esgoto através de descarga oceânica não é mais recomendado, inclusive foi proibido nos Estados Unidos desde 1992 pela *Ocean Dumping Act* e na Comunidade Europeia desde 1998 (TSUTIYA, 1999). A destinação do lodo de esgoto na prática agrícola, enquanto fonte de nutrientes ao vegetal e condicionador de

solo, é a opção mais rentável em relação aos meios tradicionais de disposição do resíduo como aterro ou incineração (ARAÚJO; MELO; SINGH, 2010).

Mundialmente, a literatura vem abarcando contribuições no tocante aos efeitos do uso agrícola do lodo de esgoto, em vista de numerosas vantagens, cabendo destacar, o incremento nutricional ao solo que o mesmo proporciona; o aumento da produtividade; as vantagens econômicas em relação a fertilizantes minerais; o beneficiamento da retenção da umidade do solo; o auxílio no aproveitamento dos nutrientes pelas plantas; o menor custo por equipamento se comparado às demais alternativas de destinação do lodo; o benefício da criação de renda suplementar para a instituição geradora; a concretização de um ciclo útil, com o retorno de nutrientes à agricultura (POGGIANI; SILVA, 2005; VEZZANI, 2011). Resultados esses, que ascendem o interesse pelo seu emprego em alguns estados brasileiros, como Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul e Distrito Federal (SAMPAIO, 2013). A respeito disso, Rocha (2009) levanta um breve histórico do uso agrícola do lodo em alguns Estados:

- Paraná – em 1988, foi estabelecida, pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), a disposição final do lodo de esgoto gerado em suas ETEs como tema prioritário de pesquisa, iniciando em 1990 um programa de estudos direcionados à reciclagem do biossólido em áreas agricultáveis. Houve o apoio de instituições e pesquisadores para o desenvolvimento desses estudos. Em 1997, a mesma companhia, elaborou um Manual Técnico para utilização do lodo de esgoto na agricultura no Paraná e desde 2000 vêm alcançado resultados relevantes com a prática, principalmente em cultura de milho, fruticultura e produção de grama.

- São Paulo – desde 1998, a Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo (SABESP) tem financiado pesquisas sobre a aplicação do lodo em reflorestamentos através da parceria com a Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz (ESALQ) e o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Foi estruturado pela SABESP em 1998, o Plano Diretor de uso e disposição dos lodos da região metropolitana de São Paulo.

- Distrito Federal – ainda no início da operação das primeiras ETEs pela Companhia de Águas e Esgotos de Brasília (CAESB), na década de 60, os agricultores locais adquiriam o lodo produzido em razão do pagamento de uma taxa. Frente à sensibilização acerca da qualidade do lodo, por volta da década de 90, a disposição agrícola do lodo começou a receber supervisão da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), havendo o cadastramento do agricultor e apresentação do receituário agrônomo.

Outro aspecto interessante, é que a reciclagem dos dejetos humanos representa uma prática antiga. A China, por exemplo, teve sua agricultura sustentada por muito tempo, simplesmente pelo uso dos efluentes nos campos de cultivos, também empregados na prática de irrigação, desde 1560, na Prússia. Ademais, foi na Inglaterra, em 1800, onde se desenvolveram muitos projetos para a utilização agrícola dos resíduos gerados pelo tratamento de esgoto (BETTIOL; CAMARGO, 2000). Essa prática, então, se difundiu no início do século XX e o uso do esgoto na agricultura foi um dos modos de destinação em diversas regiões do México, Austrália e Estados Unidos (GARDNER, 1998; BOTKIN; KELLER, 2011). Embora essa alternativa represente um modelo antigo de destinação em determinados países, no Brasil, do quantitativo total de lodo de esgoto produzido, aproximadamente, 50% é destinado a aterros sanitários, 15% ao uso agrícola, e 35% de destinação indefinida, conforme Machado, Figueiredo e Coraucci Filho (2004). Sobre esses dados, observa-se que o incentivo ao uso de lodo na agricultura, apesar de existente, ainda não é prática consolidada. E embora, dispostas as discussões, os aterros são a saída majoritária de disposição do lodo das ETEs.

3.3 CONSIDERAÇÕES ACERCA DOS MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS

O lodo proveniente dos tratamentos primário e secundário do esgoto urbano compreende uma série de microrganismos, os quais podem ser agrupados em fungos, vírus, bactérias e parasitos e, apesar de determinada parcela desses representar-se inofensiva, alguns grupos são considerados nocivos frente ao risco patogênico para a saúde humana e animal (FERNANDES; SOUZA, 2001; ALAMINO, 2010).

As espécies microbiológicas e a concentração de patógenos presentes no esgoto doméstico e no lodo originado irão depender da saúde da população geradora do esgoto, sendo também variável em função do tempo (ROCHA, 2009). Além das condições de conservação de saúde e higiene da população, configuram-se como fatores atuantes na contaminação do lodo: o tipo de tratamento do esgoto adotado, a condição socioeconômica populacional, a presença de animais no sistema, a concentração e tipo de matéria orgânica e o teor de sólidos (matéria seca) ou quantidade de água (ILHENFELD, 1999; COSTA; COSTA, 2011).

Fernandes e Souza (2001) esclarecem que esses microrganismos, após lançamento na rede de esgoto, não estarão em seu meio mais conveniente e, portanto, a sua concentração

tende a decair. O sistema da ETE elimina boa parte deles, culminando em efetiva diminuição na quantidade de patógenos na fase líquida e sua consequente migração para a fase sólida (lodo), o que é devido ao poder de adsorção dos flocos e ao peso específico elevado de muitos microrganismos, incitando em sua sedimentação junto ao lodo.

Conhecer os patógenos e sua viabilidade, conforme Alamino (2010), permite refletir acerca do potencial de risco infeccioso que os animais e ser humano podem estar submetidos. Citado pela autora, o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB, 1999)¹ alerta que a maior preocupação, dentre os patógenos, é com os parasitos intestinais, em virtude de sua considerável frequência na população, acentuado tempo de sobrevivência dos ovos, associada à baixa dose infectante, onde apenas um ovo infecta um hospedeiro.

Rocha (2009) menciona acerca dos organismos indicadores que equivalem àqueles que possuem respostas aos processos de tratamento e condições ambientais igualmente observáveis aos demais organismos, e por essa razão, os indicadores são capazes de fornecer informações de sobrevivência de um grupo amplo. Assim, foi estabelecida uma série de organismos indicadores empregados no monitoramento sanitário do lodo, usuais para as normas americana e brasileira.

No Brasil, constam na Resolução CONAMA N° 375/2006 esses indicadores patogênicos, bem como, é determinada a concentração máxima permitida desses grupos. Seguem os valores e respectivos patógenos, além da classificação a qual se atribui ao lodo de esgoto em consonância com essas informações microbiológicas legisladas (Tabela 1):

Tabela 1 – Classes de lodo de esgoto ou derivado pela concentração de agentes patogênicos

Tipo de lodo de esgoto	Concentração de patógenos
A	Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST <i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes termotolerantes < 10 ⁶ NMP / g de ST Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

Fonte: Brasil (2006).

Nota: ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa.

¹ PROSAB. *Manual prático para a compostagem de bio-sólidos*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84 p.

3.4 TRATAMENTO DO LODO POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA

Existem métodos indicados à desinfecção do lodo de esgoto, como os processos de pasteurização, secagem térmica, digestão anaeróbia ou aeróbia, irradiação com raios beta, estabilização química ou pela reconhecida compostagem, atuando de modo a reduzir os agentes patogênicos, os quais se incluem ovos de helmintos, cistos de protozoários, colônias de bactérias, hifas de fungos e alguns vírus (BRASIL, 2006; YOSHIDA et al., 2015). Destarte, garantida a sanidade do lodo, obtém-se ao fim do tratamento um material orgânico higienizado e apropriado para uso agrícola ou à silvicultura, designado biossólido ou lodo de esgoto de classe A (BRASIL, 2006).

Há de se considerar certas restrições de uso no tocante à definição de um período de carência entre a incorporação do lodo no solo e a sua utilização em áreas agricultáveis; a proibição do plantio de culturas em que a parte comestível tem contato direto com o solo, como a olericultura, os tubérculos, as raízes e culturas inundadas; e a atenção de distância adequada entre as áreas de aplicação de lodo a regiões densamente povoadas e corpos d'água (BRASIL, 2006; ILHENFELD, 1999). Nessa perspectiva, a seção V da Resolução CONAMA Nº 375/2006 dedica-se ao estabelecimento de algumas restrições locais e de aptidão do solo das áreas de aplicação.

No que se refere aos tratamentos do lodo, cabe menção especial à estabilização alcalina, também denominada calagem ou caleação, que por sua vez, refere-se a um processo de desinfecção e redução significativa de patógenos do lodo de esgoto contemplado na resolução supracitada (CARVALHO et al., 2017a). O tratamento que pode ser considerado pouco oneroso, de simples aplicabilidade e eficiente, consiste na mistura de cal virgem (CaO) ou hidratada (Ca(OH)_2) ao resíduo em proporções que variam em função do peso seco do mesmo. A mudança na temperatura pela cal virgem, bem como, a elevação do pH e a ação da amônia também no processo com cal hidratada são os fatores atuantes no efeito desinfetante do material (MADER NETTO et al., 2003).

Acerca da variação do pH, tem-se que a eficiência do tratamento estará relacionada a umidade (% água) da amostra e pela concentração suficiente de cal capaz de induzir a elevação do pH até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas (BRASIL, 2006). Neste nível de pH a totalidade dos patógenos são eliminados, desde que o tempo de ação seja adequado (ILHENFELD, 1999; FREITAS, 2010).

Nos estudos de Pimentel (2012) e Carvalho et al. (2017a) sugere-se que a quantidade mínima de cal capaz de atender as exigências legais de higienização e atratividade de vetores, para o lodo da ETE é de 30% em relação à massa seca do resíduo. Nos resultados de Almeida e colaboradores (2006), também foi evidenciada a eficiência do processo de estabilização química com cal, culminando em redução de coliformes termotolerantes e totais, que passou a enquadrar o material enquanto classe do tipo A (BRASIL, 2006). Igualmente, observado pelos autores Silva e Ítavo (2014), que ao avaliarem os efeitos do tratamento alcalino do lodo de esgoto descrevem que o emprego da cal hidratada em proporção de 30% do peso seco, conferiram ao processo, as condições para redução de atratividade de vetores.

Fernandes e Souza (2001) destacaram uma pesquisa do PROSAB, acerca da eficiência da estabilização alcalina, envolvendo o teste com as doses de 30%, 40% e 50% de cal em relação ao peso seco de lodo. A seguir, estão estabelecidos os resultados obtidos com o experimento (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação das médias aritméticas dos percentuais de remoção entre os tratamentos de caleação a 30%, 40% e 50% em relação ao peso seco de lodo

Cal %	Coliformes totais	Coliformes fecais	Salmonellas	Estreptococos	Ovos de helmintos	Larvas de helmintos	Cistos de protozoários
30	99,40%	100%	100%	92,23%	75,33%	100%	100%
40	98,14%	100%	-	98,71%	81,00%	98,38%	100%
50	99,95%	100%	100%	100%	77,33%	100%	100%

Fonte: Fernandes et al. (1996)²; Fernandes e Souza (2001).

Avaliando-se os resultados, observa-se que a estabilização alcalina demonstrou-se eficiente na destruição parcial ou total dos agentes patogênicos. O grupo da *salmonella* foi eliminado com facilidade em quaisquer dosagens, igualmente aos cistos de protozoários. Comumente, os estreptococos apresentam-se mais resistentes aos tratamentos de higienização, e sob os resultados da pesquisa, foram destruídos integralmente no lodo tratado com cal a 50% de seu peso. De modo relativamente eficaz, as larvas de helmintos foram eliminadas ou reduzidas significativamente. E os ovos de helmintos, por sua vez, demonstraram maior resistência em virtude de sua proteção intrínseca. Todavia, os autores asseguram que os ovos

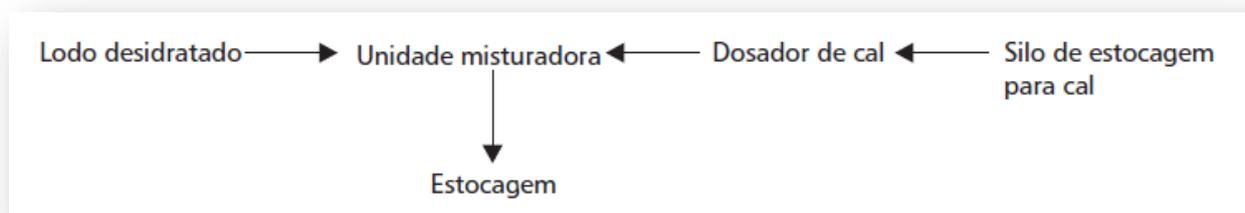
² FERNANDES, F. et al. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE Belém com vista a seu uso agrícola. *Sanare*, Curitiba: v. 5, n. 5 p. 46- 58, 1996.

remanescentes são, de fato, inviáveis, denotando o efeito positivo da técnica (FERNANDES; SOUZA, 2001).

Com relação às implicações inerentes da caleação tem-se que esse é um método significativo no processo de desinfecção e condicionamento do lodo para reciclagem ao solo agricultável, conquanto, envolvidas as questões negativas de perda de nitrogênio e imobilização do fósforo no decorrer da mistura, além das desvantagens (quando comparada ao tratamento térmico) de agregação de volume (sólidos) e a limitação do uso do lodo tratado em solos de pH elevado, a técnica ainda se apresenta vantajosa pela eficiência na higienização, facilidade no procedimento (se comparado à compostagem) e baixo custo (ANDREOLI et al., 2001). Ceolato (2007) destacando os efeitos da higienização alcalina para a fertilidade do biossólido no solo, menciona que o uso do lodo de esgoto adicionado de cal hidratada para aumento do pH, não demonstrou variações nos teores de K trocável do solo e aumentou o pH e a saturação por bases pelo acúmulo de cálcio (Ca) e Mg, que por sua vez, acarretou na diminuição da acidez potencial do solo.

Em razão da simplicidade, instalação pouco onerosa e eficiência desse tratamento, as primeiras ETEs brasileiras a tratarem seu lodo para reciclá-lo na agricultura, optaram pela estabilização alcalina, como por exemplo, a ETE Belém, em Curitiba (FERNANDES; SOUZA, 2001). Segundo esses autores, o fluxograma de tratamento é simples, e configura-se do seguinte modo (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma de caleação do lodo de esgoto



Fonte: Fernandes e Souza (2001).

Em alusão à Fernandes e Souza (2001), o processo inicia-se no silo para estocagem da cal, que pode ser do tipo vertical com capacidade (toneladas) variável. Então, a cal é extraída por uma rosca e, ao sair da prensa desaguadora, o lodo é disposto no misturador, local onde também é adicionada a cal. Posteriormente, a mistura é colocada em um contêiner e direcionada para a estocagem.

3.5 SERVIÇO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTO - VOLTA REDONDA

Como asseveram Feu, Rio e Peixoto (2004), os serviços de saneamento na cidade de Volta Redonda são de responsabilidade municipal, cumpridos por uma autarquia designada Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). No dia 19 de dezembro de 1967, iniciavam as operações do serviço no município, a princípio na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Santa Rita (SAAE-VR, 2017).

Atualmente, segundo estudo realizado pelo ITB (2013), o serviço realiza o tratamento de 100% da água da população do município e executa 99% da coleta de esgoto dos moradores. Entretanto, o percentual de tratamento de esgoto em Volta Redonda atinge o equivalente a 28%. Conforme nova pesquisa do ITB (2014)³, esses dados destacam Volta Redonda na 16ª posição no que se refere aos serviços de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto sanitário no grupo das 100 cidades mais populosas do país (VOLTA REDONDA, 2014).

O tratamento de esgoto é realizado em sete ETEs, que atendem à população dos bairros, ou conjuntos habitacionais, onde estão localizadas. Há dois sistemas de tratamento, pelos quais essas estações operam: Lodos Ativados de Fluxo Intermitente e RALF (Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado). O sistema de reator anaeróbico não emprega produtos químicos, contudo reduz, atualmente, entre 60 e 70% da MO. Já o sistema de lodos ativados demonstra melhor eficiência de remoção de matéria orgânica e de agentes patogênicos, alcançando até 90% de redução nas estações. Todavia, o seu custo operacional é maior e o tratamento demanda consumo de energia elétrica (FEU; RIO; PEIXOTO, 2004; VOLTA REDONDA, 2014).

Vale destacar, a ETE Ronaldo Gonçalves localizada no bairro Santa Cruz, no município de Volta Redonda, onde se sucedeu a coleta do resíduo, cuja estação foi reinaugurada em 17 de dezembro de 2011, reformada e ampliada de modo a atender o tratamento de esgoto de Santa Cruz I e II com cerca de 10 mil moradores. A ETE trata 40 litros de esgoto por segundo e detém uma vazão máxima de 70 litros/s. A mesma opera com sistema aeróbico e anaeróbico, e conta com um queimador de gás metano com o fim de reduzir o odor durante o tratamento (ITB, 2011).

³ INSTITUTO TRATA BRASIL. *Ranking do Saneamento - As 100 maiores cidades do Brasil*. Nova Metodologia e Resultados. São Paulo: 2014.

3.6 CEDRO AUSTRALIANO (*Toona ciliata*)

No tocante às espécies de elevado potencial à produção florestal, especialmente, no setor de madeira para serraria e indústria moveleira cabe a menção do cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis* M. Roemer), cuja origem compreende desde a Índia e Malásia até o norte da Austrália. Espécie caducifólia, da família das Meliáceas, com florescimento entre setembro e novembro, frutificação de janeiro a março, e de grande porte, a árvore pode alcançar 50 m de altura e 2 m de diâmetro (ARES; FOWNES, 2000; PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006; SOUZA et al.; 2009, KALIL FILHO; WENDLING, 2012).

Moretti e colaboradores (2011) mencionaram que em razão do rápido crescimento se comparado ao de demais espécies do segmento madeireiro como os cedros nativos e de outras essências florestais, incluindo o mogno (*Swietenia macrophylla* King), a *Toona ciliata* proporciona um bom retorno financeiro em curto espaço de tempo. Sua madeira marrom-avermelhada tem boa durabilidade, fácil secagem e desdobro, é macia e de textura grossa (PINHEIRO; LANI; COUTO, 2006).

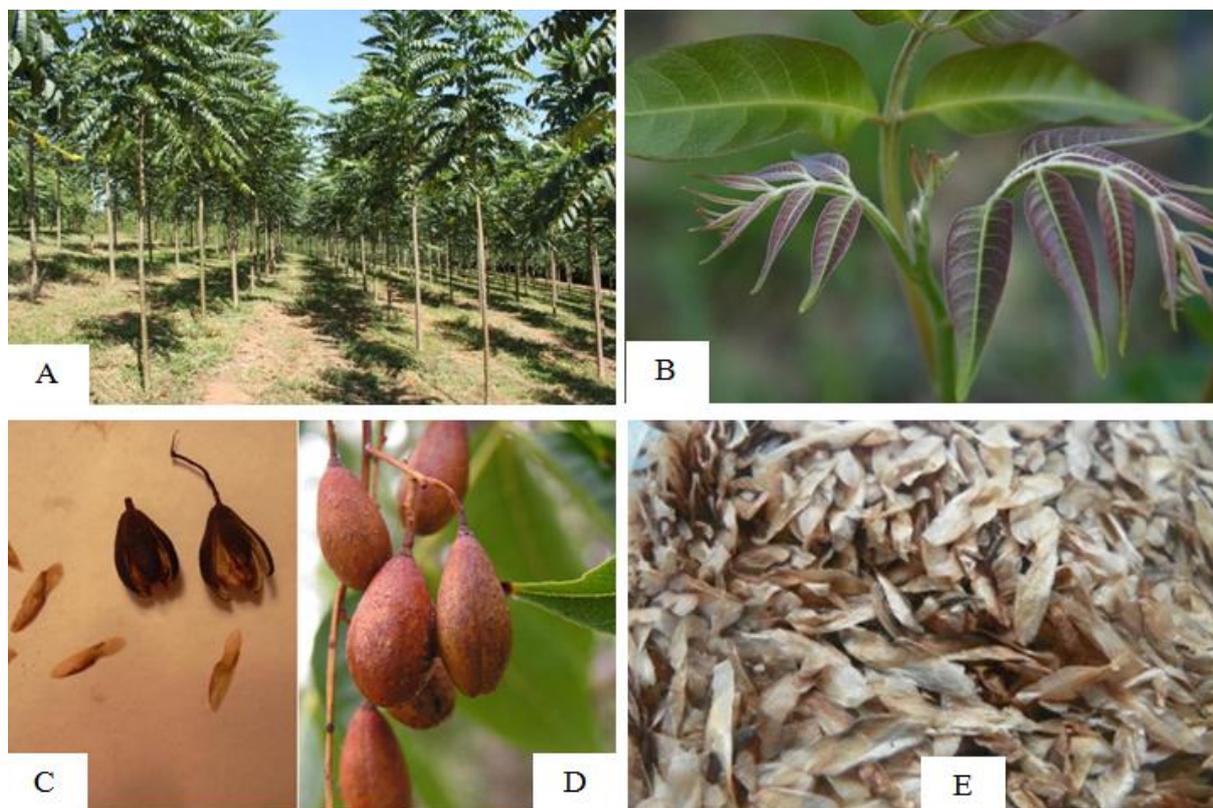
O cedro australiano fornece uma madeira de boa qualidade e aceitação no mercado internacional para marcenaria e construção civil, conforme Kalil Filho e Wendling (2012). O cultivo da espécie tem se ampliado no Brasil, os plantios concentram-se, principalmente, na região sudeste, com destaque para os estados do Espírito Santo e Minas Gerais (SOUZA, 2007).

As condições edafoclimáticas brasileiras demonstram-se favoráveis ao seu desenvolvimento e, apesar de sua madeira apresentar características semelhantes à do cedro nativo, o cedro australiano (Figura 2A) tem a conveniência da ausência de ataques pela broca *Hypsipyla grandella*, praga que acomete a gema apical de Meliáceas, tornando o tronco da árvore bifurcado (SOUZA; BARROSO; CARNEIRO, 2010).

Ainda no que concerne às propriedades do cedro australiano, Souza, Barroso e Carneiro (2010), apontam que a espécie possui folhas alternadas e pecioladas (Figura 2B), com poucas pilosidades dispersas nas nervuras e compostas de substâncias que exalam cheiro agradável, onde inclusive, sua essência é empregada na indústria de cosméticos e perfumaria. Os frutos são pequenos em comparação aos dos cedros nativos (Figuras 2C e 2D), mas a forma de cápsula é a mesma; o comprimento aproximado do fruto de cedro australiano é de

15 a 20 mm por 10 mm de diâmetro; as sementes são aladas e têm, em média, de 10 a 20 mm de comprimento e 3 mm de largura (Figura 2E).

Figura 2 – Características de *Toona ciliata*: A. Árvores de Cedro australiano; B. Detalhe das folhas alternadas e pecioladas; C. Fruto tipo cápsula; D. Fruto em árvore; E. Sementes aladas



Fonte: respectivamente, RCN (2014); MB (2009); UTP (2014) e MFRural (2013).

Alguns autores destacam a carência de dados e informações que contemplem acerca da absorção e exigências nutricionais do cedro australiano, condições químicas e físicas do meio de cultivo, assim como a recomendação para calagem e adubação adequada (OLIVEIRA, 2011; MORETTI et al., 2011; BRAGA, 2011). É necessário superar essa insuficiência de modo que possa ser difundido o uso da espécie e ainda revitalizar a produção nos sistemas florestais. Braga (2011) cita um estudo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Lavras (UFL) com cultivo de mudas de *Toona ciliata* onde se verificou que a mesma apresenta elevada exigência nutricional. De acordo com a autora, o estudo concluiu que o enxofre (S) inclui-se como um dos nutrientes mais limitantes ao desenvolvimento, ademais a aplicação de calcário tem efeito relevante no crescimento das mudas. Conforme estudo feito por Moretti e colaboradores (2011) a sequência observada para

exigência de nutrientes pelas mudas de cedro australiano, levando em consideração a produção de matéria seca da parte aérea, em ordem decrescente, é: $P > N > S > Ca > K > Mg > Cu$.

Frente às considerações citadas, a espécie cedro australiano foi empregada no desenvolvimento dessa pesquisa, envolvendo a semeadura e crescimento vegetal, havendo as devidas observações acerca do comportamento da espécie no substrato com diferentes proporções de biossólido.

3.7 MACRONUTRIENTES E FATORES RELEVANTES AO CRESCIMENTO VEGETAL

Os recursos solo e substrato, bem como, o meio de crescimento, são de fundamental importância para as plantas, afinal, esses fornecem suporte físico, químico e biológico para o desenvolvimento das mesmas, bem como, constituem-se importante compartimento de onde são extraídos os nutrientes necessários à sobrevivência dos vegetais (GODINHO et al., 2013). Em virtude disso, tomar o devido conhecimento acerca da fertilidade do solo é apropriado para o correto manejo dos sistemas, podendo resultar em economia ao homem e à natureza, ao passo que também se evita as tomadas de decisões equivocadas no uso dos recursos naturais (RODRIGUES et al., 2010).

Os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, também conhecidos por nutrientes principais, são absorvidos pelas plantas em maior proporção se comparados aos micronutrientes B, Zn, Cu, Fe, Mo, Cl e Mn, também conhecidos por elementos traço. Ambos são constituintes dos minerais e da matéria orgânica do substrato onde a planta cresce e também podem estar dissolvidos na solução do solo. Um ou vários nutrientes podem estar quase ausentes no solo ou em uma forma que as raízes não conseguem assimilar e, para torná-los disponíveis, o solo deve ser bem manejado (RONQUIM, 2010).

Práticas de manejo inadequadas e perda da matéria orgânica afetam negativamente a fertilidade dos solos. A MO pode ser considerada o indicador mais simples e um dos mais importantes para se medir a qualidade do solo e dos agroecossistemas (LOPES; GUILHERME, 2007). Ainda segundo esses autores, alguns dos efeitos benéficos que a MO proporciona, envolvem: agregar partículas de solo, reduzindo a erosão; prover uma fonte de carbono (C) e energia aos microrganismos do solo; aprimorar o armazenamento e o fluxo de água e de ar no solo; armazenar e fornecer nutrientes como N, P e S; tornar o solo menos compactado e com melhor manipulação; reter C da atmosfera e de outras fontes; reter

nutrientes como Ca, Mg e K, pois aumenta a CTC do solo; além de servir para reduzir possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo.

Conforme Brady e Weil (2013), o N é fundamental na composição de todas as proteínas, incluindo as enzimas, que, por sua vez, controlam praticamente todos os processos biológicos. Outros componentes nitrogenados de importância incluem ácidos nucleicos e clorofila. Acerca desse pigmento fotossintético, o N é constituinte primordial e desse modo, influencia na produção de açúcares na folha e, sobremaneira na produção intensiva de folhas e ramos (ROVERE; CORRAL, 2009).

As principais atividades do P associam-se com a floração, a frutificação, o desenvolvimento das raízes e a maturação dos órgãos vegetativos. Esse macronutriente primário está presente no ácido nucleico e nos fosfolipídios. Ademais, o fósforo exerce importante influência na respiração, divisão celular, formação das proteínas e do amido. Sabe-se que plantas bem supridas de fósforo são bastante resistentes às doenças (OLIVEIRA, 2018).

O K tem funções relevantes nas plantas que estão relacionadas ao controle de água dentro da planta, através da abertura e fechamento dos estômatos e com a translocação de açúcares, em razão disso, níveis adequados desse macronutriente proporciona maior número de frutos, com maior peso, aroma, sabor e resistência (OLIVEIRA, 2010; ROVERE; CORRAL, 2009).

O S é um componente de certos aminoácidos (a exemplo da metionina e cisteína), vitaminas, enzimas e óleos aromáticos. As três principais fontes naturais de enxofre que podem tornar-se disponíveis para a absorção dos vegetais são: matéria orgânica, minerais do solo e gases de enxofre na atmosfera (BRADY; WEIL, 2013).

O Ca e o Mg são considerados macronutrientes secundários, assim como o S, e na maioria dos solos tropicais encontram-se em níveis baixos (OLIVEIRA, 2010; PEDROSO NETO; COSTA, 2012). O cálcio auxilia na estabilidade estrutural, movimento intercelular de metabólitos, e ainda, como catalisador de várias enzimas nas plantas. E o magnésio, além de seu aspecto funcional na clorofila, também serve na ativação de enzimas relacionadas com o metabolismo energético (MENDES, 2007).

Além dos macronutrientes e matéria orgânica, outro fator relevante ao desenvolvimento das plantas refere-se ao pH do solo. Esse é conhecido por acidez ativa e representado pela atividade do íon H^+ , equivale ao hidrogênio dissociado na solução do solo,

em equilíbrio com a acidez da fase sólida (QUAGGIO; RAIJ, 2001). Apenas concentrações extremas de OH^- ou H^+ ($8,5 < \text{pH} < 3,5$) são consideradas tóxicas para as células das raízes. Em virtude de uma fase lipídica apolar, os prótons e as hidroxilas não são permeáveis às biomembranas, no entanto, o valor do pH do solo exerce efeitos importantes na nutrição mineral da planta, por condicionar a disponibilidade dos nutrientes na rizosfera, além de influenciar a intensidade do intemperismo químico, a atividade biológica e a decomposição da matéria orgânica (PRADO, 2012). Em concordância com o autor, nos solos de pH alcalino ocorre a perda de nitrogênio por volatilização, pois o amônio (NH_4^+) é transformado no gás amônia (NH_3). O fósforo (absorvido como HPO_4^{2-} e H_2PO_4^-) torna-se insolúvel na forma de fosfato de alumínio e de ferro sob $\text{pH} < 6,5$, ou como fosfato de cálcio em condição alcalina ($\text{pH} > 7$).

A produção vegetal será eficiente na medida em que se toma conhecimento acerca das necessidades nutricionais da espécie, das características e fertilidade do solo ou substrato e seu respectivo manejo. Lopes e Guilherme (2007) destacam que a pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas representam fatores de enorme importância para o desenvolvimento, e conseqüente aumento da produção na agricultura. Assim, evidencia-se o quão estreita é a inter-relação entre fertilidade do solo e produtividade agrícola.

3.8 A RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO NO USO DE BIOSSÓLIDO

Um dos objetivos da presente pesquisa envolve comparar a relação custo-benefício entre o uso de substrato comercial e vermiculita se comparados ao emprego do bio sólido na produção de mudas de cedro australiano, e para essa finalidade a técnica de orçamentação parcial é indicada.

A viabilidade financeira da reciclagem do lodo é justificada por diversos autores, Faria (2007) inclusive, considerou viável economicamente o emprego agrícola e/ou florestal do bio sólido, sob certas taxas de aplicação e determinadas distâncias de transporte, asseverando que o uso desse resíduo enquanto adubo apresenta menores custos que sua disposição em aterros sanitários.

No estudo de Carvalho et al. (2017b) é atestada a viabilidade econômico-financeira da utilização agrícola de bio sólido em unidade de gerenciamento de lodo (UGL) em dois cenários analisados, considerando o gerenciamento feito pela autarquia municipal ou enquanto um empreendimento privado. De acordo com os autores, a implementação de uma

UGL vinculada ao próprio serviço de tratamento de água e esgoto do município respondeu como uma excelente opção de investimento ao apresentar uma taxa interna de retorno bastante superior à taxa mínima de atratividade adotada. Ainda quanto à rentabilidade, Trigueiro (2002), alcançou uma redução nos custos de fertilizantes em 64% e 12,5%, respectivamente, para mudas de eucalipto e pinus produzidas com bio sólido. Logo, cabe refletir nessa opção, de modo a ampliar benefícios e reduzir custos tanto aos gestores das ETEs quanto aos produtores florestais e agricultores relacionados. Apesar disso, os percentuais brasileiros ilustram um infeliz cenário em que a destinação do lodo capaz de retornar seus nutrientes à agricultura ou silvicultura é ínfima, ainda que contemos com uma resolução específica ao uso agrícola do mesmo, desde agosto de 2006.

A orçamentação parcial trata-se de uma metodologia proposta por Noronha (1987), e aplicada por diversos autores (TEIXEIRA FILHO et al., 2010; PERES et al., 2013; SABUNDJIAN et al., 2014). Essa técnica contempla em avaliar decisões em decorrência de alteração parcial na administração da empresa, ou seja, quando há modificação marginal, que no caso desse trabalho, consiste em variar o modelo de adubação convencional pelo emprego do lodo de esgoto. A tomada de decisão será sobre a alternativa que apresentar maiores benefícios líquidos em detrimento da outra. Portanto, faz-se necessário o levantamento dos custos (fixos e variáveis) e as receitas inerentes de cada alternativa para a análise comparativa. Para a análise há de se considerar três aspectos dos investimentos (NORONHA, 1987):

1. Rentabilidade: onde os benefícios adicionais de determinada alternativa devem superar os custos adicionais. Caso os benefícios e custos se equiparem, implantar ou não a alternativa, torna-se indiferente. Nesta condição, devem-se avaliar os benefícios indiretos que a mudança possa promover, ou ainda, as ações que devem ser feitas objetivando a redução dos custos, promovendo que os benefícios superem os custos da nova proposta que se deseja implantar.

2. Capacidade de pagamento: posterior à comprovação da rentabilidade de uma decisão, faz-se necessária a verificação de que a empresa terá capacidade de pagamento dos compromissos assumidos com a alternativa. Desse modo, a análise financeira demonstrará que os fluxos de entrada de dinheiro são satisfatórios às necessidades adicionais.

3. Posição financeira: deverão verificar-se as implicações da alternativa sobre os indicadores de liquidez e solvência no período estabelecido, afinal, a decisão poderá ter efeito sobre os mesmos, ainda que seja rentável e a empresa garanta a capacidade de pagamento.

Além do que foi disposto, vale salientar que conhecer os custos de produção e os benefícios envolvidos nas diferentes tecnologias estudadas auxilia na tomada de decisão, antes da implantação e exploração.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LODO DE ESGOTO E ANÁLISE INICIAL DE AGENTES PATOGÊNICOS

O lodo de esgoto utilizado no experimento foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto Ronaldo Gonçalves, localizada no bairro Santa Cruz, município de Volta Redonda/RJ. Antes da coleta, o lodo de esgoto manteve-se disposto em leito de secagem pavimentado, durante um período aproximado de quatro meses, conforme preconiza a Resolução CONAMA N° 375/2006 (BRASIL, 2006), como um processo de redução significativa de patógenos. A secagem de modo natural do lodo pode desencadear a redução dos organismos patogênicos devido à exposição prolongada do subproduto ao sol e, conseqüentemente, o aumento de temperatura do lodo (GONÇALVES et al., 2001).

Após a coleta, foram realizadas as avaliações microbiológicas iniciais, a fim de caracterizar o lodo de esgoto em concordância com a Resolução CONAMA N° 375/2006 para agentes patogênicos (coliformes termotolerantes, *Salmonella* e ovos viáveis de helmintos).

A determinação de coliformes termotolerantes e *Salmonella*, foi realizada segundo metodologia proposta pela Part 503 (USEPA, 1992) e para ovos de helmintos foi utilizada a Norma Técnica L5.551 (CETESB, 2013). Em razão dos valores para coliformes termotolerantes estarem acima da concentração máxima permitida pela legislação para lodo de esgoto classe A, foi realizado tratamento por estabilização com cal hidratada para redução dos mesmos do lodo de esgoto.

4.2 ESTABILIZAÇÃO ALCALINA DO LODO DE ESGOTO

Inicialmente foi feito um ensaio, no qual se sucedeu a mistura em diferentes proporções de lodo de esgoto e cal hidratada (Ca(OH)_2). Os percentuais de cal foram determinados a partir do peso seco do lodo. As amostras foram acondicionadas em copos de poliestireno de 300 mL, em um delineamento experimental estatístico inteiramente casualizado, o qual compreendeu sete tratamentos com quatro repetições, correspondentes à:

T1 – Testemunha - lodo de esgoto sem adição de Ca(OH)_2 ;

T2 – 5% (peso seco de lodo) de Ca(OH)_2 adicionada;

T3 – 10% (peso seco de lodo) de massa de Ca(OH)_2 adicionada;

- T4 – 20% (peso seco de lodo) de massa de Ca(OH)_2 adicionada;
- T5 – 30% (peso seco de lodo) de massa de Ca(OH)_2 adicionada;
- T6 – 40% (peso seco de lodo) de massa de Ca(OH)_2 adicionada;
- T7 – 50% (peso seco de lodo) de massa de Ca(OH)_2 adicionada;

Foi feita a análise de quais eram as concentrações suficientes para que o pH se elevasse até no mínimo 12, em pelo menos duas horas, havendo uma leitura a cada 30 minutos (BRASIL, 2006). Adicionalmente, também foi avaliado o comportamento alcalino das unidades experimentais, após efetuar a mistura, nos períodos de 24h, 48h, 72h, além de duas aferições por semana no primeiro mês, uma aferição por semana do segundo ao quarto mês. A determinação do pH foi realizada em CaCl_2 , conforme metodologia de Quaggio e Raij (2001).

No pós-tratamento da caleação, a amostra do tratamento 5 cuja adição de Ca(OH)_2 estava em 30% do peso do lodo, demonstrou-se aquela de menor proporção que por sua vez, manteve pH superior a 12 por no mínimo duas horas (BRASIL, 2006), por essa razão foi avaliada para coliformes termotolerantes segundo método part 503 (USEPA, 1992) e vírus entéricos sob as normas técnicas L5.504 e L5.506 (CETESB, 1991; CETESB, 1988). De posse dos resultados satisfatórios, ou seja, que atendiam a legislação para uso agrícola, com redução eficiente de coliformes termotolerantes em virtude da higienização, foram iniciadas a estabilização com cal do lodo de esgoto total tomando o ensaio supracitado como referência. Seguindo-se um período de incubação aproximado de um mês e meio, e finalmente, o preparo dos substratos e ensaio de plantio do cedro australiano.

4.3 CULTIVO DO CEDRO AUSTRALIANO

O biossólido foi misturado com vermiculita e substrato comercial Basaplant[®], em diferentes proporções (dadas em função do volume dos materiais para composição dos substratos).

O substrato comercial em questão compõe-se de casca de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa, vermiculita, carvão e adubação NPK e micronutrientes, em virtude de suas características detém de uma drenagem equilibrada com adequada homogeneidade o que atende diferentes manejos para os produtores (RODRIGUES et al., 2017). De acordo com o fabricante, o substrato Basaplant[®] o qual é específico para segmento florestal possui formula

equilibrada para promover eficientemente o enraizamento de estacas clonadas e sementes. Trata-se de um produto fisicamente uniforme e estável, que permite um desenvolvimento adequado das raízes e da parte aérea (BASEAGRO, 2018).

Concernente à vermiculita trata-se de um alumino silicato hidratado de magnésio, ferro e alumínio com aparência micácea, formato lamelar, é um membro importante dos argilominerais trifórmicos, cujo grupo também abrange esmectitas, as micas e o talco. A etimologia desse termo é do latim *vermiculari*, ou seja, “semelhante a verme”, em razão da expansão desse material quando aquecido, no decorrer do processo o movimento de suas partículas é similar ao dos vermes (PERALTA, 2009). A vermiculita é comumente utilizada como componente de substrato para a produção de mudas de espécies florestais, bem como é empregada nos laboratórios de análise de sementes como substrato para o teste padrão de germinação, em razão de suas características como a baixa densidade, facilidade de obtenção, uniformidade na composição granulométrica e porosidade, a qual contribui para melhor aeração do substrato (MARTINS et al. 2011).

A finalidade dessas misturas foi avaliar o melhor substrato para produção de mudas de cedro australiano. O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado com nove tratamentos e três repetições, totalizando, 27 unidades experimentais. Abaixo, listam-se os substratos testados.

T1 – 100% vermiculita (sem adição de bio sólido);

T2 – 75% vermiculita + 25% bio sólido;

T3 – 50% vermiculita + 50% bio sólido;

T4 – 25% vermiculita + 75% bio sólido;

T5 – 100% Basaplant[®] (sem adição de bio sólido);

T6 – 75% Basaplant[®] + 25% bio sólido;

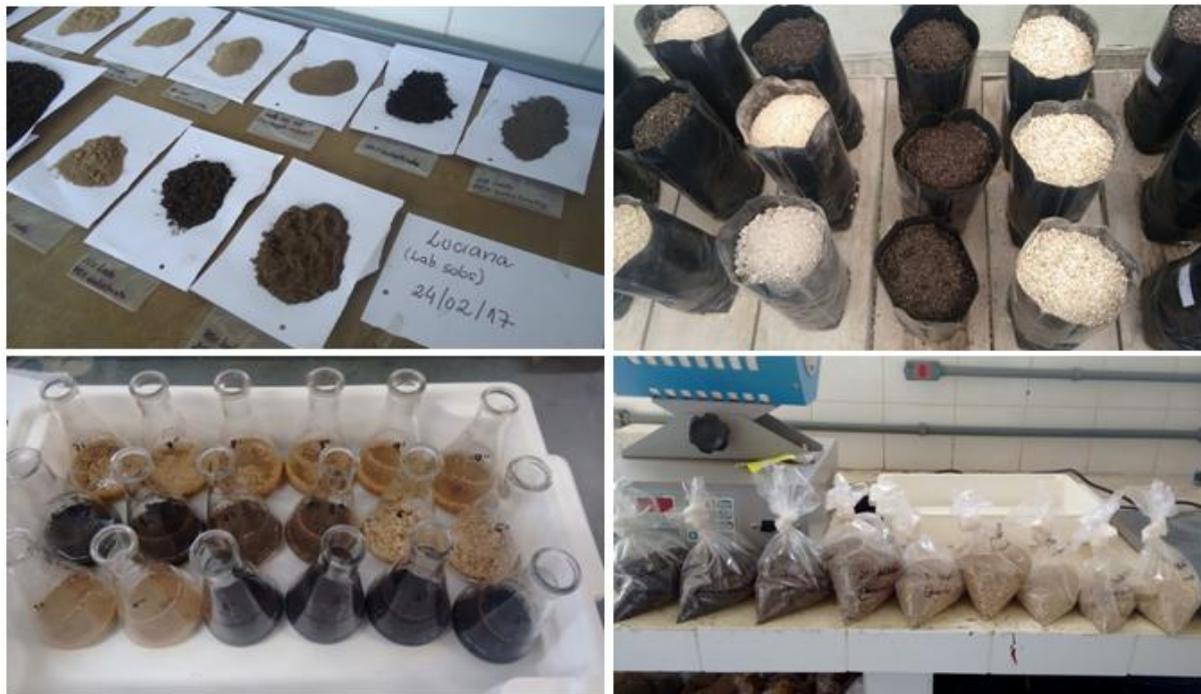
T7 – 50% Basaplant[®] + 50% bio sólido;

T8 – 25% Basaplant[®] + 75% bio sólido;

T9 – 100% bio sólido.

Os diferentes tratamentos (Figura 3) foram acondicionados em sacos plásticos para mudas (15 cm x 35 cm), umedecidos na capacidade de campo e incubados por um período de 30 dias. Posteriormente, foram coletadas amostras para análise de fertilidade nos diferentes tratamentos, bem como, foi realizada a semeadura da espécie vegetal.

Figura 3 – Tratamentos com biossólido, vermiculita e substrato comercial. Superior (esq. para dir.): tratamentos com granulometria fina para análise de CHNOS; e em sacos para mudas. Inferior (esq. para dir.): em solução de CaCl_2 para análise de pH; e para análise de nutrientes



Fonte: Autora.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS COM BIOSSÓLIDO, VERMICULITA E BASAPLANT®

A fim de caracterizar as misturas contendo o biossólido, a vermiculita e o substrato comercial Basaplant®, foram coletadas amostras dos nove tratamentos, sendo homogêneas, passadas no grau, pistilo e peneira com malha de 2 mm, para realização das análises de fertilidade. Essas avaliações foram realizadas no Laboratório de Solos e Água da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense (EEIMVR - UFF) no *campus* Vila Santa Cecília.

Tomando as medidas de terra fina seca ao ar (TFSA), foram analisados os valores de pH em CaCl_2 através da técnica de Quaggio e Raij (2001), conforme recomendação da Resolução CONAMA N° 375/2006. De acordo com esses autores, a determinação do pH em cloreto de cálcio é mais precisa em relação ao determinado em água, em razão desse último ser bastante afetado por diminutas quantidades de sais presentes no solo. Ademais, havendo

certa concentração salina indica-se a medição do pH em solução 0,01 mol.L⁻¹ de CaCl₂, por ser capaz de corrigir a condutividade elétrica e melhorar a decantação da TFSA suspensa no decorrer da agitação o que promove facilidade na leitura do pH sem contaminar o eletrodo (LABORSOLO, 2017).

As análises de alumínio (Al), cálcio, magnésio, sódio (Na) e potássio trocáveis, fósforo assimilável, além do valor Hidrogênio + Alumínio trocável (H+Al) foram realizadas segundo metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011; VELOSO et al., 2006).

Os teores totais de nitrogênio, carbono orgânico (C_{org}) e enxofre foram analisados pelo medidor Elementar CHNOS Vario Macro Cube.

As análises para fósforo, potássio, cálcio e magnésio totais foram efetuadas conforme metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) empregada nos estudos de Silva et al. (2003) e Bortolon, Gianello e Schlindwein (2010). E se sucederam após o processo de digestão utilizando ácido sulfúrico para extração dos analitos de interesse. O procedimento de digestão adotado pelo autor é fundamentado no método recomendado por Bremner (1965)⁴ para solos, com a inclusão de H₂O₂. A determinação de P se deu por espectrofotometria após adição de molibdato de amônio e ácido aminonaftolsulfônico. Os resultados de K foram tomados por fotometria de chama e os de Ca e Mg através de espectrofotometria de absorção atômica após diluição do extrato e adição de estrôncio (Sr) em solução ácida.

Para compreensão mais completa dos resultados foram calculados, a partir dos resultados analíticos obtidos, a soma de bases trocáveis (S), a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (T) e o índice de saturação de bases (V) (LOPES; GUILHERME, 2004). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância através do *software* estatístico SISVAR[®].

4.5 ANÁLISE VEGETAL

As plantas utilizadas no experimento são da espécie cedro australiano (*Toona Ciliata*), por tratar-se de uma planta promissora ao setor madeireiro e com boa aceitação às condições edafoclimáticas brasileiras. Sementes de cedro australiano foram semeadas, no final de abril de 2017, nos diferentes tratamentos sendo umedecidas diariamente (Figura 4) e mantidas sob condições de casa de vegetação, onde permaneceram até o desenvolvimento

⁴ BREMNER, J. M. Organic forms of nitrogen. In: BLACK, C.A. (Ed.). *Methods of soils analysis*. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison: SSSA, p. 1238-1255, 1965.

recomendado das mudas para transplântio para campo (entre 30 - 40 cm de altura). Tal período nesse experimento manteve-se até meados de novembro de 2017, totalizando um tempo de cultivo aproximado de 210 dias.

Figura 4 – Cultivo de cedro australiano (*Toona ciliata*) com misturas de biossólido, vermiculita e substrato comercial (aproximadamente, dois meses após a semeadura)



Fonte: Autora.

No momento da colheita, foram avaliados os seguintes parâmetros de desenvolvimento das mudas: diâmetro do colo (aferindo a 2 cm da superfície com paquímetro), altura da parte aérea (do nível do solo até a gema apical através de régua graduada), além da biomassa radicular e da parte aérea (por meio de balança semi-analítica de precisão).

A determinação do teor relativo de clorofila se sucedeu por princípios não destrutivos, com o auxílio de clorofilômetro da marca ClorofiLOG® modelo CFL 1030, operado conforme as instruções do fabricante (FALKER, 2008). Esse aparelho fornece os teores de clorofila total (a+b), expressas em unidades chamadas Índice de Clorofila Falker (ICF), produtos de três diodos emissores de luz nas faixas 635, 660 e 850 nm (RIGON et al.,

2012). Em cada muda foram tomadas as leituras, no terço médio da lâmina, de quatro folhas, localizadas nos ramos cardeais medianos ao caule (BARBIERI JUNIOR, 2009; BARBIERI JUNIOR et al., 2012; FREIBERGER et al., 2013).

As plantas foram separadas em raízes e parte aérea, determinadas a massa fresca das amostras e levadas ao laboratório, onde foram lavadas, acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura de 65° C, registrados os valores para massa seca das mesmas e então, trituradas através de grau e pistilo para procedimento das análises. As avaliações para nutrientes totais foram realizadas nas plantas coletadas de acordo com Tedesco et al. (1995) e os resultados foram submetidos à análise de variância através do programa SISVAR[®].

4.6 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

Foram tomadas duas simulações distintas, a primeira considerando a modificação do modelo de produção de mudas com o uso de 100% vermiculita e a segunda referente ao emprego de 100% substrato comercial Basaplant[®], ambas substituídas pelo emprego de biossólido em diferentes proporções (100%, 75%, 50%, 25%) complementares aos respectivos substratos. A avaliação econômica foi obtida, em virtude da comparação, no que tange aos benefícios e custos de cada alternativa, registrados e calculados com base na metodologia proposta por Noronha (1987), com uso da técnica de Orçamentação Parcial. Os benefícios compreenderam a receita proveniente da comercialização das mudas de cedro australiano e os custos envolvidos na exploração da tecnologia atual, ou seja, estes custos não seriam mais realizados. Os custos envolveram os valores gastos na aquisição dos substratos, assim sendo, os custos variáveis da nova proposta tecnológica e aqueles oriundos das receitas que se obteve com a tecnologia usual.

Disposto isso, as alternativas mais viáveis foram equivalentes àquelas que apresentaram benefício líquido superior, configurando em maiores vantagens. A orçamentação parcial se deu pelas seguintes equações (1 e 2):

$$B = B_1 + B_2 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

B = Benefícios

B1 = Receita obtida com a tecnologia inovadora (receita obtida com a venda das mudas produzidas a partir do uso do biofóssido como substrato).

B2 = Redução dos custos apresentados pela utilização da tecnologia usual (vermiculita ou adubação mineral comercial).

$$C = C_1 + C_2 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

C = Custos

C1 = Receita obtida com a alternativa usual (receita obtida com a venda das mudas produzidas a partir do uso da vermiculita ou adubação mineral comercial).

C2 = Redução dos custos apresentados pela tecnologia inovadora (adubação orgânica com o biofóssido).

E, logo, partindo dos resultados, foram avaliados os benefícios (B) e custos (C), conforme Noronha (1987) pelos seguintes critérios:

B > C: Realizar a modificação proposta (o emprego do biofóssido enquanto adubo demonstra maiores vantagens em detrimento da alternativa usual).

B < C: A modificação do modelo não compensa (o emprego do biofóssido demonstra maiores desvantagens em detrimento da alternativa usual).

B = C: A substituição ou manutenção do modelo (de adubação) é indiferente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

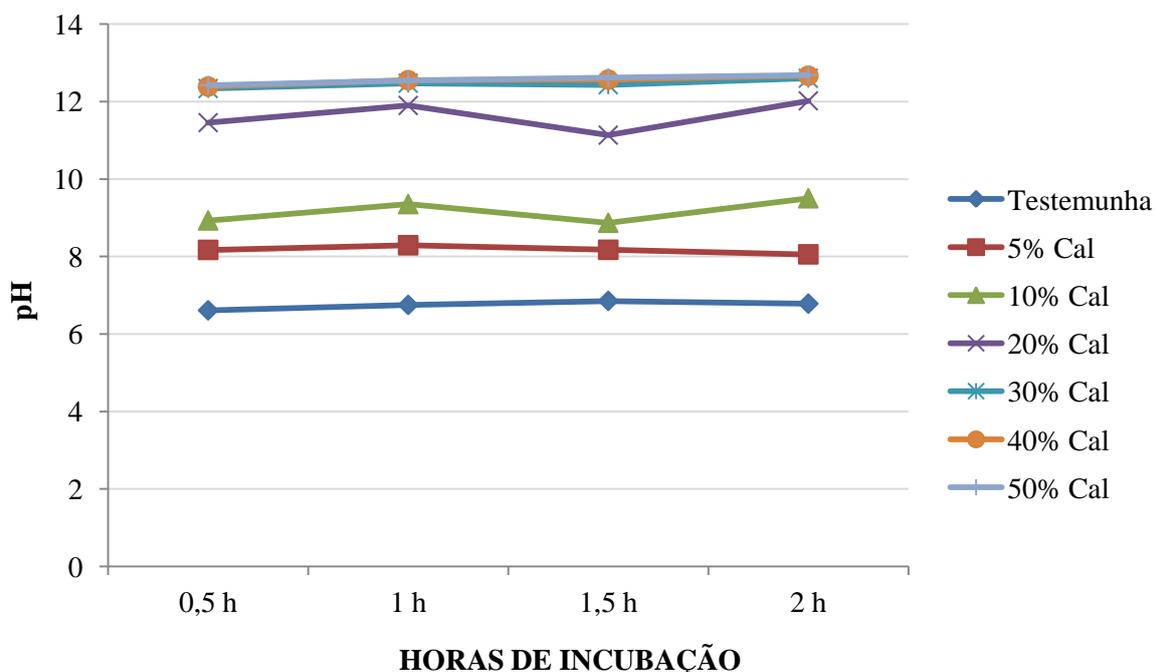
5.1 AVALIAÇÃO DA ESTABILIZAÇÃO ALCALINA DO LODO DE ESGOTO

Com a finalidade de fornecer um destino sanitário e reutilizar o lodo, é indispensável evitar os efeitos nocivos à saúde e, por essa razão, é mais do que conveniente que o lodo passe por um processo de higienização. Essa prática eliminará ou reduzirá significativamente a densidade de microrganismos patogênicos, tornando o produto final biologicamente seguro para as diferentes aplicações desejadas, como a agricultura e silvicultura, respeitadas as suas restrições (PASSAMANI, KELLER; GONÇALVES, 2002).

O pH ou potencial hidrogeniônico, que implica nos efeitos de acidez ou alcalinidade, constitui-se um eficiente agente de desinfecção. Os patógenos expostos a níveis extremos de pH, seja ácido ou alcalino, tendem a ser destruídos (ILHENFELD, 1999; ROCHA, 2009).

Segue o comportamento do ensaio de estabilização alcalina do lodo de esgoto (Figura 5) em proporções distintas de cal hidratada através do período mínimo de 2 horas prescrito pela Resolução CONAMA N° 375/2006 (BRASIL, 2006).

Figura 5 – Valores médios de pH observados durante 2 horas de incubação, após a caleação do lodo de esgoto com diferentes porcentagens de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ em relação ao peso seco de lodo

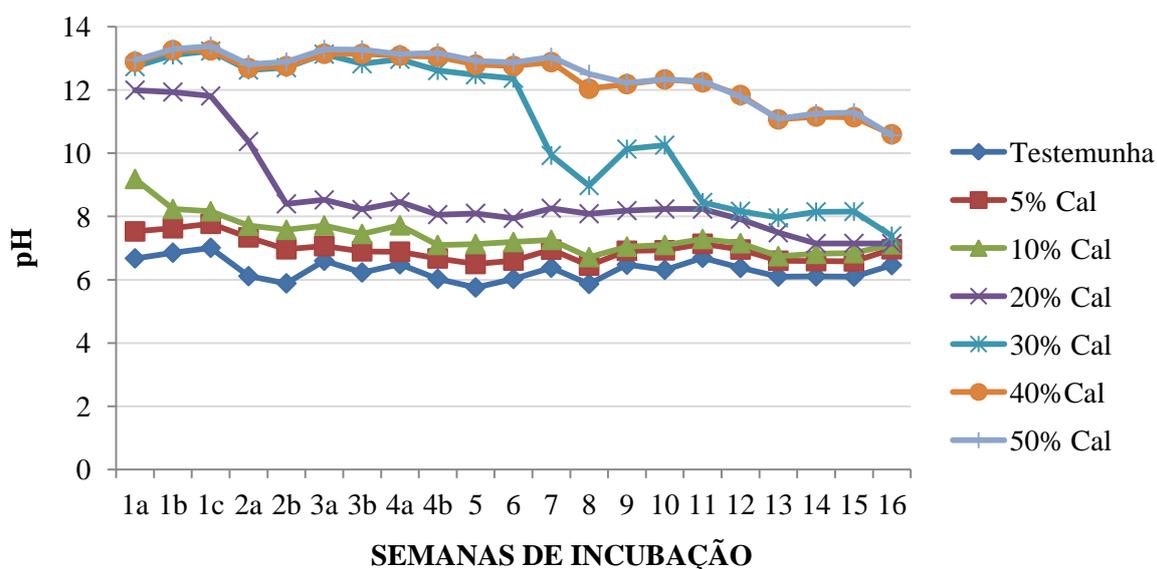


Fonte: Autora.

Observa-se que, no intervalo de duas horas, o comportamento do pH refletiu certa estabilidade, visto que não houve quedas ou elevações repentinas nos valores. Através desses resultados nota-se que o tratamento contendo 30% em adição de cal alcançou pH superior ao exigido (12), nas primeiras horas. Esses três tratamentos de maior proporção de cal (30, 40 e 50%), inclusive, demonstraram-se similares no intervalo de tempo avaliado. Os resultados são corroborados por Fernandes e Souza (2001) através de uma pesquisa do PROSAB, no qual se avaliou os tratamentos de caleação a 30%, 40% e 50% em relação ao peso seco de lodo e ambos foram eficientes na eliminação de patógenos. Ilhenfeld (1999) descreve as dosagens de 30 a 50% para que seja garantida a eficiência no processo.

Abaixo são apresentados os resultados do mesmo ensaio, contudo, o comportamento do pH apresenta-se num intervalo de tempo estendido, no total de 16 semanas, especificamente (Figura 6). As letras citadas no eixo x (tempo) indicam as aferições feitas em dias diferentes numa mesma semana. Ou seja, 1a, 1b e 1c, constituem-se respectivamente, 24h, 48h, 72h. Como já citado na metodologia houve também 2 aferições por semana no 1º mês e 1 aferição por semana do 2º ao 4º mês.

Figura 6 – Valores médios de pH observados em 16 semanas de incubação, após a caleação do lodo de esgoto com diferentes porcentagens de Ca(OH)_2 em relação ao peso seco de lodo



Fonte: Autora.

Nota: As letras a, b e c correspondem às leituras feitas em dias distintos numa mesma semana.

Os tratamentos de 30%, 40% e 50% em adição de cal hidratada, mantiveram o pH superior a 12 no decorrer de algumas semanas de incubação, respectivamente, por 6, 12 e 12 semanas. Nesse aspecto, a queda foi expressiva a partir da 6ª semana para o tratamento com 30% de cal. Ao fim do 4º mês, esses mesmos tratamentos apresentavam os respectivos valores médios de pH: 7,4; 10,6 e 10,6. Acerca do critério de elevação do pH, a quantidade de cal misturada ao lodo deve ser suficiente para elevar o pH a no mínimo 12 por pelo menos 2 horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas, sem que haja uma aplicação adicional de cal (BRASIL, 2006).

As dosagens, o processo e tempo de mistura entre lodo e cal, a umidade do resíduo, bem como o tempo de estocagem são fatores relevantes no que concerne ao período de contato da cal com toda a superfície do lodo. E em virtude disso, a maior ou menor eficiência da reação alcalina. Em concordância com Rocha (2009), algumas pesquisas no Paraná têm demonstrado que é necessário um tempo de contato de 30 a 60 dias, a fim de otimizar o efeito da calagem.

5.2 AVALIAÇÕES MICROBIOLÓGICAS PRÉ E PÓS-TRATAMENTO

A contaminação microbiológica do lodo é proveniente, principalmente, do material fecal contido no esgoto, assim sendo, dependente das características epidemiológicas da população local e dos efluentes lançados na rede coletora (FERNANDES; SOUZA, 2001). Destarte, o controle sanitário do lodo de esgoto é o principal objetivo do processo de higienização (ROCHA, 2009). Portanto, fundamentando-se nos indicadores normatizados através da Resolução CONAMA Nº 375/2006, averiguou-se nessa pesquisa, a presença de agentes patogênicos do resíduo em concordância com os métodos mencionados, em período anterior e posterior ao processo de higienização por cal hidratada (Tabela 3).

Tabela 3 – Concentrações de agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto pré e pós-estabilização alcalina

	ENSAIO	RESULTADO	UNIDADE
Pré	<i>Salmonella</i> sp.	Ausência	-
	Ovos viáveis de helmintos	<1	Ovos / 4 g de ST
	Coliformes Termotolerantes	$2,4 \times 10^3$	NMP / g
Pós	Coliformes Termotolerantes	<3,0	NMP / g
	Vírus entéricos	Ausência	-

Acerca dos resultados microbiológicos, anterior à higienização, na amostra total, verificou-se ausência em *Salmonella* sp.; o referente à <0,25 ovo/g de sólidos totais em ovos viáveis de helmintos; e o equivalente à 2400 NMP/g em coliformes termotolerantes. Esse último excedeu o limite máximo de concentração segundo a Resolução CONAMA N° 375/2006 (BRASIL, 2006) que é de 10^3 NMP/g. Posterior à desinfecção com cal, a amostra do tratamento 5, cuja adição de Ca(OH)_2 se deu em 30% do peso seco do lodo, foi avaliada para coliformes termotolerantes e vírus entéricos, os quais apresentaram os resultados de <3,0 NMP/g e ausente, respectivamente. Desse modo, após os ensaios, os resultados apresentaram-se compatíveis às especificações da resolução supracitada, sendo o lodo de esgoto então tomado por biossólido ou lodo de classe tipo A.

Os valores obtidos são confirmados pela literatura, ao passo que, em um estudo de Passamani, Keller e Gonçalves (2002), a higienização com cal hidratada, nas dosagens de 30% a 60% mostrou-se eficiente na eliminação dos coliformes fecais. Fernandes et al. (1996) citados por Fernandes e Souza (2001), também obtiveram remoção significativa para patógenos e indicadores através da estabilização alcalina do lodo de esgoto. Nesse trabalho, especificamente, para coliformes totais, o tratamento de 30% de cal apontou uma remoção de 99,40%, e os de 40% e 50% de cal apresentaram reduções de 98,14% e 99,95%, respectivamente. Rocha (2009) avaliou dois experimentos, um em que se empregava a cal virgem e o segundo onde o tratamento era feito com a cal hidratada. Acerca dos resultados para coliformes termotolerantes em ambos os ensaios, têm-se que as concentrações desses se mantiveram inferiores ao limite de NMP estabelecido na Resolução CONAMA N° 375/2006. A autora concluiu que, em termos de eficiência na inativação dos patógenos, em um menor tempo, a cal virgem destaca-se da hidratada. Entretanto, o emprego da última pode ser viável em sistemas com produção de menor volume de lodo, visto a manipulação menos agressiva, a facilidade de obter a cal, bem como, a disponibilidade de área para estocagem do lodo tratado.

5.3 AVALIAÇÕES DA FERTILIDADE DOS SUBSTRATOS

5.3.1 Análises químicas dos substratos de pré-plantio

Apresentam-se os resultados quantitativos das análises químicas dos teores trocáveis de nutrientes, sódio e pH entre os tratamentos contendo diferentes proporções entre

biossólido, vermiculita e substrato comercial, onde se verifica o comportamento das misturas para compor o substrato do cedro australiano (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados médios das análises químicas (Na, pH, nutrientes disponíveis e parâmetros S, T, V) dos tratamentos contendo diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant® no pré-plantio

Substrato	Na	Ca	Mg	H+Al	Al	Valor S
----- % -----	----- Cmol _c dm ⁻³ -----					
100 V	0,01 d	0,00 d	10,60 a	0,73 b	0,00 a	14,79 d
75 V: 25 L	0,47 c	16,37 c	8,33 ab	0,00 b	0,00 a	28,05 c
50 V: 50 L	0,98 b	32,50 ab	1,33 c	0,00 b	0,00 a	39,97 ab
25 V: 75 L	1,34 a	38,17 a	0,67 c	0,00 b	0,00 a	46,75 ab
100 S	0,12 d	8,53 cd	2,75 c	25,03 a	0,00 a	26,30 c
75 S: 25 L	0,57 c	20,83 bc	3,25 bc	0,83 b	0,00 a	36,05 bc
50 S: 50 L	0,90 b	30,83 ab	1,00 c	0,00 b	0,00 a	41,44 ab
25 S: 75 L	1,34 a	33,17 ab	0,38 c	0,00 b	0,00 a	43,41 ab
100 L	1,40 a	39,50 a	2,33 c	0,00 b	0,00 a	51,30 a

Substrato	Valor T	Valor V	P	K	pH
----- % -----	Cmol _c dm ⁻³	----- % -----	----- mg L ⁻¹ -----	-----	--- CaCl ₂ ---
100 V	15,52 e	95,24 b	9 e	1629 fg	6,70 c
75 V: 25 L	28,05 d	100,00 a	719 c	1125 g	7,77 a
50 V: 50 L	39,97 bc	100,00 a	210 de	2010 ef	7,81 a
25 V: 75 L	46,75 abc	100,00 a	291 d	2565 de	7,90 a
100 S	51,33 a	51,29 c	2565 a	5800 a	5,55 d
75 S: 25 L	36,88 cd	97,71 a	1338 b	4437 b	7,33 b
50 S: 50 L	41,44 abc	100,00 a	589 c	3397 c	7,80 a
25 S: 75 L	43,41 abc	100,00 a	176 de	3374 c	7,91 a
100 L	51,30 a	100,00 a	188 de	3143 cd	7,62 ab

- Todos os valores correspondem a uma média de três repetições.

- Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

- Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant®; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido).

A partir dos resultados obtidos tem-se que o pH para substrato comercial Basaplant® puro e vermiculita é de acidez média e acidez muito baixa, respectivamente, e referente aos substratos com a mistura desses ao biossólido, bem como, o biossólido puro apresentam pequena basicidade, justificável nesses tratamentos que contém o lodo de esgoto em virtude

do processo de estabilização alcalina os quais foram submetidos. De acordo com o centro de pesquisas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC, 2017) os parâmetros de pH em CaCl_2 e saturação por bases (Valor V), apresentam estreita correlação entre si (Tabela 5), que por sua vez, foi igualmente observado nos resultados desse trabalho (Tabela 4).

Tabela 5 – Limites de interpretação das determinações relacionadas com a acidez do solo

Acidez	pH em CaCl_2	Saturação por Bases	V (%)
Muito alta	Até 4,3	Muito baixa	0 – 25
Alta	4,4 – 5,0	Baixa	26 – 50
Média	5,1 – 5,5	Média	51 – 70
Baixa	5,6 – 6,0	Alta	71 – 90
Muito baixa	> 6,0	Muito alta	> 90

Fonte: IAC (2017).

Ainda no tocante às variáveis que tratam da acidez do solo, os resultados para o valor $\text{H}+\text{Al}$ diferiram o substrato comercial Basaplant[®] puro dos demais tratamentos. A acidez potencial contempla a soma da acidez trocável e da acidez não trocável do solo. A acidez trocável relaciona-se aos íons H^+ e Al^{3+} retidos na superfície dos coloides por forças eletrostáticas. A acidez não trocável é representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos coloides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio (LOPES, SILVA; GUILHERME, 1991). Tomando os resultados obtidos (Tabela 4) e a interpretação de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999)⁵ citados por Pedroso Neto e Costa (2012), é possível verificar que a acidez potencial apresentou-se significativamente superior no substrato comercial em detrimento da vermiculita pura e substratos com diferentes proporções de biossólido, provavelmente pela grande quantidade de ácidos orgânicos presente neste material.

O alumínio solúvel em excesso é considerado tóxico às plantas e mesmo em pequena concentração é suficiente para causar danos ao vegetal (VALMORBIDA; CORREA, 2015). Acerca dos valores encontrados para Al trocável, tem-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Os resultados nulos registrados se justificam, principalmente, nas

⁵ RIBEIRO, A. C.; GUILMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. *Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p., 1999.

misturas, que por sua vez, receberam o lodo calado e destarte, em razão do processo alcalino apresentaram redução na solubilidade do alumínio. Lopes, Silva e Guilherme (1991) enfatizam que quando se aplica um corretivo de acidez no solo, uma das reações resultantes é que o alumínio torne-se insolubilizado na forma de hidróxido. Valores com nulidade para Al em lodo de esgoto também foram observados nos trabalhos de Scheer et al. (2011) e Godoi et al. (2008).

O sódio (Na) é classificado como elemento benéfico ao desenvolvimento vegetal, podendo inclusive, em algumas plantas, substituir parcialmente as funções de elementos essenciais. No entanto, a devida cautela deve ser tomada visto que concentrações elevadas desse elemento podem aumentar a salinidade do substrato e se tornar tóxico para as plantas. É um elemento importante no crescimento das plantas, contudo, geralmente, sua ausência não é fator limitante (MENDES, 2007). Relativamente ao Na trocável, houve variação significativa entre os substratos, onde aqueles com maiores concentrações desse elemento demonstraram-se em 100% bioossólido, 25% vermiculita + 75% bioossólido e 25% Basaplant[®] + 75% bioossólido. Na literatura científica, a elevação no teor de Na em resposta ao aumento das doses de bioossólido, observado nesse trabalho, é pontuada por alguns autores. Na caracterização dos atributos químicos e físicos de um solo tratado com bioossólido, Trannin, Siqueira e Moreira (2008), verificaram alto teor de sódio no bioossólido. Assim como observado por Vieira, Castilhos e Castilhos (2011), ao pontuarem que os teores de Na no solo também aumentaram significativamente com o incremento das doses de lodo, em relação aos tratamentos testemunha + calcário e adubação NPK. Elevada concentração de sódio trocável em lodo caleado foi avaliada no estudo de Fia, Matos e Aguirre (2005), que assim como na presente pesquisa, também avaliou o resíduo higienizado a partir de cal hidratada. Ainda nesse aspecto, Nascimento et al. (2004), destacaram que a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto promoveram aumento dos teores de Na dos solos.

Nos resultados dispostos (Tabela 4), nota-se que para Ca disponível, os substratos 100% bioossólido, 25% vermiculita + 75% bioossólido e 25% Basaplant[®] + 75% bioossólido são estatisticamente semelhantes e apresentam os teores mais elevados desse nutriente. Seu enriquecimento se deve pela calagem realizada do lodo de esgoto que além de atuar na higienização do resíduo, contribuiu no fornecimento de cálcio ao mesmo. Godoi et al. (2008) obteve resultado próximo ($31,65 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) dos substratos supracitados nesse trabalho, acerca da concentração de cálcio em bioossólido ao estudar o seu efeito residual em área degradada. Os autores Trindade, Dias e Jucksch (1997) registraram o equivalente a 16 cmol_c

dm^{-3} nos teores de Ca em lodo de esgoto que se comparados a essa pesquisa tem similaridade com os resultados de cálcio nos substratos com 25% bio sólido, notadamente mais expressivo em decorrência do processo de estabilização com cal hidratada.

Analisando os resultados para Mg disponível (Tabela 4) verifica-se que para esse nutriente a contribuição é mais efetiva pela vermiculita, para tanto os maiores valores calculados estão nas misturas com 100% vermiculita e 75% vermiculita + 25% bio sólido, sendo inclusive semelhantes pelo teste de comparação de médias de Tukey ($p > 0,05$). Nesse aspecto, a própria composição do argilomineral justifica os resultados apontados. Especificamente, para magnésio, o lodo calado em avaliação tem fornecido menor concentração do nutriente. Nos estudos de Freitas et al. (2015) e Freitas e Melo (2013), os quais analisaram a produção de mudas em função do lodo de esgoto (composto puro/biocomposto), também foram constatados valores mais baixos para magnésio, respectivamente, 1,20 e 1,40 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. O resultado de Trindade, Dias e Jucksch (1997) se aproxima do observado nessa pesquisa no que se refere ao bio sólido puro, para magnésio disponível, os autores registraram o equivalente a 2,40 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

O valor S reflete a soma de bases trocáveis contemplando, portanto, os valores de cálcio, magnésio, potássio e, em solos salinos, também o sódio, na forma trocável, do complexo de troca de cátions do solo (LOPES; GUILHERME, 2004). Os resultados para esse valor foram maiores e estatisticamente similares nos substratos 100% bio sólido, 25% vermiculita + 75% bio sólido, 25% Basaplant[®] + 75% bio sólido, 50% Basaplant[®] + 50% bio sólido e 50% vermiculita + 50% bio sólido.

A respeito do valor de T ou capacidade de troca catiônica a pH 7 sabe-se que esse atributo considera todas as cargas do solo, sejam as permanentes e dependentes do pH (PEDROSO NETO; COSTA, 2012). Nesse aspecto, os tratamentos 100% Basaplant[®] e 100% bio sólido apresentaram a maior média estatística, seguido dos substratos 25% vermiculita + 75% bio sólido, 25% Basaplant[®] + 75% bio sólido e 50% Basaplant[®] + 50% bio sólido e 100% bio sólido, esses com semelhança ao teste de Tukey. Nota-se a contribuição do lodo no valor de T, ao passo que pelo aumento das dosagens de bio sólido nas misturas, verifica-se também o aumento da CTC. Esse comportamento crescente da CTC em razão do aumento das doses de lodo foi pontuado também por Nascimento et al. (2004), o qual pondera que a estimativa da mesma pela soma de bases pode ocasionar superestimação dessa característica devido aos teores de Ca e Mg presentes no lodo. Estes autores ao fundamentarem-se nos trabalhos de Oliveira, F. et al. (2002) mencionaram que as alterações na CTC podem ser

melhor esclarecidas pela variação do pH do que pelos acréscimos de carbono orgânico. De todo o modo, o aumento da retenção de cátions proporcionado pelo lodo, revela extrema relevância para associá-los aos solos prevalecentes nas regiões de clima tropical, geralmente, com características de baixa CTC e pobres em matéria orgânica (NASCIMENTO et al., 2004). O valor de T registrado nas proporções de 50 e 75% bio sólido (Tabela 4) aproximara-se de alguns resultados observados para lodo de esgoto na literatura, como nos trabalhos de Bremm et al. (2012) com $37,39 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, Godoi et al. (2008) com $43,55 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, e Caldeira et al. (2014) com valor de T em $41,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

O parâmetro V reflete o percentual dos pontos de troca de cátions potencial do complexo coloidal do solo que estão ocupados por bases, ou melhor, sugere quantos por cento das cargas negativas, passíveis de troca a pH 7,0, estão ocupados por Ca, Mg, K e Na, em comparação àqueles ocupados por H e Al (LOPES; GUILHERME, 2004). Frente aos resultados obtidos para os 9 tratamentos desse trabalho, os maiores valores de V foram observados nos substratos com 100% bio sólido e naqueles com as 6 misturas de bio sólido, vermiculita e Basaplant[®]. A menor média foi verificada no tratamento 100% Basaplant[®]. Valores de saturação por bases elevados para lodo de esgoto também foram pontuados por Freitas e Melo (2013) com o correspondente a 93% e Scheer et al. (2011) com 87%.

O P é um nutriente móvel e exerce papel importante como componente energético (AGROLINK, 2016). É fundamental na formação do trifosfato de adenosina, atua em reações de esterificação com açúcares e outros compostos envolvidos na fotossíntese e na respiração (MENDES, 2007). Em concordância com os valores apresentados, nota-se que o substrato comercial tem conferido maior fornecimento de P disponível em detrimento dos demais tratamentos. As maiores concentrações de P disponível foram observadas em 100% Basaplant[®] e 75% Basaplant[®] + 25% bio sólido. Caldeira et al. (2014), ao testar diferentes componentes, incluindo o lodo de esgoto, como substrato na produção de mudas de *Acacia mangium*, obteve resultados de fósforo aproximados com os resultados demonstrados para as misturas e bio sólido (Tabela 4), os valores variavam de 62 a 204 mg L^{-1} considerando substratos com bio sólido puro e bio sólido + vermiculita. Há a possibilidade de que o efeito em adicionar a cal sobre o lodo tenha exercido influência na disponibilidade de P, posto que a elevação do pH, reduz a disponibilidade deste elemento no solo como destaca Bremm et al. (2012).

Mendes (2007) descreve as funções essenciais do K onde além de ativador enzimático, também contribui no metabolismo proteico e potencial hídrico celular. O K

comporta-se como íon cátion monovalente e desse modo poderá ser facilmente lixiviado, absorvido, fixado, adsorvido as argilas ou permanecer na solução do solo (SENGIK, 2003). As médias obtidas para potássio disponível nos tratamentos denotam maior participação do substrato comercial no fornecimento desse nutriente, para tanto o substrato com 100% Basaplant[®] demonstrou a maior concentração, seguido de 75% Basaplant[®] + 25% biossólido. Apesar de inferiores, os tratamentos com 50% Basaplant[®] + 50% biossólido, 25% Basaplant[®] + 75% biossólido e 100% biossólido apresentaram bons resultados para K, de acordo com a classificação de Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999) citados por Pedroso Neto e Costa (2012). No que se refere a esses resultados, Bremm et al. (2012) apresentou valores levemente superiores para K (12,80 cmol_c dm⁻³) em lodo tratado com cal virgem a 50% em comparação a essa pesquisa (8,06 cmol_c dm⁻³) para 100% biossólido (sendo calado a 30% de cal hidratada). Em contrapartida, nos resultados analíticos de lodo de esgoto da ETE Cachoeiro de Itapemirim (ES), valor inferior de K (1623 mg L⁻¹), em comparação ao presente trabalho, foi citado por Caldeira e colaboradores (2014).

Para os teores totais de macronutrientes nos diferentes tratamentos avaliados na produção das mudas de cedro australiano constam os resultados (Tabela 6).

Tabela 6 – Análises químicas totais dos tratamentos contendo diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®] no pré-plantio

Substrato %	C _{org}	N	S	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹						
100 V	6,0 e	8,67 f	1,97 c	0,18 e	3,02 a	0,00 f	42,58 a
75 V: 25 L	137,7 d	19,50 c	3,69 bc	5,15 a	3,02 a	256,6 bc	19,75 b
50 V: 50 L	156,2 c	20,53 bc	5,77 abc	5,03 a	2,52 a	290,9 b	20,35 b
25 V: 75 L	176,1 b	22,40 a	8,58 a	4,71 a	3,02 a	210,5 d	15,50 b
100 S	159,9 c	11,27 e	2,98 b	0,86 d	1,52 b	153,2 e	3,17 c
75 S: 25 L	164,1 bc	15,90 d	6,23 abc	2,59 c	1,52 b	250,4 c	4,64 c
50 S: 50 L	175,7 b	17,60 d	7,82 ab	4,19 b	3,02 a	258,8 bc	6,42 c
25 S: 75 L	194,2 a	22,17 ab	9,80 a	4,95 a	3,02 a	284,1 bc	7,22 c
100 L	176,6 b	21,37 ab	9,20 a	4,83 a	3,02 a	369,3 a	7,68 c

- Todos os valores correspondem a uma média de três repetições.

- Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

- Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido).

Conforme descrevem Pedroso Neto e Costa (2012), acerca dos resultados para carbono orgânico cabe mencionar que a determinação de sua concentração é fundamental para estimar os teores de matéria orgânica do solo. De acordo com a classificação estabelecida por Mendes (2007), solo/substrato em que se observa C_{org} superior a $40,6 \text{ g kg}^{-1}$ caracteriza-se como muito bom, ou seja, adequado, considerando o C enquanto indicador da qualidade do substrato. Dentro dos nove tratamentos testados todos se enquadram nessa classificação, exceto o 100% vermiculita. Para esses valores tem-se que o biossólido contribuiu no provimento de C refletindo a melhor média para o substrato 25% Basaplant[®] + 75% biossólido, seguido dos tratamentos 100% biossólido, 25% vermiculita + 75% biossólido, 50% Basaplant[®] + 50% biossólido e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido. Os resultados para C_{org} total presente em lodo de esgoto podem ser bastante variáveis em razão da origem do efluente e dos processos envolvidos na própria ETE, em vista disso Hoffmann et al. (2010) encontraram o equivalente a $364,8 \text{ g kg}^{-1}$ e Caldeira Júnior et al. (2009) registraram 90 g kg^{-1} nos lotes de lodo avaliados. Equiparável à concentração obtida nessa pesquisa está o conteúdo de $160,0 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono orgânico total citado por Caldeira et al. (2014) para o lodo da ETE de Cachoeiro de Itapemirim em Espírito Santo, segundo dados fornecidos pela Foz do Brasil S.A. Ademais, Oliveira, F. et al. (2002) observaram o equivalente a $184,85 \text{ g kg}^{-1}$ de carbono orgânico total na composição do lodo de esgoto utilizado na pesquisa.

O N, de modo geral, é exigido em grandes quantias pelos vegetais, variando em concentrações de 1 a 5 dag kg^{-1} da matéria seca (MENDES, 2007). De acordo com os resultados (Tabela 6), é possível notar que para esse nutriente o biossólido tem contribuído no seu fornecimento efetivamente se comparados ao substrato comercial ou vermiculita puros, incluindo as misturas 25% vermiculita + 75% biossólido, 25% Basaplant[®] + 75% biossólido e o tratamento 100% biossólido, os quais demonstraram as maiores médias e se equivalem estatisticamente. Em relação à concentração de nitrogênio total em lodo de esgoto há resultados na literatura que se assemelham ao registrado para a maior proporção de biossólido desse estudo, exemplificando, conforme os autores Caldeira Júnior et al. (2009) ao pontuar $24,0 \text{ g kg}^{-1}$, Nogueira et al. (2006) também apresentando $24,0 \text{ g kg}^{-1}$ e Garcia et al. (2009) com $21,7 \text{ g kg}^{-1}$.

Em relação ao enxofre, sabe-se que assim como o Ca e o Mg, é considerado um macronutriente secundário (PEDROSO NETO; COSTA, 2012). Os resultados apresentam para S total que a contribuição foi mais efetiva a partir do biossólido, onde até as misturas entre o resíduo calado e o substrato comercial/vermiculita foram bastante vantajosos para a

composição dos substratos. Na literatura, Nascimento et al. (2011) estudando o crescimento de sementes de mamona tratadas com lodo de esgoto, quantificaram o S total em $10,6 \text{ g kg}^{-1}$, aproximado, portanto, do valor encontrado para biossólido nessa avaliação.

Os resultados obtidos para P total nos diferentes tratamentos (Tabela 6) demonstraram comportamento distinto em relação à quantidade desse elemento em sua forma disponível (Tabela 4). Notam-se maiores concentrações de fósforo total nos tratamentos com biossólido puro e nas misturas 75% vermiculita + 25% biossólido, 50% vermiculita + 50% biossólido, 25% Basaplant[®] + 75% biossólido e 25% vermiculita + 75% biossólido, os quais, inclusive, apontaram resultados estatisticamente semelhantes para esse nutriente, ao teste de Tukey ($p > 0,05$). Em contrapartida, no tocante aos valores de fósforo disponível, os valores mais significativos foram registrados para as maiores proporções de substrato comercial Basaplant[®] (Tabela 4). A partir disso, depreende-se que a porção assimilável pelas plantas desse macronutriente expôs-se superior nos substratos com Basaplant[®] em detrimento daqueles com biossólido, embora a quantia total de P tenha se apresentado maior nos tratamentos com lodo calado. Os nutrientes quando dito disponíveis para as plantas, encontram-se nas formas solúveis na solução do solo, mas também, há grande parte deles adsorvidos aos colóides, ou na fase mineral ou orgânica como elemento lentamente disponível. E conhecer a disponibilidade dos nutrientes é de fundamental importância na diagnose da fertilidade do substrato (SENGIK, 2003). Partindo dessas considerações, conclui-se que relevante parcela do fósforo encontra-se contida na forma orgânica nos substratos a base de lodo e sua mineralização deve ocorrer com o tempo para que se torne disponível para absorção pelo vegetal. Adicionalmente, em detrimento dos resultados de P assimilável é importante salientar também que a fixação desse macronutriente, muitas vezes, pode ser reduzida pelo aumento do pH do substrato. De acordo com Lana et al. (2004), alguns estudos demonstram que se o pH for mantido entre 6,0 e 7,0, ocorre melhor absorção de P pelas culturas. Afinal, em solos com pH elevado, o fósforo é insolubilizado como fosfato de cálcio (PRADO, 2012; LANA et al., 2004; PANTANO et al., 2016) e, possivelmente esse efeito também foi observado nos resultados da pesquisa aqui apresentada.

Acerca do valor de P total para biossólido mais próximo da presente pesquisa está o equivalente a $4,7 \text{ g kg}^{-1}$ registrado por Hoffman et al. (2010). Os autores Oliveira, F. et al. (2002) e Faria et al. (2013) obtiveram valores superiores, respectivamente, $11,16 \text{ g kg}^{-1}$ e $5,7 \text{ g kg}^{-1}$ para lodo de esgoto. Conforme Erlacher e colaboradores (2016) o substrato comercial

Basaplant[®] apresentou quantia referente a 1,42 g kg⁻¹ de fósforo total, que por sua vez, mostra-se levemente superior ao pontuado no presente trabalho.

Em relação ao macronutriente K nota-se comportamento semelhante ao pontuado para P ao comparar suas concentrações na forma disponível e total (envolvendo a fração que está na fase orgânica). Os resultados demonstraram diferença significativa entre os tratamentos com maiores proporções de substrato comercial – 100% Basaplant[®] e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido – e os demais substratos com biossólido e vermiculita puros, além das misturas entre esses componentes. Para esses últimos (sete) tratamentos foram verificadas maiores médias para K total, embora esse cenário apresente-se, de certo modo, oposto à quantificação disponível para plantas desse macronutriente. Segundo a caracterização química de um lote de lodo de esgoto da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) utilizado no ensaio de Nascimento et al. (2004) observa-se o total de 2,1 g kg⁻¹ para K. Cabe salientar também que registrado por Hoffman e colaboradores (2010), o valor médio quantificado para K total foi de 2,9 g kg⁻¹ em amostra de biossólido, o qual se expõe mais próximo ao resultado obtido nesse trabalho (Tabela 6). Valor aproximado dessa pesquisa, agora para substrato comercial Basaplant[®] foi determinado por Erlacher et al. (2016) com o equivalente a 1,04 g kg⁻¹ de potássio total.

Referente aos resultados apontados para Ca total têm-se quantias bastante expressivas desse elemento, principalmente, nos tratamentos com biossólido puro e nas misturas com biossólido, efeito igualmente verificado nos valores de Ca trocável. A concentração mais elevada desse elemento foi observada no tratamento de 100% biossólido e as menores concentrações registradas para cálcio total se deram nos substratos a base de vermiculita e Basaplant[®] puros. Isso se sucedeu em razão da higienização do lodo de esgoto pelo processo de estabilização alcalina com cal hidratada que resultou em um maior incremento dos teores de Ca nos substratos a base de biossólido. Valores nulos para Ca total nos substratos com vermiculita pura também foram apontados no trabalho de Oliveira, V. et al. (2002).

Ademais, foi quantificado o Mg total para os nove tratamentos e acerca desses resultados nota-se que o substrato com 100% vermiculita demonstra valor muito superior se comparado aos outros. Após esse, estão as misturas de vermiculita e biossólido com médias estatisticamente similares entre si. Valores elevados de magnésio total para substratos com maiores proporções de vermiculita justificam-se pela origem do próprio mineral. Afinal, como é sabido a vermiculita – oriunda de processos metamórficos e magmáticos – trata-se de

um silicato hidratado de forma lamelar, que contém quantidades variáveis de ferro, magnésio, potássio e alumínio (FRANÇA et al., 2016). Concentração significativa de Mg total para substratos com vermiculita pura também foi verificada no estudo de Faria et al. (2013) com o equivalente a 40,8 g kg⁻¹. E aproximado ao resultado dessa pesquisa observou-se, para substrato comercial Basaplant[®], a quantia de 4,01 g kg⁻¹ de acordo com Erlacher et al. (2016).

5.3.2 Avaliação da condutividade elétrica dos substratos

Segundo Raij, Gheyi e Bataglia (2001) uma estimativa do teor total de sais em solução pode ser obtida pela condutividade elétrica (CE) do extrato, levando-se em consideração que a resistência para passagem de corrente elétrica, sob condições padronizadas, reduz em detrimento do aumento da concentração de sais. Destarte, foram tomados os valores médios para cada tratamento em conformidade com a metodologia recomendada pela Resolução N° 375/2006 do CONAMA (RAIJ; GHEYI; BATAGLIA, 2001; CAMARGO et al., 2009). Esses resultados estão dispostos a seguir (Tabela 7), junto à percentagem de saturação por sódio trocável (PST), a qual identifica o grau de sodicidade do extrato.

Tabela 7 – Valores médios da condutividade elétrica e percentagem de saturação por sódio trocável (PST) dos substratos contendo diferentes proporções entre bio sólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®]

SUBSTRATO (%)	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	PST (%)
100 V	0,11 mS cm ⁻¹	0,09
75 V: 25 L	3,31 mS cm ⁻¹	1,98
50 V: 50 L	5,88 mS cm ⁻¹	3,05
25 V: 75 L	7,77 mS cm ⁻¹	3,73
100 S	6,00 mS cm ⁻¹	0,22
75 S: 25 L	8,12 mS cm ⁻¹	1,29
50 S: 50 L	4,51 mS cm ⁻¹	2,32
25 S: 75 L	6,19 mS cm ⁻¹	2,95
100 L	8,20 mS cm ⁻¹	3,45

Todos os valores correspondem a uma média de três repetições.

Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (bio sólido).

A classificação dos solos afetados por sais expressa-se como: salinos (apresentam alta concentração de sais solúveis – Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), sódicos (alta concentração de sódio trocável) e salino-sódicos (alta concentração de sais e de sódio) (Tabela 8). A partir dos valores de CE, PST e pH é possível classificar o substrato em uma dessas condições. Aqueles que não demonstram características salinas acentuadas são considerados normais (RICHARDS, 1954; BRADY; WEIL, 2013).

Tabela 8 – Classificação dos solos afetados por sais

CLASSIFICAÇÃO	CE	pH	PST
	----- mS cm ⁻¹ -----		----- % -----
Normal	< 4	< 8,5	< 15
Salinos	> 4	< 8,5	< 15
Sódicos	< 4	> 8,5	> 15
Salino-sódicos	> 4	< 8,5	> 15

Fonte: Adaptado de Richards (1954); Brady e Weil (2013).

Partindo dessas considerações para solo, nota-se que a maioria dos tratamentos avaliados para o cultivo de cedro caracterizava-se como salino, apresentando, portanto, $\text{CE} > 4$, $\text{pH} < 8,5$ e $\text{PST} < 15$. Somente os tratamentos com 100% vermiculita e 75% vermiculita + 25% biossólido, foram classificados como normais em razão desses valores.

A salinidade e a sodicidade podem causar efeitos nocivos ao desenvolvimento das plantas, visto que podem afetar a absorção de água pelos vegetais, devido à redução do potencial osmótico da solução do solo e afetar a estrutura do solo e, indiretamente, a disponibilidade da água. A presença de sais no solo pode também provocar problemas de toxicidade para as plantas (BERNARDO, 1995⁶; COSTA; HOLANDA; FIGUEIREDO FILHO, 2004).

Em alusão aos tratamentos que abarcam as proporções de biossólido, verifica-se a classificação salina, majoritariamente. E os valores de CE nos substratos, sobretudo nos que associam vermiculita e biossólido, apresentam-se de maneira crescente ao aumento do volume de lodo. Essas observações podem ser justificadas por duas principais razões. Em virtude do incremento do cátion Ca^{2+} , proveniente do processo de higienização do lodo de esgoto, através da estabilização alcalina com cal hidratada, elevando o teor desse sal solúvel

⁶ BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 6 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657 p.

proporcionalmente. E ainda, pelos consideráveis níveis observados do cátion Na^+ nos tratamentos com bio sólido, os quais podem ser explicados pela própria origem do resíduo ao qual aborda essa pesquisa. O lodo de esgoto é proveniente das águas residuais, nesse caso, de procedência urbana (residencial, comercial e outros) e a concentração dos nutrientes e elementos, nele presentes, incluindo o Na^+ , irá depender, dentre alguns fatores, das atividades da população, onde é possível sugerir até mesmo a alimentação. De modo geral, a maioria do sódio disponível para consumo procede do sal de cozinha e de condimentos à base de sal, todavia, a porção derivada de alimentos processados com adição de sal aumentou expressivamente com o poder aquisitivo domiciliar, em concordância com os resultados mencionados por Sarno et al. (2013). Conforme esses autores, o consumo de sódio no Brasil expõe-se em níveis superiores à recomendação máxima para esse nutriente em todas as macrorregiões e classes de renda brasileiras.

Acerca da concentração desse elemento no bio sólido, no estudo de Freitas e Melo (2013) foi avaliado o uso de biocomposto à base de lodo de esgoto na produção de uma espécie de tomate (*Solanum lycopersicum*). Segundo os autores, conforme caracterização do lodo da ETE e levando em consideração a classificação de toxicidade por solubilização, o lodo de esgoto demonstrou teores de sódio acima do limite máximo permitido. Trannin, Siqueira e Moreira (2008) ao analisarem os efeitos da aplicação de bio sólido industrial no cultivo de milho, observaram alto teor de sódio para o resíduo. Em ambas as pesquisas, não houve implicação adversa à resposta de crescimento do tomateiro e nem à estabilidade dos agregados, respectivamente.

5.4 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISES QUÍMICAS DOS VEGETAIS

5.4.1 Avaliação da produção das mudas

Em relação a todas as variáveis de crescimento e biomassa levantadas das mudas de cedro australiano (Tabela 9), evidencia-se que o tratamento 100% Basaplant[®] alcançou resultados superiores aos demais, demonstrando que o desenvolvimento de mudas de cedro australiano foi favorecido pelo uso do substrato comercial. Com a exceção do parâmetro de biomassa fresca radicular para a muda cultivada em 75% Basaplant[®] + 25% bio sólido com média estatisticamente semelhante ao cultivo em substrato comercial puro. Adicionalmente, a

mistura de biossólido no substrato comercial, nas concentrações estudadas, não favoreceu o aumento no desenvolvimento das mudas de cedro australiano.

Tabela 9 – Parâmetros de desenvolvimentos das mudas de cedro australiano produzidas com diferentes proporções entre biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®]

Subtrato (%)	Altura	Diâmetro	H/D	BSPA	BSR
	--- cm ---	--- mm ---		----- g -----	
100 V	8,50 d	2,00 d	4,3 d	0,21 d	0,09 c
75 V: 25 L	15,50 cd	2,50 cd	6,2 bcd	0,96 cd	0,24 b
50 V: 50 L	9,75 d	2,00 d	4,9 cd	0,24 d	0,11 c
25 V: 75 L	28,25 b	3,75 b	7,5 ab	2,23 b	0,30 b
100 S	51,50 a	5,75 a	9,0 a	5,50 a	0,83 a
75 S: 25 L	22,25 bc	3,25 bc	6,9 abc	1,55 bc	0,35 b
50 S: 50 L	8,55 d	2,00 d	4,3 d	0,27 d	0,08 c
25 S: 75 L	11,40 d	2,00 d	5,6 bcd	0,34 d	0,10 c
100 L	12,60 d	2,00 d	6,3 bcd	0,40 d	0,07 c

- Todos os valores correspondem a uma média de três repetições.

- Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

- Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido); BSPA: Biomassa seca da parte aérea; BSR: Biomassa seca da raiz.

Uma das implicações para os resultados observados no desenvolvimento das mudas pode relacionar-se ao pH dos substratos, esse por sua vez, atua em diversos aspectos da nutrição mineral da planta, pois condiciona a disponibilidade dos macro e micronutrientes na rizosfera (PRADO, 2012). Todos os substratos que continham biossólido em alguma proporção apresentaram resultados para pH superiores a 7,3 e dessa maneira, de condição quase neutra levemente alcalina. Nos estudos de Lima et al. (2015), Moretti et al. (2010) e Oliveira et al. (2015) que abrangem o cultivo de *Toona ciliata*, verifica-se o uso de solos com valores de pH equivalentes a 5,9, 5,7 e 5,2 respectivamente. Aponta-se que o pH desejável para o cultivo de cedro mantenha-se entre 5,5 e 7,0 (INVESTAGRO, 2013). Nessa pesquisa, o tratamento 100% Basaplant[®] possuía pH de 5,5 e o 75% Basaplant[®] + 25% biossólido pH de 7,3, e representavam as menores médias de pH em comparação ao registrado para as demais misturas de biossólido e Basaplant[®], conforme Tabela 4.

Também cabe ressaltar que os tratamentos 100% Basaplant[®] e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido demonstraram os melhores resultados nas concentrações de fósforo assimilável (Tabela 4), o que pode ter beneficiado no desenvolvimento das mudas. O cedro australiano é uma espécie de elevada exigência nutricional, sobretudo aos teores disponíveis de P. Essa observação é validada por Moretti et al. (2011), que por meio da técnica do elemento faltante, avaliaram a demanda nutricional de mudas de *Toona ciliata* e puderam concluir que o fósforo é o elemento de maior exigência pela espécie, levando em consideração a produção de matéria seca da parte aérea. Igualmente, verificado por Paula (2014) ao mencionar o P enquanto macronutriente mais exigido pelo cedro sendo, portanto um nutriente limitante ao crescimento do vegetal.

Levando em consideração os nove tratamentos testados nesse trabalho, vale atentar-se à influência dos cátions solúveis, principalmente de Na⁺ e Ca²⁺ e, conseqüentemente, a salinidade em maior evidência nos substratos que continham lodo de esgoto higienizado. De modo geral, houve melhor resposta no desenvolvimento da muda cultivada em 100% Basaplant[®]. Os demais substratos (excetuando os tratamentos com 100% vermiculita e 75% vermiculita + 25% biossólido) possivelmente demonstraram menor incremento, sobretudo na biomassa, dentre outras causas, pela própria salinidade.

Exclusivamente para o íon cálcio, tem-se que prejuízos provocados pelo excesso desse nutriente são pouco conhecidos, conforme salientado por Deon (2007). Sabe-se que a aplicação de Ca em solo deficiente em Mg, demonstra grandes chances de acarretar um desequilíbrio nutricional na planta causando certa redução no crescimento (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

Em relação à CE elevada que é percebida nos solos ou substratos salinos, essa pode provocar, dentre alguns efeitos, a restrição na absorção de nutrientes e no desenvolvimento das plantas, além da possibilidade em causar déficit hídrico, e por conseqüência, toxidez para algumas culturas (BARROSO; WOLFF, 2011; SCHOSSLER et al., 2012).

Esses efeitos são decorrentes de dois distintos componentes do estresse salino: o osmótico e o iônico (WILLADINO; CAMARA, 2010). De acordo com as autoras, o componente osmótico é resultado dos altos teores de sais dissolvidos na solução do substrato, os quais diminuem o potencial osmótico dessa solução, reduzindo, por conseguinte, a disponibilidade de água para a planta. Acerca do segundo componente, os distúrbios metabólicos decorrentes do acúmulo de Na⁺ na célula procedem, em parte, da competição com o K⁺ pelos sítios ativos das enzimas e ribossomos. O íon K⁺ ativa mais de 50 enzimas do

metabolismo vegetal e para essa função, não pode ser substituído pelo Na^+ . Em vista disso, julga-se que uma alta concentração de Na^+ ou uma alta relação Na^+/K^+ culminará na interrupção de diversos processos metabólicos relevantes. Ademais, pode haver desequilíbrio nutricional nos vegetais, provocado pelo excesso de íons específicos, sobretudo Na^+ , sendo percebida deficiência de íons potássio, cálcio, magnésio e fósforo (LAUCHLI; EPSTEIN, 1990; WILLADINO; CAMARA, 2010).

Conforme listado pelo Instituto de Pesquisa e Inovação na Agricultura Irrigada (INOVAGRI, 2015), o manejo da salinidade no substrato pode se suceder por técnicas: 1. fundamentais – como a lavagem dos sais ou a aplicação de melhoradores químicos, gesso agrícola, por exemplo; 2. auxiliares mecânicas – por meio da adição e mistura do solo com areia; 3. auxiliares biológicas – através da adição de matéria orgânica.

No estudo de Freitas e Melo (2013), o lodo de esgoto apresentou teores de cloreto e sódio acima do limite máximo admitido. Todavia, os tomates da espécie *Solanum lycopersicum* não apresentaram características desfavoráveis relativas a esses parâmetros e segundo os autores, os efeitos do sal nos solos podem ter sido controlados pelos resíduos alimentares e a palha (fonte de matéria orgânica) que foram misturados ao lodo no processo da compostagem.

Ponderando os resultados alcançados para as mudas de cedro australiano cultivadas nas misturas entre biossólido, substrato comercial e vermiculita, é possível destacar que aquelas desenvolvidas nos tratamentos com 25% vermiculita + 75% biossólido e 75% substrato comercial Basaplant[®] + 25% biossólido (Figura 7) foram as que melhor responderam aos tratamentos contendo biossólido, levando em consideração as variáveis mensuráveis na Tabela 9. Tais resultados podem ter relação direta com as maiores concentrações de fósforo assimilável, especialmente no tratamento 75% substrato comercial Basaplant[®] + 25% biossólido (Tabela 4), o que pode ter favorecido a resposta das mudas nesse tratamento, visto que o P é o elemento de maior exigência nutricional pela espécie de cedro australiano (MORETTI et al., 2011; PAULA, 2014).

Esses resultados sugerem que tratamentos com proporções menores de 25% de biossólido em relação ao substrato comercial, podem favorecer o desenvolvimento de mudas de cedro australiano.

Figura 7 – Mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) formadas em substrato com diferentes proporções (%) de biossólido, vermiculita e Basaplant® (seis meses após a semeadura)



Fonte: Autora.

Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant®; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido).

5.4.2 Avaliação dos teores de macronutrientes nos vegetais

Seguem os resultados quantitativos das análises químicas dos macronutrientes observados nas plantas formadas nos diferentes substratos testados nessa pesquisa (Tabela 10).

Tabela 10 – Resultados médios das análises totais de macronutrientes contidos em parte aérea e radicular de mudas de cedro australiano cultivadas em substratos a base de biossólido, vermiculita e substrato comercial Basaplant[®]

Teores totais em parte aérea						
Substrato	N	S	P	K	Ca	Mg
%	----- g kg ⁻¹ -----					
100 V	21,5 b	5,26 ab	6,0 d	31,2 c	0,04 c	6,09 a
75 V: 25 L	34,8 a	2,67 cd	18,2 ab	42,1 ab	3,31 b	5,17 ab
50 V: 50 L	25,8 ab	2,50 cd	12,7 c	43,6 ab	5,49 a	3,40 cd
25 V: 75 L	28,4 ab	3,97 bcd	12,6 c	35,6 bc	4,89 ab	3,78 bcd
100 S	24,7 ab	2,77 bcd	21,1 a	43,5 ab	3,64 ab	3,46 cd
75 S: 25 L	30,0 ab	2,10 d	15,1 bc	37,8 abc	4,65 ab	4,86 abc
50 S: 50 L	27,4 ab	3,15 bcd	12,2 c	46,5 a	5,43 a	3,23 d
25 S: 75 L	24,0 b	4,90 abc	11,9 c	36,7 bc	5,27 a	3,58 cd
100 L	29,1 ab	6,83 a	12,4 c	38,9 abc	5,41 a	3,34 d
Teores totais em parte radicular						
100 V	8,5 d	5,72 cd	1,36 cd	30,1 abcd	1,15 e	6,16 a
75 V: 25 L	16,2 a	7,60 ab	8,87 a	46,5 ab	6,27 cd	4,85 b
50 V: 50 L	15,4 ab	4,45 d	3,81 bcd	46,7 a	9,51 b	3,72 c
25 V: 75 L	16,0 ab	5,00 d	7,95 ab	41,5 abc	8,80 b	4,86 b
100 S	11,6 bcd	6,77 bd	9,62 a	25,5 de	2,64 e	1,42 e
75 S: 25 L	13,7 abc	7,27 abc	5,88 abc	33,3 abcd	4,88 d	1,98 d
50 S: 50 L	13,3 abc	7,50 ab	0,72 d	18,61 d	15,82 a	3,54 c
25 S: 75 L	14,6 ab	7,03 abc	2,35 cd	40,8 abc	5,08 d	4,10 c
100 L	9,9 cd	8,69 a	0,08 d	29,6 bcd	7,70 bc	2,29 d

- Todos os valores correspondem a uma média de três repetições.

- Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

- Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido).

Correspondente ao teor total de N verifica-se, de modo geral, sobretudo, na parte aérea que as mudas demonstraram valores aproximados para a assimilação desse nutriente, nos diferentes tratamentos (Tabela 10). Segundo Tedesco et al., (1995), o teor de N é variável em razão da espécie, no entanto em geral, situa-se entre 0,5 e 5%. Resultados levemente inferiores de N total na matéria seca da parte aérea de plantas de cedro australiano foram pontuados por Moretti et al. (2011). Os autores ao testarem a omissão de nutrientes na planta, observaram o teor de 18,8 e 16,8 g kg⁻¹ de N nos tratamentos completos, os quais

correspondiam, respectivamente, a aplicação de N, P, K, S, B, Cu, Zn + calcário e calcário + Ca(PO₄) e Mg(NO₃). Freiberger et al. (2013) encontraram para N total contido na biomassa aérea (teor foliar + caulinar) o referente à 18,25 g kg⁻¹ na máxima porção de N aplicada (160 mg dm⁻³) ao estudarem o crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis*). Para mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) produzidas em função de doses crescentes de biofósforo (0, 10, 20, 30 e 40%) associadas a esterco bovino e vermiculita, Camargo et al. (2013) retrataram a diagnose foliar das plantas e no tocante ao teor de N registraram os respectivos valores 21,58, 34,53, 40,02, 38,38, 48,07 g kg⁻¹ para os tratamentos. Resultados esses, superiores aos encontrados nesse trabalho, que por sua vez, podem ser justificados por inúmeras razões, entre as quais a exigência nutricional das espécies, a interação entre os macro e micronutrientes, bem como a característica e composição inerentes dos substratos.

Os maiores resultados, na parte aérea, para o teor de S total nas mudas foi registrado para os substratos 100% biofósforo, 100% vermiculita e 25% Basaplant[®] + 75% biofósforo. Já para a parte radicular, destacam-se aquelas formadas nos tratamentos 100% biofósforo, 75% vermiculita + 25% biofósforo, 50% Basaplant[®] + 50% biofósforo, 75% Basaplant[®] + 25% biofósforo e 25% Basaplant[®] + 75% biofósforo. Sabe-se que as folhagens sadias das plantas contêm de 0,15 a 0,45% de enxofre ou, aproximadamente, um décimo da concentração de nitrogênio (BRADY; WEIL, 2013). Para esse macronutriente na biomassa seca aérea de cedro (*Cedrela fissilis*), Freiberger et al. (2013) quantificaram 4,67 g kg⁻¹ no tratamento com dose máxima de N. Esse apresenta-se próximo dos resultados obtidos nesse trabalho, sobretudo para as mudas produzidas no substrato 25% Basaplant[®] + 75% biofósforo (Tabela 10). Para a parte radicular os mesmos autores assinalaram o equivalente a 1,32 g kg⁻¹ no teor de enxofre total.

Pode-se destacar que as maiores concentrações de P, tanto na parte aérea quanto nas raízes, foram encontradas no tratamento 100% Basaplant[®], seguido pelos substratos 25% vermiculita + 75% biofósforo, 75% vermiculita + 25% biofósforo e 75% substrato comercial + 25% biofósforo. Esses resultados podem ter relação direta com o maior desenvolvimento das mudas nesses tratamentos (Tabela 9), enfatizando a importância da disponibilidade de P, para sua absorção e desenvolvimento de mudas de cedro australiano. Fontes, Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2013) avaliaram a produção de biomassa e a eficiência nutricional de quatro espécies arbóreas, incluindo o cedro (*Toona ciliata*), em resposta à fertilização fosfatada. Os autores verificaram que 150 dias após o transplantio das mudas, o cedro australiano foi a espécie com menor taxa de produção de massa seca total (0,4 g planta⁻¹) em

solos com baixos teores de P (5 mg dm^{-3}), representando a espécie de menor adaptação nessa condição em detrimento das demais espécies arbóreas estudadas. Foi destacado pelos autores, o comportamento linear na produção de matéria seca total das mudas e nos teores de P nas folhas em resposta à adição de P no solo. Ao avaliarem o desenvolvimento de mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata*) submetidas a diferentes deficiências nutricionais, Locatelli, Macêdo e Vieira (2007), observaram que o fósforo foi o nutriente que mais limitou o crescimento em altura e diâmetro do colo, além da produção de matéria seca total, em comparação aos resultados do tratamento de solução completa.

Relativo ao teor total de K contido na parte aérea e raízes das mudas, denota-se que não houve influência direta da adição de bio sólido no acúmulo de potássio nas plantas. Resultados semelhantes foram observados por Camargo et al. (2013) onde os teores foliares de potássio contidos em *Jatropha Curcas* L. foram 28,50, 27,33, 28,16, 28,75 e 27,92 g kg^{-1} nas plantas tratadas em doses de 0, 10, 20, 30 e 40% de bio sólido, respectivamente. Segundo, Brady e Weil (2013) o conteúdo em K de um tecido foliar saudável pode encontrar-se na faixa de 1 a 4% para a maioria das plantas, semelhante ao N, mas em quantidades bem superiores do que do P ou S, o que corresponde à faixa de valores encontrados nos diferentes tratamentos do presente trabalho.

Concernente aos valores obtidos para Ca, excetuando os vegetais desenvolvidos em 100% vermiculita e 75% vermiculita + 25% bio sólido, todos os demais apresentaram valores altos e semelhantes estatisticamente na parte aérea. Tratando-se das raízes, o maior valor foi destacado para as mudas do substrato 50% Basaplant[®] + 50% bio sólido. O teor de Ca varia no tecido vegetal entre 0,05 e 2,5% conforme afirmam Tedesco et al. (1995).

E por fim, os resultados analíticos demonstram para Mg contido na parte aérea maiores médias em 100% vermiculita, 75% vermiculita + 25% bio sólido e 75% Basaplant[®] + 25% bio sólido. Enquanto que na parte radicular maior valor foi apresentado, exclusivamente, em 100% vermiculita. As plantas geralmente absorvem o Mg em quantidades semelhantes ou menores que as de Ca (0,15 a 0,75% da matéria seca). Aproximadamente, um quinto do magnésio no tecido vegetal é encontrado nas moléculas de clorofila e, desse modo, está intimamente relacionado com a fotossíntese (BRADY; WEIL, 2013). Correspondente aos nutrientes Ca e Mg, Moretti et al. (2011) avaliaram o equivalente a 10,5 e 9,8 g kg^{-1} de cálcio e 2,5 e 2,4 g kg^{-1} de magnésio em biomassa aérea de *Toona ciliata* produzida em tratamentos completos de macro e micronutrientes.

5.4.3 Avaliação do teor relativo de clorofila total

Com relação ao Índice de Clorofila Falker (ICF), foram verificados maiores valores presentes nas folhas das mudas de cedro australiano desenvolvidas no tratamento 100% substrato comercial, não havendo diferença estatística significativa com os tratamentos 25% vermiculita + 75% bio sólido e 75% substrato comercial + 25% bio sólido (Tabela 11). Disposto isso, verifica-se que o ICF está relacionado diretamente ao maior desenvolvimento das plantas nestes tratamentos (Tabela 9), evidenciando que o maior desenvolvimento das plantas influenciou diretamente a síntese de clorofila.

Tabela 11 – Médias do Índice Falker de clorofila total (a+b) foliar das mudas de cedro australiano formadas em substrato com diferentes proporções de bio sólido, vermiculita, substrato comercial Basaplant[®]

SUBSTRATO (%)	ÍNDICE DE CLOROFILA FALKER
100 V	32,14 b
75 V: 25 L	35,99 ab
50 V: 50 L	32,58 b
25 V: 75 L	35,85 ab
100 S	39,17 a
75 S: 25 L	36,08 ab
50 S: 50 L	31,93 b
25 S: 75 L	32,55 b
100 L	34,39 ab

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (bio sólido).

Segundo Scopel, Barbosa e Vieira (2011), a avaliação do teor de clorofila na planta pode ser utilizada para avaliar o efeito das condições nutricionais do solo e também ser um indicativo de seu estresse. Os efeitos bioquímicos sobre a fotossíntese e a respiração acontecem porque os elementos minerais são componentes integrantes de enzimas e pigmentos, ou ainda, ativadores diretos do processo fotossintético (LARCHER, 2000).

5.5 ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO

Considerando os diferentes substratos para produção de mudas de cedro australiano e partindo dos resultados obtidos para as variáveis de crescimento das mesmas, foram tomados dois modelos de cultivo vegetal, um no qual se empregou vermiculita pura e no outro, substrato comercial Basaplant[®]. A relação custo-benefício foi analisada, aplicando o método da orçamentação parcial para cada modificação, promovendo a substituição dos substratos tradicionalmente empregados pelo uso de biossólido em proporções variadas, considerando os benefícios e os custos presentes, quando da substituição no cultivo de mudas. As receitas consideradas variaram em função do crescimento vegetativo da muda e os custos operacionais em função do tratamento fornecido ao vegetal e suas respectivas condições de cultivo, gerando assim valores monetários que indicaram a substituição ou não da forma de cultivo (Tabela 12).

Tabela 12 – Valores monetários líquidos obtidos pelo método de orçamentação parcial, considerando a substituição de 100% vermiculita para o emprego de diferentes meios de cultivo de cedro australiano

Substrato (%)	Total
100 S	R\$ 31,01
25 V: 75 L	R\$ 17,16
75 S: 25 L	R\$ 13,92
100 L	R\$ 9,38
25 S: 75 L	R\$ 7,94
75 V: 25 L	R\$ 6,26
50 S: 50 L	R\$ 6,12
50 V: 50 L	R\$ 4,44

Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido).

Analisando a modificação gerada, observaram-se valores monetários positivos denotando que a substituição do uso de vermiculita pura por substrato comercial ou biossólido nas proporções testadas, na produção de mudas, é vantajosa. O maior incremento monetário líquido foi aquele em que houve a substituição em 100% da vermiculita pelo emprego de substrato comercial Basaplant[®] puro. Justificável pela própria finalidade do produto, afinal o Basaplant[®], empregado no segmento florestal, constitui-se de componentes (casca de pinus, fibra de coco, turfa fibrosa) e adição de macro e micronutrientes que permitem um desenvolvimento mais equilibrado do vegetal. Essa composição e melhor disponibilidade de

nutrientes, o distinguem do tratamento com vermiculita pura, e por consequência, valida os diferentes efeitos de crescimento de mudas formadas nesses substratos.

Na condição de cultivo do cedro australiano, onde se substituiu a vermiculita pelas proporções de 25% vermiculita + 75% biossólido e 75% substrato comercial Basaplant[®] + 25% biossólido foram observados os melhores resultados financeiros. Entretanto, mais do que benefícios financeiros, essas opções contemplaram a tomada de consciência ambiental pela empresa, redução dos custos à ETE em detrimento da habitual disposição em aterros, bem como garantiram a destinação do resíduo de forma correta. Com o intuito de promover a destinação do lodo tratado, a adoção da proporção de 25% vermiculita + 75% biossólido foi a mais indicada. Para atender o uso de todo biossólido e a produção de mudas, recomenda-se que a UGL adote um sistema de produção em lotes, com períodos definidos para que disponibilize ao mercado um fornecimento constante de mudas aptas ao plantio (CARRAVILLA, 1997). A definição dos ciclos de produção das mudas deve levar em consideração o tempo necessário para seu crescimento até que alcancem o tamanho ideal para serem transplantadas na área definitiva de cultivo florestal. Barreto e Lopes (2005) mencionaram que a satisfação dos clientes é atribuída ao produto certo, no momento certo, com o menor custo possível, dentre outras razões. E partindo dessa consideração, oferecer o produto de interesse do cliente de forma regular, promove a fidelização do cliente, atendendo as suas exigências e demandas.

Ao considerar a substituição do substrato comercial Basaplant[®] pelos tratamentos estudados, por meio da orçamentação parcial, observou-se que todos os valores monetários obtidos foram negativos (Tabela 13).

Tabela 13 – Valores monetários líquidos obtidos pelo método de orçamentação parcial, considerando a substituição de 100% substrato comercial Basaplant[®] para o emprego de diferentes meio de cultivo de cedro australiano

Substrato (%)	Total
75 L: 25 V	-R\$ 13,85
25 L: 75 S	-R\$ 17,09
100 L	-R\$ 21,63
75 L: 25 S	-R\$ 23,07
25 L: 75 V	-R\$ 24,75
50 L: 50 S	-R\$ 24,89
50 L: 50 V	-R\$ 26,57
100 V	-R\$ 31,01

Nota: V: Vermiculita; S: Substrato comercial Basaplant[®]; L: Lodo de esgoto higienizado (biossólido).

Por apresentarem valores negativos foi observado que não compensou realizar a substituição do substrato comercial Basaplant[®] puro (100%) no cultivo de mudas de cedro australiano para os tratamentos com bio sólido ou vermiculita sob variadas proporções, sob o ponto de vista financeiro.

Variar uma pequena fração de determinada atividade produtiva permite alterar a produção, que resulta em novos valores para a receita e para o custo operacional. Essa mudança pode ser analisada, por meio do uso da técnica da orçamentação parcial, o que permite gerar resultados econômicos relevantes que devem ser considerados na tomada de decisão. Essa técnica tem sido aplicada em trabalhos recentes, inclusive nos segmentos de Agronegócio e Meio Ambiente (PERES et al., 2013; SABUNDJIAN et al., 2014; ROCHA, 2016; VARGAS, 2016). Nestes, foram avaliadas a substituição parcial de algum componente em uma tecnologia tradicionalmente explorada ou um sistema de produção adotado, sendo então identificados os novos resultados econômicos com a substituição, o que auxiliaram na substituição ou não da técnica. Teixeira Filho et al. (2010) testaram cinco doses de N (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹), três fontes de N (Entec[®], sulfato de amônio e ureia) e duas épocas de aplicação, em dois cultivares de trigo. E para um dos cultivares (E 21), os autores pontuaram que há viabilidade econômica da aplicação total da dose de nitrogênio em semeadura para as três fontes de N nas doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N, e para a ureia na dose de 150 kg ha⁻¹ de N. Concernente à aplicação do nitrogênio em cobertura, não houve viabilidade econômica na aplicação de 150 e 200 kg ha⁻¹ de N na forma de Entec[®] e sulfato de amônio.

Igualmente a esses autores, a orçamentação parcial foi tomada nessa pesquisa e conforme os resultados supracitados pode-se afirmar que para as mudas de cedro australiano cultivadas em substrato comercial puro foi inviável substituir o modelo convencional por substratos que contenham diferentes proporções do próprio Basaplant[®], de vermiculita e de bio sólido, nas proporções estudadas. Ao passo que optar pela troca do método de cultivo baseado em 100% vermiculita para quaisquer tratamentos avaliados foi vantajoso. Notou-se com isso, que os resultados econômicos validaram os resultados técnicos no tocante às variáveis mensuráveis de produção das mudas. Peres et al. (2013) mencionaram que as decisões a serem tomadas na empresa rural devem ser baseadas em informações técnicas e econômicas. Esses autores certificaram que ponderar os coeficientes técnicos, os preços dos insumos e dos produtos são necessários para que o produtor gerencie sua propriedade de maneira clara, objetiva e sustentável.

O uso do substrato Basaplant[®] garantiu excelente crescimento das mudas de cedro australiano, contudo, o emprego do biossólido nas proporções recomendadas (25% vermiculita + 75% biossólido e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido) também é vantajoso ao investidor, dentre algumas razões. Pois, além dos benefícios financeiros, o uso do lodo de esgoto tratado proporciona melhorias com relação ao meio ambiente em função de sua destinação final ambientalmente adequada. Sabe-se que os aterros são obras que movimentam grandes volumes de terra e contribuem, em determinadas circunstâncias, para a degradação ambiental (PRIM, 2011). Nesse aspecto, Andreoli e Pinto (2001) afirmam que a quantidade de lodos lançados em aterro sanitário tende a reduzir devido às exigências ambientais crescentes para utilização dessa alternativa. Ademais, o uso das proporções recomendadas, traz vantagens à própria instituição geradora, em vista de que proporciona redução dos custos inerentes da disposição do lodo em aterros. É também conveniente à empresa responsável pela produção de mudas, em virtude de mesma lançar mão de um resíduo adequado e com bom aporte de nutrientes, ao passo em que ela não se torna dependente do fornecimento do substrato comercial. Por fim, outra razão em optar pelo uso do biossólido está na valoração ambiental do empreendimento. A produção vegetal de maneira sustentável propicia a divulgação da consciência ambiental tomada pela empresa, ou seja, a mesma demonstra viabilidade financeira e é ambientalmente correta, ainda que o lucro na adoção das proporções com biossólido tenha sido menor do que pelo cultivo com Basaplant[®] puro. Nesse sentido, as certificações e selos de qualidade e sustentabilidade que o viveiro de mudas pode garantir, apresentam-se como boas estratégias. Assim, a empresa pode recuperar o investimento ou aumentar sua arrecadação com um marketing de que seu produto respeita o meio ambiente.

6 CONCLUSÕES

A estabilização alcalina do lodo de esgoto utilizando 30% (peso seco) de cal hidratada é eficiente para reduzir as concentrações de coliformes termotolerantes presentes no resíduo para valores inferiores ao exigido pela legislação para uso agrícola. A partir de então, designado biossólido (lodo de esgoto de classe A) e com finalidade útil à nutrição vegetal.

Acerca dos resultados para o teor de nutrientes e parâmetros de fertilidade dos substratos com diferentes proporções de biossólido, vermiculita e substrato comercial observa-se que o biossólido forneceu maiores teores de Na e Ca disponível, C orgânico, além de N e S totais.

O maior desenvolvimento das mudas de cedro australiano foi observado no tratamento contendo 100% Basaplant[®], seguido por 25% vermiculita + 75% biossólido e 75% Basaplant[®] + 25% biossólido. Atribuiu-se este resultado a fatores como, o pH levemente alcalino das misturas com biossólido, a condutividade elétrica e caracterização salina da maioria dos tratamentos contendo biossólido, em virtude do incremento de sais solúveis, sobretudo dos cátions Ca^{2+} e Na^+ , bem como, a maior concentração de P assimilável nos tratamentos com maiores proporções de substrato comercial puro, que possivelmente favorece o desenvolvimento vegetal em razão de ser o macronutriente de maior exigência pela espécie *Toona ciliata*.

O Índice de Clorofila Falker foi influenciado diretamente pelo maior desenvolvimento das plantas, gerado pelas melhores características nutricionais e menor condição de estresse no tratamento 100% substrato comercial.

O meio de cultivo de mudas de cedro australiano que utiliza 100% de substrato comercial Basaplant[®] foi o que apresentou o maior retorno financeiro.

Considerando a vantagem ambiental em destinar o lodo de esgoto de maneira apropriada, o maior retorno financeiro no cultivo de mudas de cedro australiano obtido é aquele no qual se utiliza a proporção de 25% vermiculita + 75% biossólido.

Pesquisas futuras avaliando menores proporções de biossólido em misturas com substrato comercial são importantes, visto que à medida que foram reduzidas as proporções de biossólido em relação ao substrato comercial o desenvolvimento das mudas de cedro australiano foram crescentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFÁZ, D. C. S. et al. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté: Universidade de Taubaté, v. 12, n. 1, p. 112-123, 2017.
- AHMED, H. K.; FAWY, H. A.; ABDEL-HADY, E. S. Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agriculture and Biology Journal of North America*, Connecticut: ScienceHuβ, v. 1, n. 5, p. 1044-1049, 2010.
- ARAÚJO, A. D. S. F.; MELO, W. J.; SINGH, R. P. Municipal solid waste compost amendment in agricultural soil: changes in soil microbial biomass. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, Netherlands: v. 9, p. 41-49, 2010.
- AGROLINK. *Nutrientes*. Portal de conteúdo agropecuário. Porto Alegre, 2016. Disponível em: < https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/nutrientes_361443.html>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- ALAMINO, R. C. G. *A utilização de lodo de esgoto como alternativa sustentável na recuperação de solos degradados: Viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais*. Rio de Janeiro, 2010. 221 f. Tese (Doutorado em Ciências/Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ALMEIDA, G. C. et al. Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. *Revista de Iniciação Científica CESUMAR*, Maringá: Unicesumar, v. 08, n. 01, p. 95-99, 2006.
- ANDREOLI, C. V. et al. Higienização do Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Org.) *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. 1 ed. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p. cap. 4, p. 87-117.
- ANDREOLI, C. V.; PINTO, M. A. T. Introdução. In: ANDREOLI, C. V. (Org.) *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p. p. XXI - XXIV.
- AREIAS, I. O. R. *Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) do município de Campos dos Goytacazes - RJ em cerâmica vermelha*. Campos dos Goytacazes, 2015. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2015.
- ARES, A.; FOWNES, J. H. Productivity, nutrient, and water-use efficiency of *Eucalyptus saligna* and *Toona ciliata* in Hawaii. *Forest Ecology and Management*, Netherlands: v. 139, p. 227-236, 2000.
- BARBIERI JÚNIOR, E. *Características estruturais, teores de clorofila e suas relações com o nitrogênio foliar e a biomassa em capim - Tifton 85*. Rio de Janeiro, 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

BARBIERI JÚNIOR, E. et al. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tofton 85. *Ciência Rural*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 42, p. 2242-2245, 2012.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Revista Semina Ciências Agrárias*, Londrina: Universidade Estadual de Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.

BARRETO, J. M.; LOPES, L. F. D. Análise de falhas no processo logístico devido a falta de um controle de qualidade. *Revista Eletrônica de Engenharia de Produção e Correlatas*, Florianópolis: ABEPRO/ UFSC, v. 5, n. 2, 2005.

BARROSO, L. D.; WOLFF, D. B. Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas. *Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia*, Espírito Santo do Pinhal: UniPinhal, v. 8, n. 3, p. 225-236, 2011.

BASEAGRO. *Basaplant Florestais*. São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.basesubstratos.com.br/produtos/basaplant/florestais/>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Agricultura: opção animadora para a utilização de lodo de esgoto. *O Agrônomo*, Campinas, 2000. v. 52, p. 13-16.

_____. A disposição do lodo de esgoto em solo agrícola. In: _____. *Lodo de Esgoto: Impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. cap. 2, p. 25-36.

BOEIRA, R. C. MAXIMILIANO, V. C. B. Dinâmica da mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. *Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. cap. 7, p. 125-136.

BORTOLINI, J. et al. Lodo de esgoto e cama de aviário como componente de substratos para a produção de mudas de *Cedrela fissilis* e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth). Brenan. *Revista Scientia Agraria*, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, v. 18, n. 4, p. 121-128, 2017.

BORTOLON, L.; GIANELLO, C.; SCHLINDWEIN, J. A. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do sul do Brasil estimada por métodos multielementares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 1753-1761, 2010.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. *Ciência Ambiental: Terra, um planeta vivo*. 7 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011. 681 p.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Acidez, alcalinidade, aridez e salinidade do solo. In: _____. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p. cap. 9, p. 298-355.

_____. Ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo. In: _____. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p. cap. 12, p. 437-500.

BRAGA, M. M. *Crescimento e qualidade de mudas de cedro australiano (Toona ciliata M. Roem var. australis) em função da aplicação de calcário e enxofre*. Lavras, 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília: 2006. 32 p.

_____. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Brasília: 2007. 17 p.

BREMM, R. R. R. et al. Potencial de uso de lodo de esgoto na cultura do milho em latossolo argiloso no oeste do Paraná. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, Rio de Janeiro: ABES, n. 23, p. 17-24, 2012.

CABREIRA, G. V. et al. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. *Floresta*, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F. et al. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. *Revista Ceres*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Biossólido como substrato para produção de mudas de *Toona Ciliata* var. *Australis*. *Revista Árvore*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus: Universidade Federal do Piauí, v. 5, n. 1, p. 34-43, 2014.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia: Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.

CAMARGO, O. A. *Não Custa ser prudente ao dispor lodo de esgoto em solo agrícola!* Artigo em Hypertexto. Infobibos Organização de Eventos Técnico-Científicos. 2007. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/LodoEsgoto/>. Acesso em: 04 jul. 2017.

CAMARGO O. A. et al. *Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106).

CAMARGO, R. et al. Diagnose foliar em mudas de pinhão-manso (*Jatropha Curcas* L.) produzidas com biossólido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande: UAEA/UFCG, v. 17, n. 3, p. 283-290, 2013.

CARRAVILLA, M. A. *Gestão de Stocks*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 1997. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/569/2/41195.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

CARVALHO, L. C. C. S. et al. Estabilização alcalina como processo de higienização do lodo de esgoto para fins agrícolas. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 14., 2017a. Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: GSC Eventos/Instituto Federal Sul de Minas Gerais, 2017a. 3 p.

CARVALHO, L. C. C. S. et al. Análise da viabilidade econômico-financeira da utilização agrícola de biossólido em unidade de gerenciamento de lodo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., 2017b. São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABES/Fenasan, 2017b. 7 p.

CEOLATO, L. C. *Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo*. Campinas, 2007. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. CETESB L5.504 – Identificação de Enterovírus - Método de Ensaio. São Paulo: 1991. 28 p.

_____. CETESB L5.506 – Método de concentração de lodo de esgoto para isolamento de enterovírus. São Paulo: 1988. 22 p.

_____. CETESB L5.551 – Ovos viáveis de *Ascaris spp* - Determinação pela técnica de centrífugo-flutuação em amostras de lodo de esgoto. São Paulo: 2013. 15 p.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande: UAEA/UFCG, v. 11, n. 4, p. 420-426, 2007.

CORRÊA, R. S. et al. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande: UAEA/UFCG, v. 14, n. 5, p. 538-544, 2010.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. *Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo*. Vitória: Incaper, 2011. 126 p.

COSTA, D. M. A.; HOLANDA, J. S.; FIGUEIREDO FILHO, O. A. Caracterização de solos quanto a afetação por sais na Bacia do Rio Cabugí - Afonso Bezerra, RN. *Revista Holo*, Natal: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, ano 20, p. 01-13, 2004.

DEON, M. D. *Crescimento e nutrição mineral da soja submetida a excesso de P, S, K, Ca e Mg em solução nutritiva*. Piracicaba, 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

DIELLE, E. F. *Estudo da nova Norma Brasileira de projeto de estação de tratamento de esgotos – NBR 12.209/2011*. Juiz de Fora, 2014. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

EMBRAPA. DONAGEMMA, G. K. et al. (Orgs.) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa solos, Documentos, 132).

ERLACHER, W. A. Formas de utilização do caroço de Juçara como substrato orgânico na produção de mudas de hortaliças. *Revista Brasileira de Agroecologia*, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Agroecologia, v. 11, n. 4, p. 328-335, 2016.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA. *Manual do medidor eletrônico de teor clorofila - ClorofiLOG / CFL 1030*. Porto Alegre: Falker Automação Agrícola, 2008. 33p.

FARIA, J. C. T. et al. Substratos a base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus: Universidade Federal do Piauí, v. 4, n. 4, p. 342-351, 2013.

FARIA, L. C. *Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica*. Piracicaba, 2007. 105 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

FARIAS, P. H. S.; SANTOS, H. I. *Uso do lodo primário de esgoto urbano de ETE's na recuperação de áreas degradadas*. Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2007. 14 p.

FELCA, A. T. A. et al. Análise do Potencial Energético do Biogás Proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 12., 2015, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: 2015. v. 7, n. 1, 7 p.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G. Estabilização de Lodo de Esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Org.) *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p. cap. 2, p. 29-56.

FERREIRA, T. L. *Utilização de lodo de esgoto na implantação de cafezal em latossolo vermelho distrófico*. Campinas, 2005. 106 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.

FEU, R. C.; RIO, G. A. P.; PEIXOTO, M. N. O. Água para todos: isso é possível? In: ENCONTRO ANUAL DA ANPPAS, 2., 2004, Indaiatuba. *Anais...* Indaiatuba: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2004. 23 p.

FIA, R.; MATOS, A. T.; AGUIRRE, C. I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de Lodo de esgoto caledado. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 13, n. 4, p. 287-299, 2005.

FONTES, A. G.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo: Embrapa Florestas, v. 33, n. 73, p. 09-18, 2013.

FRANÇA, S. C. A. et al. Vermiculita, mais que um mineral termo acústico. In: SIMPÓSIO DE MINERAIS INDUSTRIAIS DO NORDESTE, 4., 2016, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Centro de Tecnologia Mineral, 2016. p. 126-136.

FREIBERGER, M. B. et al. Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. *Revista Árvore*, Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, v. 37, n. 3, p. 385-392, 2013.

FREITAS, A. R. et al. Emergência e crescimento de mudas de maracujá doce em função de lodo de esgoto e luz. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus: Universidade Federal do Piauí, v. 6, n. 2, p. 234-240, 2015.

FREITAS, A. X. R.; MELO, A. G. Avaliação do uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas*, Santa Maria: UFSM/ REMOA, v. 12 n. 12, p. 2665-2673, 2013.

FREITAS, L. D. *Estudo de desinfecção de lodos provenientes de estações de tratamento de efluentes urbanos e industriais*. Santa Cruz do Sul, 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2010.

GARCIA, G. O. et al. Características químicas de um solo degradado após aplicação de lodo de esgoto doméstico. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Mossoró: Grupo Verde de Agroecologia e Abelhas, v. 4, p. 1-12, 2009.

GARDNER, G. *Fertile Ground or Toxic Legacy?* Washington: World Watch Institute, 1998. p. 28-34. Disponível em: <<http://www.worldwatch.org/system/files/EP111C.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

GODINHO, T. O. et al. Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. *Ecologia e Nutrição Florestal*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 1, n. 3, p. 97-109, 2013.

GODOI, E. L. et al. Produtividade de *Stylosantes guianensis* cv. mineirão em resposta ao efeito residual de biossólido em área degradada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, v. 38, n. 3, p. 158-163, 2008.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. *Revista Tecnologia, Gestão e Humanismo*, Guaratinguetá: Faculdade de Tecnologia de Guaratinguetá, v. 2, n. 1, p. 79-90, 2013.

GONÇALVES, R. F. et al. Desidratação de Lodo de Esgotos. In: ANDREOLI, C. V. (Org.) *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. 282 p. cap. 3, p. 57-86.

HOFFMANN, R. B. et al. Densidade de solo e de partículas de solo de área degradada após aplicação de biossólido. In: SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE, 06., 2010, Viçosa. *Anais...* Viçosa: Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, 2010. 5 p.

ILHENFELD, R. G. K. Higienização do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. (Coord.) *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: SANEPAR/PROSAB, 1999. 98 p. cap. 4, p. 27-40.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. *Informação sobre interpretação de Análise de Solo*. Campinas: Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos. [s.d.] Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/interpretacaoanalise.php>>. Acesso em: 02 ago. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA E INOVAÇÃO NA AGRICULTURA IRRIGADA - INOVAGRI. *Drenagem e controle da salinidade*. Agência Nacional das Águas. 2015. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/273>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

INSTITUTO TRATA BRASIL - ITB. *VR é 25ª cidade do país com melhores indicadores de saneamento*. Foco Regional. São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/vr-e-25-cidade-do-pais-com-melhores-indicadores-de-saneamento-foco-regional-online>>. Acesso em: 08 mai. 2017

_____. *Neto inaugura ETE do bairro Santa Cruz*. Folha do Interior. São Paulo: 2011. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/neto-inaugura-ete-do-bairro-santa-cruz-folha-do-interior-online-internet-cidades>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

_____. *Situação Saneamento no Brasil*. Estudo Trata Brasil - Ranking do Saneamento. São Paulo: 2015. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

INVESTAGRO. *O Cedro Australiano produz madeira de boa qualidade*. Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<http://www.investagro.com.br/cedro-australiano>>. Acesso em: 30 jan. 2018.

KALIL FILHO, A. N.; WENDLING, I. *Produção de mudas de cedro australiano*. Colombo: Embrapa Florestas, 2012. 5 p. (Comunicado técnico, 309).

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*, v. 32, p. 1186-1195, 2012.

LABORSOLO. *Reação do Solo: Entenda as diferenças entre os valores que aparecem na Análise Química do Solo*. Londrina: 2017. Disponível em: <<https://www.laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/reacao-do-solo-entenda-as>>

diferencas-entre-os-valores-que-aparecem-na-analise-quimica-do-solo/>. Acesso em: 02 ago. 2017.

LANA, R. M. Q. Produção da alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, Brasília: Associação Brasileira de Horticultura, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LAUNCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: TANJI, K. K. (Ed.). *Agricultural Salinity Assessment and Management*. Virgínia: American Society of Civil Engineers, 1990. 1094 p. p. 113-137.

LIMA, K. B. et al. Crescimento, acúmulo de nutrientes e fenóis totais de mudas de cedro australiano (*Toona ciliata*) inoculadas com fungos micorrízicos. *Ciência Florestal*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2015.

LOBO, T. F. et al. Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo. *Revista Semina Ciências Agrárias*, Londrina: Universidade Estadual de Londrina, v. 34, n. 6, p. 2705-2726, 2013.

LOCATELLI, M.; MACÊDO, R. S.; VIEIRA, A. H. Avaliação de altura e diâmetro de mudas de cedro rosa (*Cedrela odorata L.*) submetidas a diferentes deficiências nutricionais. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 5, supl. 2, p. 645-647, 2007.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). *Fertilidade do Solo*. 1 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p. cap. 1, p. 1-64.

_____. *Interpretação de análise de solo: Conceitos e aplicações*. São Paulo: Associação Nacional para difusão de adubos, 2004. 50 p. (Boletim técnico, 2).

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. *Acidez do solo e calagem*. São Paulo: ANDA, 1991. 17 p. (Boletim técnico, 1).

MACHADO, M. F. S.; FIGUEIREDO, R. F.; CORAUCCI FILHO, B. Produção brasileira de lodos de esgotos. *SANARE*, Revista Técnica da Sanepar, Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná, v. 22, n. 22, p. 66-74, 2004.

MADER NETTO, O. S. et al. Estudo das variações de pH no lodo caledado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville, *Anais...* Joinville: ABES, 2003. 6 p.

MALTA, T. S. *Aplicação de lodos de estações de tratamento de esgotos na agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras - RJ*. Rio de Janeiro, 2001. 68 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.

MARTINS, C. C. et al. Vermiculita como substrato para o teste de germinação de sementes de barbatimão. *Ciência Florestal*, Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 421-427, 2011.

MELO, L. A. S.; LIGO, M. A. V. *Efeitos do Lodo de Esgoto Aplicado na Cultura de Bananeiras "Grande Naine"*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. 5 p. (Comunicado Técnico, 45).

MENDES, A. M. S. Introdução à fertilidade do solo. In: CURSO DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. *Palestras*. Barreiras: MAPA; SFA-BA: Embrapa Semiárido; Embrapa Solos - UEP Recife, 2007. 64 p

MF RURAL. *Sementes de cedro australiano*. Marília: 2013. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/sementes-de-cedro-australiano-120891.aspx>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

MOGNO BRASILEIRO - MB. *Ponteira das mudas em ótimo estado*. 2009. Disponível em: <<http://www.mognobrasileiro.com.br/2009/11/>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

MOHAMMAD, M. J.; ATHAMNEH, B. M. Changes in Soil Fertility and Plant Uptake of nutrients and Heavy Metals in Response to Sewage Sludge Application to Calcareous Soils. *Journal of Agronomy*, Asian Network for Scientific Information, v. 3, n. 3, p. 229-236, 2004.

MORETTI, B. S. et al. Calcário e gesso na cultura do cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*.) In: FERTBIO, 29., 2010, Guarapari. *Anais...* Guarapari: 2010.

MORETTI, B. S. et al. Crescimento e nutrição mineral de mudas de cedro Australiano (*Toona ciliata*) sob omissão de nutrientes. *Revista Cerne*, Lavras: Universidade Federal de Lavras, v. 17, n. 4, p. 453-463, 2011.

MUNHOZ, R. O.; BERTON, R. S. Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. *Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p. cap. 6, p. 91-124.

NASCIMENTO, A. L. et al. Crescimento e produtividade de semente de mamona tratada com lodo de esgoto. *Revista Caatinga*, Mossoró: Universidade Federal Rural do Semiárido, v. 24, n. 4, p. 145-151, 2011.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, v. 28, p. 385-392, 2004.

NOGUEIRA, T. A. R. et al. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Sergipe: Universidade Federal de Sergipe, v. 6, p. 122-131, 2006.

- NORONHA, J. F. Orçamentação. In: NORONHA, J. F. *Projetos Agropecuários: Administração Financeira, Orçamentação e Avaliação Econômica*. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1987. v. 1. 269 p. cap. 3.
- OLIVEIRA, D. L. Solos uma questão de sustentabilidade. *Revista Gestão e Tecnologia*, Goiânia: Faculdade Delta, ed. 3, p. 30-42, 2010.
- OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana de açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, n. 2, p. 505-519, 2002.
- OLIVEIRA, J. R. *Calagem e adubação do cedro australiano (Toona ciliata var. Australis) em solos de cerrado*. Bambuí, 2011. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Bambuí, 2011.
- OLIVEIRA, J. R. et al. Saturação por bases para o cultivo do cedro australiano. *Global Science and Technology*, Rio Verde: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, v. 8, n. 2, p. 96-102, 2015.
- OLIVEIRA, L. E. M. *Elementos minerais, essenciais e benéficos*. Lavras, [s.d.]. 6 p. Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/nutricao-e-metabolismo-mineral/elementos-minerais-essencias/>>. Acesso em: 09 fev. 2018.
- OLIVEIRA, V. R. et al. Caracterização química de substratos para produção de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, Vitória da Conquista: Sociedade de Olericultura do Brasil, v. 21, n. 2, p. 288, 2002.
- ONOFRE, S. B.; ABATTI, D.; TESSARO, A. A. *Propriedades físico-químicas e microbiológicas do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de esgoto (ETE) de Toledo – Paraná – Brasil*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6., 2015, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2015. 6 p.
- PAEZ, D. R. M. *Utilização do lodo de esgoto da produção de mudas e no cultivo do eucalipto (Eucalyptus Spp)*. Seropédica, 2011. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.
- PANTANO, G. et al. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Química Nova*, São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, v. 39, n. 6, p. 732-740, 2016.
- PAREDES FILHO, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. *Revista Agrogeoambiental*, Pouso Alegre: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, v. 03, n. 3, p. 73-80, 2011.
- PASSAMANI, F R. F.; KELLER, R.; GONÇALVES, R. F. Higienização de lodo utilizando caleagem e pasteurização em uma pequena estação de tratamento de esgoto combinando

reator UASB e biofiltro aerado submerso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2002, Cancún. *Anais...* Cancún: FEMISCA/AIDIS, 2002. 6 p.

PAULA, I. F. *Crescimento de mudas de ipê rosa e cedro submetidas à calagem e omissão de nutrientes*. Manaus, 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

PEDROSO NETO, J. C.; COSTA, J. O. *Análise do Solo: Determinações, cálculos e interpretação*. Lavras: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2012. 16 p.

PERALTA, M. M. C. *Tratamento químico de uma vermiculita visando seu uso em compósitos de polipropileno*. São Paulo, 2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PERES, A. R. et al. Viabilidade econômica da aplicação de doses de inoculante contendo *Azospirillum brasilense* via foliar e doses de nitrogênio em cobertura em milho safrinha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. *Anais...* Dourados: Embrapa/Universidade Federal da Grande Dourados, 2013. 6 p.

PIMENTEL, F. J. G. *Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de esgoto em camada de cobertura de aterro sanitário*. Florianópolis, 2012. 214 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PINHEIRO, A. L.; LANI, J. L.; COUTO, L. *Cedro-Australiano: cultivo e utilização (Toona ciliata M. Roem. var. australis (F. Muell) Bahadur)*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 42 p.

PINHEIRO, C. H. R. *Zn, Ni, Cu, Fe e S em lodos de esgoto: comportamento químico, adsorção e proposta de tratamento*. São Paulo, 2007. 220 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. Biossólido aumenta produtividade de eucaliptos. *Revista Visão Agrícola*, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, n. 4, p. 105-107, 2005.

PRADO, C. H. B. A. *O valor de pH da solução em contato com a raiz e a disponibilidade de nutrientes*. *Via Ciência*, São Paulo: p. 1-11, 2012. Disponível em: <<http://viaciencia.com.br/artigos-59-1-o-valor-de-ph-da-solu%C3%A7%C3%A3o-em-contato-com-a-raiz-e-a-disponibilidade-de-nutrientes-teoria.pdf>>. Acesso em: 09 fev. 2018.

PRIM, E. C. C. *Utilização de lodo de estações de tratamento de água e esgoto como material de cobertura de aterro sanitário*. Florianópolis, 2011. 279 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. Determinação do pH em cloreto de cálcio e da acidez total. In: RAIJ, B. V. et al. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. cap. 10, p.181-188.

RAIJ, B. V.; GHEYI, H. R.; BATAGLIA, O. C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In: RAIJ, B. V. et al. (Ed.). *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. cap. 20, p.277-284.

REVISTA CAMPO E NEGÓCIOS - RCN. *Cedro australiano: Até 200% mais produtivo*. Uberlândia: 2014. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/cedro-australiano-ate-200-mais-produtivo/>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

REZENDE, C. I. O. *Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serrapilheira e no solo de um talhão de E. grandis*. Piracicaba, 2005. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RICHARDS, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160 p. USDA Agricultural Handbook, 60.

RIELING, R. C. et al. Efeito residual do lodo de esgoto na produção de mudas de espécies nativas para reflorestamento. *SaBios Revista de Saúde e Biologia*, Campo Mourão: Centro Universitário Integrado, v. 9, n. 2, p. 31-39, 2014.

RIGON, J. P. G. et al. Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 258-261, 2012.

ROCHA, A. A. *Efeito da substituição de farelo de soja por torta de algodão moída no confinamento de ovinos*. Petrolina, 2016. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias no Semiárido) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2016.

ROCHA, A. L. C. L. *Higienização de Lodo anaeróbico de esgoto por meio alcalino estudo de caso da ETE Lages, Aparecida de Goiânia - GO*. Goiânia, 2009. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

RODRIGUES, A. B. C. et al. Atributos químicos em solo sob floresta nativa e capoeira. *Uniciências*, Belo Horizonte: Kroton Educacional, v. 14, n. 1, p. 09-24, 2010.

RODRIGUES, J. P. et al. Enraizamento e anatomia de estacas caulinares de *Justicia brandegeana* WASSH. & L.B. sm. (Acanthaceae) em diferentes substratos. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, Itapetininga: Instituto Federal de São Paulo, v. 4, n. 1, p. 45-56, 2017.

RONQUIM, C. C. *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010, 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

- ROSSMANN, M. et al. Redução da viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto doméstico Caleado. *Engenharia na agricultura*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 22, n. 1, p. 43-49, 2014.
- ROVERE, E. L. L.; CORRAL, T. *Nutrição da planta*. Adapta Sertão: RedeH, Centro Clima/UFRJ, 2009, 18 p.
- SABUNDJIAN, M. T. et al. Análise econômica da adubação nitrogenada em feijoeiro de inverno sob plantio direto. *Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia: Universidade Federal de Goiás, v. 44, n. 4, p. 349-356, 2014a.
- SAITO, M. L. *O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 35 p. (Comunicado técnico, 64).
- SAMPAIO, A. O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. *Revista DAE*, São Paulo: Sabesp, n. 193, p. 16-27, 2013.
- SARNO F. et al. Estimated sodium intake for the Brazilian population, 2008–2009. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo: Universidade de São Paulo, v. 47, n. 3, p. 1-7, 2013.
- SCHEER, M. B. et al. Produção de mudas de *calophyllum brasiliense cambess* com substratos comercial e à base de lodo de esgoto compostado. *Revista DAE*, São Paulo: Sabesp, p. 55-61, 2011.
- SCHOSSLER, T. R. et al. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia: Centro Científico Conhecer, v. 8, n. 15, p. 1563-1578, 2012.
- SCOPEL, W.; BARBOSA, J. Z.; VIEIRA, M. L. Extração de pigmentos foliares em plantas de canola. *UNOESC & Ciência*, Joaçaba: Universidade do Oeste de Santa Catarina, v. 2, n. 1, p. 87-94, 2011.
- SENGIK, E. S. *Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas*. Maringá, 2003. Disponível em: < <http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2018.
- SILVA, L. C. F.; ÍTAVO, L. C. V. Tratamento alcalino de lodo de esgoto e compostagem: impactos sobre os teores de metais pesados e ovos de helmintos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 2., 2014, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: Ecogestão Brasil, 2014. p. 223-229.
- SILVA, P. H. M. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. *Scientia Forestalis*, Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008.
- SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, p. 1013-1020, 2003.

SISTEMA AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE VOLTA REDONDA - SAAE VR. *Histórico*. Volta Redonda, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.saaevr.com.br/historia.asp>>. Acesso em: 08 mai. 2017.

SOUZA, J. C. A. V.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. *Cedro Australiano (Toona ciliata)* Niterói: Programa Rio Rural, 2010. 12 p. (Manual técnico, 21).

SOUZA, J. C. A. V. et al. Propagação vegetativa de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer) por miniestaquia. *Revista Árvore*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 33, n. 2, p. 205-213, 2009.

SOUZA, J. C. A. V. *Propagação vegetativa de cedro australiano (Toona ciliata M. Roem) por miniestaquia*. Campos dos Goytacazes, 2007. 57 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

TEDESCO, M. J. et al. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Departamento de solos, UFRGS, 1995. 174p

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. et al. Análise econômica da adubação nitrogenada em trigo irrigado sob plantio direto no cerrado. *Revista Ceres*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 57, n. 4, p. 446-443, 2010.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, v.12, p. 223-230, 2008.

TRIGUEIRO, R. M. *Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto*. Botucatu, 2002. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

TRINDADE, A. V.; DIAS, A. C. P.; JUCKSCH, I. Efeito de resíduos urbanos e de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de capim-gordura *Melinis minutiflora* e cedro *Cedrela fissilis* em rejeito de mineração. *Revista Árvore*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v. 21, n. 4, p. 575-582, 1997.

TSUTIYA, M. T. Tecnologias emergentes para a disposição final de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 762-770.

USEFUL TROPICAL PLANTS - UTP. *Toona ciliata Images*. 2014. Disponível em: <<http://tropical.theferns.info/image.php?id=Toona+ciliata>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. A guide to the biossolids risk assessments for the EPA Part 503 rule. EPA/832-B-93-005. Washington: Office of Wastewater Management, 1995. 195p.

_____. Technical support document for Part 503 pathogen and vector attraction reduction requirements in sewage sludge. NTIS: PB89 136618. Springfield: 1992.

VALMORBIDA, F. D. L.; CORREA, M. L. Diagnóstico da qualidade do solo e água em propriedades com diferentes atividades agrícolas. *Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar*, Mafra: Universidade do Contestado, v. 4, n. 1, p. 39-54, 2015.

VARGAS, A. L. V. *Produção de ácido láctico e de biomassa de Lactobacillus plantarum CCT 0580, utilizando melaço da cana-de-açúcar (Saccharum sp)*. Volta Redonda, 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2016.

VELASCO, C. Saneamento melhora, mas metade dos brasileiros segue sem esgoto no país. *Globo*, São Paulo, 15 mar. 2017. G1 Economia. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/noticia/saneamento-melhora-mas-metade-dos-brasileiros-segue-sem-esgoto-no-pais.ghtml>>. Acesso em: 18 jul. 2017.

VELOSO, C. A. C. et al. *Amostragem de solo e planta para análise química*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 42 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 266).

VERLICCHI, P.; ZAMBELLO, E. Pharmaceuticals and personal care products in untreated and treated sewage sludge: Occurrence and environmental risk in the case of application on soil — A critical review. *Science of the Total Environment*, v. 538, p. 750-767, 2015.

VEZZANI, E. Lodo de esgoto: uso agrícola ou combustível? *Revista TAE Especializada em Tratamento de Água e Efluentes*. São Paulo: 2011.

VIEIRA, G. D.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V. Atributos do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodo anaeróbio da estação de tratamento de efluentes da parboilização do arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, v. 35, p. 535-542, 2011.

VIEIRA, R. F.; TANAKA, R. T.; SILVA, C. M. M. S. *Utilização do Lodo de Esgoto na Cultura de Soja*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 26 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S. F. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 437 p. cap. 12. p. 299-325.

VOLTA REDONDA. Secretaria Municipal de Planejamento. *Plano Municipal de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. Volta Redonda, 2014. 262 p.

WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. *Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos*. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia: Centro Científico Conhecer, v. 6, n. 11, p. 02-23, 2010.

YOSHIDA, H. et al. Effects of sewage sludge stabilization on fertilizer value and greenhouse gas emissions after soil application. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 2015.

ZUBA JUNIO, G. R. et al. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande: UAEA/UFCA, v. 17, n. 7, p. 706-712, 2013.