

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - PPGEMA

ABNER FIGUEIREDO NETO

**UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ÁRVORES COM OCORRÊNCIA NO
CERRADO**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize

Goiânia

2011

ABNER FIGUEIREDO NETO

UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ÁRVORES COM OCORRÊNCIA NO
CERRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA, da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize

Goiânia
2011

ABNER FIGUEIREDO NETO

**UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ÁRVORES COM OCORRÊNCIA NO
CERRADO**

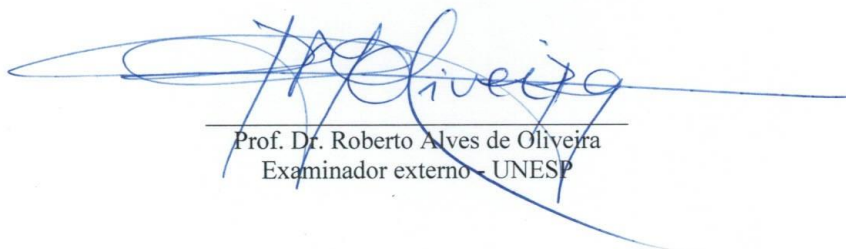
Dissertação defendida e aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente (PPGEMA) da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para a obtenção do título de Mestre em 02 de setembro de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros professores doutores:



Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize
Presidente da Banca



Prof. Dr. Rogério de Araújo Almeida
Examinador interno - UFG



Prof. Dr. Roberto Alves de Oliveira
Examinador externo - UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de estudos.

Ao prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize, pelas orientações, e aos demais professores do PPGEMA.

Aos proprietários e funcionários do Viveiro Ipê, que forneceram todo material e suporte para o desenvolvimento da pesquisa.

A Saneago pelas informações fornecidas e análises do lodo.

Ao Laboratório de Análise de Solo e Foliar – LASF/UFG pelas análises fornecidas.

Ao Regis e à Raila pelo auxílio nas medições em campo.

Aos meus pais e familiares pelo incentivo e apoio.

Aos meus amigos, que suportaram minha ausência nos momentos em que estava trabalhando.

RESUMO

O descarte do lodo das Estações de Tratamento Água (ETA) no meio ambiente é bastante nocivo, podendo provocar a deterioração dos mananciais. Os métodos existentes para tratamento dos resíduos produzidos em ETA são poucos aplicados em virtude dos custos envolvidos com operação e manutenção. Várias alternativas são sugeridas para a disposição destes resíduos, entre elas a aplicação do lodo em solos agrícolas pode gerar diversos benefícios. Neste trabalho foi avaliado o desenvolvimento de plantas cultivadas com diferentes doses de lodo de ETA (0%; 18,75%; 37,50%; 56,25%; 75%). O lodo utilizado no estudo foi coletado na ETA Eng. Rodolfo José da Costa, localizada em Goiânia/GO, na qual é utilizado o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) como coagulante primário. Para o estudo utilizaram-se 5 tratamentos (T1: 25% substrato, 75% terra, 0% lodo; T2: 25% substrato, 56,25% terra, 18,75% lodo; T3: 25% substrato, 37,50% terra, 37,50% lodo; T4: 25% substrato, 18,75% terra, 56,25% lodo; T5: 25% substrato, 0% terra, 75% lodo) para 4 espécies de plantas nativas com ocorrência no cerrado (Pau-de-óleo; Gonçalo-alves; Canafístula e Ipê-branco). Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições, num total de 400 plantas. As coletas de dados foram realizadas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio. Parâmetros como o diâmetro do coleto, altura, peso e clorofila foram avaliados. Algumas relações foram utilizadas para a determinação do índice de qualidade das mudas, como a relação altura da parte aérea e o diâmetro do coleto, a relação da altura e o peso de matéria seca da parte aérea e a relação entre o peso de matéria seca da parte aérea e o peso de matéria seca das raízes. O maior número de indivíduos mortos foi encontrado para o Ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba*), independente do tratamento a que foi submetido. Os parâmetros morfológicos apresentaram poucas variações significativas entre os tratamentos. Em relação aos índices de qualidade, algumas espécies apresentaram os melhores valores quanto submetidas ao tratamento 4, com 56,25% de lodo. Nos tratamentos com maior quantidade de lodo, os teores de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) nas folhas foram reduzidas. Verificou-se que a destinação de lodo de ETA para viveiros pode ser uma alternativa de disposição e ainda uma vantagem econômica para os viveiros comerciais. Espera-se não somente incentivar o uso comercial do resíduo em plantios que requeiram concentrações específicas de metais, tais como o alumínio, abundante no lodo; o maior interesse é de cunho ambiental e ecológico, visto que toneladas desse resíduo são completamente descartadas, gerando poluição e ocupação de espaços desnecessariamente.

Palavras-chave: Estação de Tratamento de água; produção de mudas, árvores nativas.

ABSTRACT

Disposal of sludge from Water Treatment Plants (WTP) in the environment is very harmful and can cause deterioration of water supplies. Existing methods for treatment of waste produced in ETA are few applied because the costs involved with operation and maintenance. Several alternatives are suggested for the disposal of these wastes, including the application of sludge in agricultural soils can generate several benefits. In this work we evaluated the development of crops with different dosages of WTS (0%, 18.75%, 37.50%, 56.25%, 75%). The sludge used in the study was collected in the ETA Eng. Rodolfo José da Costa, located in Goiânia/GO, which is used in aluminum sulphate ($Al_2(SO_4)_3$) as a primary coagulant. For the study we used five treatments (T1: 25% substrate, 75% land, 0% sludge, T2: 25% substrate, land 56.25%, 18.75% sludge, T3: 25% substrate, 37.50% land, 37.50% sludge, T4: 25% substrate, land 18.75%, 56.25% sludge, T5: 25% substrate, 0% land, 75% sludget) for four species of native plants occurring in cerrado (Padu-de-óleo; Gonçalves-alves; Canafístula and Ipe-brando). We adopted the completely randomized design (CRD) with four repetitions, totaling 400 plants. The data collections were performed at 30, 60, 90, 120 and 150 days after planting. Parameters such as the collar diameter, height, weight and chlorophyll were evaluated. Some relationships were used to determine the level of quality seedlings, as the ratio of shoot height and diameter of the collar, the relationship between height and dry weight of shoots and the ratio of dry weight of shoots and dry weight of roots. The largest number of dead individuals was found for Ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba*), regardless of the treatment he underwent. The morphological parameters showed little variation among treatments. Compared to quality, some species showed the best 4 and subjected to treatment with 56.25% of sludge. In the treatments with higher amounts of sludge, the levels of nitrogen (N), potassium (K), calcium (Ca) and magnesium (Mg) in leaves were reduced. It was found that the allocation of the WTS nursery can be an alternative available and also an economic advantage to commercial nurseries. It is expected not only to encourage the commercial use of residue in crops that require specific concentrations of metals such as aluminum, abundant in the mud, the greater concern is the environmental and ecological nature, as tons of waste are discarded altogether, causing pollution and occupation of space unnecessarily.

Keywords: Water Treatment Plant, plants production, native trees.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de geração do lodo em uma Estação de Tratamento de Água.	23
Figura 2 – Figura ilustrativa <i>Peltophorum dubium</i>	28
Figura 3 – Figura ilustrativa <i>Astronium fraxinifolium</i>	29
Figura 4 – Figura ilustrativa <i>Tabebuia roseo-alba</i>	30
Figura 5 – Figura ilustrativa <i>Copaifera langsdorfii</i>	30
Figura 6 - Lagoa de lodo que está recebendo os resíduos provenientes dos decantadores e filtros da ETA.	32
Figura 7 – Lagoa em fase de secagem do lodo, de onde foi coletado o material para pesquisa. Observar que ela está coberta por vegetação que se desenvolveu durante o período de secagem.	32
Figura 8 – Coleta e transporte do lodo proveniente da lagoa de secagem.	33
Figura 9 – Esquema de parte do experimento, desde a coleta do lodo até o transplante das mudas.	34
Figura 10 – (A) Lodo após ser fragmentado com auxílio de uma peneira, (B) Utilização de uma betoneira pra preparação dos tratamentos.	35
Figura 11 – Canteiro de germinação ou sementeira utilizada para germinação das sementes, antes de serem transplantadas para os tratamentos.	40
Figura 12 – Plântula de Ipê-branco (<i>Tabebuia roseo-alba</i>) extraído da sementeira para ser transplantada para o saco plástico contendo o tratamento de estudo.	40
Figura 13 – Área interna do viveiro onde foi realizado o cultivo. O local está coberto com tela de sombreamento e a irrigação foi feita com aspersores.	41
Figura 14 - Precipitação acumulada mensal em relação à temperatura máxima, mínima e média para cada mês durante o ano de 2010.	41
Figura 15 – Plantas identificas e distribuídas aleatoriamente conforme adotado para o experimento.	42
Figura 16 – Esquema ilustrativo dos parâmetros avaliados.	44
Figura 17 – Medição do Diâmetro do coleto com auxílio do paquímetro digital.	45
Figura 18 – Medição da altura da muda (H) com auxílio de uma régua métrica graduada.	46
Figura 19 – Medidor portátil de clorofila SPAD-502 utilizado para medição do teor de clorofila nas folhas das mudas do experimento.	46
Figura 20 – (A) Retirada das mudas dos sacos de polietileno e (B) Remoção manual da terra contida nas raízes.	47
Figura 21 – Muda de Canafístula (espécie C) separada em parte aérea e raíz.	47
Figura 22 – Esquema de medição da altura, diâmetro do coleto e comprimento da raiz de uma muda utilizada no experimento.	48
Figura 23 - Mudas de Ipê-branco cultivadas no Tratamento T1 e T5, sem e com resíduo, respectivamente.	52
Figura 24 – Mudas de Gonçalo-alves cultivadas no Tratamento T1 e T5, sem e com resíduo, respectivamente.	52

Figura 25 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie A (Pau-de-óleo), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	54
Figura 26 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie B (Gonçalo-alves), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	54
Figura 27 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie C (Canafístula), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	54
Figura 28 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie D (Ipê-branco), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	55
Figura 29 – Altura (H) na espécie A (Pau-de-óleo), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	55
Figura 30 – Altura (H) na espécie B (Gonçalo-alves), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	55
Figura 31 – Altura (H) na espécie C (Canafístula), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	56
Figura 32 – Altura (H) na espécie D (Ipê-branco), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.	56
Figura 33 – Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 1 (sem adição de lodo utilizado como controle), em relação aos períodos de coleta.	60
Figura 34 – Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 2 (com 18,75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	60
Figura 35 - Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 3 (com 37,5% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	61
Figura 36 - Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 4 (com 56,25% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	61
Figura 37 - Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 5 (com 75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	62
Figura 38 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 1 (sem aplicação do lodo), em relação aos períodos de coleta.	62
Figura 39 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 2 (com 18,75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	63
Figura 40 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 3 (com 37,5% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	63
Figura 41 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 4 (com 56,25% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	64
Figura 42 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 5 (com 75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.	64
Figura 43 – Resultado da análise de clorofila, através do medidor portátil SPAD-502, nas folhas das espécies A, B e C.	66
Figura 44 – Resultado da análise do comprimento radicular (R) das espécies utilizadas no estudo. Análise realizada após os 150 dias de cultivo.	67

Figura 45 – Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie A (Pau-de-óleo) em cada um dos tratamentos.	70
Figura 46 - Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie B (Gonçalo-alves) em cada um dos tratamentos.	70
Figura 47 - Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie C (Canafístula) em cada um dos tratamentos.	70
Figura 48 - Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie D (Ipê-branco) em cada um dos tratamentos.	71
Figura 49 - Relação da altura parte aérea / diâmetro do coleto (RHDC) das espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos adotados.	72
Figura 50 – Relação entre Altura parte aérea e Peso da Matéria seca da parte aérea (RHPMSPA) das espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos adotados.	73
Figura 51 - Relação entre o peso de matéria seca da parte aérea e o peso de matéria seca de raízes (RPMSPAR) das espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos adotados.	74
Figura 52 – Índice de Qualidade de Dickson – IQD das espécies utilizadas no experimento, em relação aos Tratamentos a que foram submetidas. Para cálculo desse índice é utilizado o PMST; RHDC e RPMSPAR.	75
Figura 53 – Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie A (Pau-de-óleo), em relação aos Tratamentos utilizados.	76
Figura 54 - Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie B (Gonçalo-alves), em relação aos Tratamentos utilizados.	77
Figura 55 - Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie C (Canafístula), em relação aos Tratamentos utilizados.	77
Figura 56 - Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie D (Ipê-branco), em relação aos Tratamentos utilizados.	77
Figura 57 – Concentração do fósforo (P) em material foliar para as espécies estudadas em relação aos Tratamentos.	78
Figura 58 – Concentração de Chumbo (Pb) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.	79
Figura 59 – Concentração de Enxofre (S) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.	79
Figura 60 – Concentração de Cobre (Cu) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.	80
Figura 61 – Concentração de Ferro (Fe) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.	80
Figura 62 – Concentração de Manganês (Mn) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.	81
Figura 63 – Concentração de Zinco (Zn) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem em volume de cada um dos elementos utilizados para o preparo dos tratamentos.	36
Tabela 2 – Composição do substrato comercial utilizado no experimento.	36
Tabela 3 – Características do solo utilizado no experimento.	37
Tabela 4 - Análises físico-química e bacteriológica do lodo.....	38
Tabela 5 – Resultado da análise de metais.	38
Tabela 6 – Descrição das espécies utilizadas no experimento.	39
Tabela 7 – Quantidade de espécies e repetições para cada tratamento utilizadas no experimento.	43
Tabela 8 – Porcentagem de espécies sobreviventes em relação ao tratamento utilizado.	53
Tabela 9 - Resumo da análise de variância dos dados diâmetro do coleto (DC) e altura (H) das mudas em relação aos tratamentos, aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias.....	58
Tabela 10 - Médias do diâmetro do coleto (DC) e altura (H) aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias. .	59
Tabela 11 – Peso verde e peso seco (parte aérea e raiz) das espécies utilizadas no estudo em cada um dos Tratamentos.	68
Tabela 12 – Porcentagem de redução de peso verde a peso seco (parte aérea e raiz).	69
Tabela 13 – Estimativas de valores para cálculo da viabilidade de aplicação do lodo em viveiros comerciais.	82
Tabela 14 – Valor de disposição do lodo em Aterro Sanitário.....	82
Tabela 15 – Número aproximado de mudas a serem produzidas em relação ao tratamento utilizado.	83
Tabela 16 – Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do coleto (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.	91
Tabela 17 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do coleto (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.	91
Tabela 18 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do coleto (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.	91
Tabela 19 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do coleto (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.	91
Tabela 20 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do coleto (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.	91
Tabela 21 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.	91

Tabela 22- Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.	92
Tabela 23 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.	92
Tabela 24 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.	92
Tabela 25 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.	92
Tabela 26 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.....	92
Tabela 27 -Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.....	92
Tabela 28 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.....	93
Tabela 29 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.....	93
Tabela 30 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.....	93
Tabela 31 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.	93
Tabela 32 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.	93
Tabela 33 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.	93
Tabela 34 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.	94
Tabela 35 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.	94
Tabela 36 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do coleto (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.....	94
Tabela 37 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do coleto (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.....	94
Tabela 38 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do coleto (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.....	94
Tabela 39 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do coleto (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.....	94
Tabela 40 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do coleto (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.....	95

Tabela 41 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.	95
Tabela 42 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.	95
Tabela 43 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.	95
Tabela 44 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.	95
Tabela 45 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.	95
Tabela 46 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do coleto (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.	96
Tabela 47 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do coleto (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.	96
Tabela 48 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do coleto (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.	96
Tabela 49 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do coleto (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.	96
Tabela 50 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do coleto (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.	96
Tabela 51 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.	96
Tabela 52 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.	97
Tabela 53 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.	97
Tabela 54 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.	97
Tabela 55 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Bs	Base seca
CE	Condutividade elétrica
CTC	Capacidade de troca de cátions
CV	Coefficiente de variação
DAS	Dias após semente
DC	Diâmetro do coleto
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
DMS	Diferença mínima significativa
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAs	Estações de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
F.V.	Fonte de variação
G.L.	Graus de liberdade
H	Altura
IQD	Índice de Qualidade de Dickson
LASF	Laboratório de Análise de Solo e Foliar
M.O.	Matéria Orgânica
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número mais provável
pH	Potencial hidrogeniônico
PMSPA	Peso matéria seca parte aérea
PMSR	Peso matéria seca raiz
PMST	Peso matéria seca total
Q.M.	Quadrado médio
R	Comprimento radicular

RHDC	Relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto
RHPMSPA	Relação altura da parte aérea/peso de matéria seca da parte aérea
RPMSPAR	Relação entre o peso de matéria seca da parte aérea/peso de matéria seca de raízes
S.B.	Saturação das bases
S.Q.	Soma de quadrado
Saneago	Saneamento de Goiás S/A
sp.	Espécie
SPAD	<i>Soil Plant Analysis Development</i>
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
T	Tempo de cultivo
Tc	Taxa de crescimento
UFG	Universidade Federal de Goiás

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
1 INTRODUÇÃO	17
2 JUSTIFICATIVA	19
3 OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1 ASPECTOS GERAIS.....	21
4.2 GERAÇÃO DO LODO	22
4.3 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE ETA	23
4.4 FORMAS DE DESTINAÇÃO	25
4.5 DISPOSIÇÃO EM SOLO	26
4.5.1 Características da disposição do lodo de ETA no solo.....	26
4.5.2 Utilização de lodo de ETA na agricultura e no cultivo de plantas.....	26
4.6 O BIOMA CERRADO	28
4.7 ESPÉCIES UTILIZADAS.....	28
4.7.1 Canafístula (<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.)	28
4.7.2 Gonçalves-alves (<i>Astronium fraxinifolium</i> Schoot).....	29
4.7.3 Ipê-branco (<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sand.).....	29
4.7.4 Pau-de-óleo (<i>Copaifera langsdorfii</i> Desf.).....	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	31
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	31
5.1.1 Tratamento do lodo na ETA	31
5.1.2 Coleta e transporte do lodo	32
5.2 PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	34
5.2.1 Método de preparo dos Tratamentos	35
5.2.2 Composição dos Tratamentos	35
5.2.2.1 <i>Composição do Substrato comercial.....</i>	36
5.2.2.2 <i>Característica do solo utilizado</i>	36

5.2.2.3 Características do lodo	38
5.3 CULTIVO DAS MUDAS	39
5.3.1 Seleção das espécies	39
5.3.2 Localização do experimento	39
5.3.3 Germinação das sementes e cultivo das plantas	39
5.3.4 Precipitação da região.....	41
5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	42
5.5 PARÂMETROS AVALIADOS	44
5.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO.....	49
5.7 ÍNDICES DE QUALIDADE.....	50
5.7.1 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	50
5.8 AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA VIVEIROS COMERCIAIS	51
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
7.1 SOBREVIVÊNCIA DAS ESPÉCIES	52
7.2 INCREMENTO DE ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO.....	53
7.3 TAXA DE CRESCIMENTO.....	60
7.4 CLOROFILA	65
7.5 COMPRIMENTO RADICULAR.....	66
7.6 BIOMASSA.....	67
7.7 ÍNDICES DE QUALIDADE.....	71
7.7.1 Relação da altura da parte aérea / diâmetro do Coleto (RHDC)	71
7.7.2 Relação entre altura parte aérea e peso da matéria seca da parte aérea (RHPMSPA)	73
7.7.3 Relação entre o peso de matéria seca da parte aérea/peso de matéria seca de raízes (RPMSPAR).....	74
7.7.4 Índice de Qualidade de Dickson (IDQ)	75
7.8 ANÁLISE QUÍMICA FOLIAR	76
7.9 AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA VIVEIROS COMERCIAIS	82
7.9.1 Número de viveiros necessários para a destinação total do lodo	83
8 CONCLUSÃO.....	84
9 RECOMENDAÇÕES.....	85
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
APÊNDICE A	91

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamento de água para população urbana envolvem diversas etapas para que se consiga adequar a água proveniente dos mananciais superficiais ao consumo humano. Para atender aos padrões de potabilidade, as Estações de Tratamento de Águas (ETAs) têm a necessidade de remover diversas partículas suspensas e dissolvidas presentes na água dos mananciais.

Esses procedimentos adotados conferem aos sistemas de tratamento de água características semelhantes a indústrias, na qual a matéria prima é submetida a processos objetivando um produto final e gerando resíduos (CORDEIRO, 2001). Estes resíduos, chamados de lodos, tiveram um significativo aumento devido à demanda por água tratada.

O descarte do lodo das ETAs no meio ambiente pode ser nocivo, provocando a deterioração dos mananciais, onde têm aumentado a quantidade de sólidos e a turbidez da água prejudicando sua qualidade e conseqüentemente os organismos aquáticos. Os métodos existentes para tratamento dos resíduos produzidos em ETAs são poucos aplicados devido aos custos envolvidos com operação e manutenção. Na maioria das vezes, isso resulta no descarte dos resíduos nos corpos d'água mais próximo, que conseqüentemente aumenta a poluição devido às características do resíduo.

O lodo é basicamente constituído por compostos químicos que são resultantes do processo de adição de coagulantes no tratamento, partículas inorgânicas como argila, silte, areia, colóides de cor e outros materiais orgânicos como microrganismos, incluindo plâncton que são removidos da água bruta pelo tratamento.

Os atuais sistemas de gestão de água devem se preocupar não só com a qualidade da água, mas com os produtos gerados no processo. Existe ainda uma grande tendência mundial em reduzir a quantidade de lodo, reutilizar e o restante dispor. Vários países têm incentivado a redução do lodo gerado e o seu reuso, não sendo lançado nos corpos d'água.

Várias alternativas são sugeridas para a destinação destes resíduos, como: disposição em aterros ou em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), fabricação de cimento ou tijolos, cultivo de grama comercial, compostagem, produção de solo comercial, aplicações agrícolas, plantação de cítricos (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

Alguns estudos apresentaram resultados positivos na aplicação de lodo de ETA no cultivo de plantas em algumas regiões. A aplicação do lodo em plantas cultivadas em viveiros pode ser uma alternativa de aproveitamento deste resíduo. De modo geral as mudas utilizadas em reflorestamento apresentam curto ciclo reprodutivo, alta produção em viveiros e uma grande área plantada. Ao se incorporar o lodo na produção dessas mudas, esses fatores podem contribuir reduzindo custos e impactos causados pela disposição incorreta e ainda trazer benefícios para as plantas. Dessa forma esse tipo de disposição pode ser uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico.

2 JUSTIFICATIVA

Como justificativa para esta pesquisa, destaca-se a importância de se estabelecer o aproveitamento para os resíduos provenientes das ETAs, visto que grandes quantidades de lodo produzidas são dispostas diariamente nos mananciais sem nenhum tipo de tratamento. Faz-se necessário a busca por alternativas ambiental e economicamente viáveis para gerenciamento adequado desse resíduo.

Apesar de estudos mostrarem alguns aspectos negativos sobre a aplicação desse resíduo no solo, ainda existem poucos relatos sobre a interferência dessa prática no desenvolvimento das plantas. A aplicação desse resíduo no substrato de produção de mudas, especificamente para a recuperação de áreas degradadas ou reflorestamento, pode ser uma alternativa para disposição do lodo de ETA.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento de mudas de plantas nativas, cultivadas em viveiro com a aplicação de lodo de ETA no substrato.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar o desenvolvimento das espécies cultivadas com a utilização de lodo de ETA:
 - Correlacionar o desenvolvimento das plantas com as diferentes doses de lodo aplicadas;
 - Identificar para cada espécie qual a melhor dose a ser utilizada;
- b) Avaliar economicamente a utilização de lodo de ETA no substrato de produção de mudas em viveiros comerciais

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ASPECTOS GERAIS

Como já previsto na Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, 1988), art. 225. “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida [...]”, o advento das Leis nº 9.433/97 “Política Nacional de Recursos Hídricos” (BRASIL, 1997), nº 9.605/98 “Crimes Ambientais” (BRASIL, 1998), e a Lei nº 12.305/2010 “Política Nacional de Resíduos Sólidos” (BRASIL, 2010), trouxeram a necessidade de se preocupar com a gestão dos resíduos e principalmente dos resíduos sólidos que apresentaram significativo aumento nos últimos tempos.

Com base nessa concepção é necessário dar uma atenção especial aos resíduos produzidos pelas ETAs, pois de acordo com a NBR-10.004 (ABNT, 2004) os resíduos provenientes das ETAs, também chamados de lodo, são classificados como ‘resíduos sólidos’ devendo ser dispostos como tal. Ensaio apontam para enquadramento desses resíduos como Classe IIA – não inerte.

Não é só pela classificação dada ao lodo que se deve preocupar com a forma de sua disposição, mas diversos fatores como o crescimento populacional, o lançamento de despejos nos corpos d’água e a ocupação desordenada nas áreas de proteção contribuem para a deterioração dos mananciais e da qualidade da água bruta. Isso faz com que as ETAs necessitem de maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento da água e conseqüentemente maior geração de resíduos provenientes dos decantadores e filtros, gerando maior quantidade de lodo. Scalize, Leite e Fornazzari (2010), verificaram uma maior utilização de produtos químicos devido a deterioração da qualidade da água bruta em função da degradação do meio ambiente. Se isso for relacionado com quantidade de ETAs existentes e o volume de água tratado diariamente pode-se entender a problemática envolvida. No trabalho de Cordeiro (2001), é relatada a existência de cerca de 7.500 ETAs convencionais no Brasil, e atualmente, esse número pode ser bem maior. Estima-se ainda que sejam lançados cerca de 2.000 toneladas/dia de lodo de ETA sem nenhum tratamento nos cursos d’água.

Esse lodo poderá apresentar características diversas em cada estação, sendo influenciada por diversos fatores. Cordeiro (2001) divide as características do resíduo de acordo com sua importância, sendo classificadas em Ambientais e Geotécnicas. Para as questões ambientais devem-se analisar parâmetros como: pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, presença de pesticidas, fertilizantes e compostos voláteis, principalmente em relação à disposição. Já a caracterização geotécnica é necessária para se

obter formas de remoção da água e utilização dos sólidos resultantes. Para esse tipo de caracterização faz-se necessária obtenção de parâmetros como: tamanho, distribuição das partículas, limite de plasticidade e limite de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade. Esses parâmetros são importantes para que se faça uma avaliação específica de acordo com os fatores que mais influenciarão na maneira adotada para disposição.

4.2 GERAÇÃO DO LODO

A água bruta presente nos mananciais contém impurezas como partículas coloidais e em suspensão na forma de materiais inertes como areia, argila, silte, pedaços de vegetais, microorganismos e substâncias húmicas que conferem-lhe cor e turbidez. Esses elementos geralmente apresentam cargas negativas em suas superfícies, impedindo a aproximação umas das outras. Para que a água se torne potável, é necessária a remoção dessas impurezas, para isso podem ser utilizados processos de coagulação, floculação, sedimentação, flotação e filtração.

No processo de coagulação, o fenômeno químico consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com cargas positivas. Já o fenômeno físico consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas presentes no líquido. Nesse processo utiliza-se de sais de alumínio ou de ferro, ou de polímeros que alteram a força iônica do meio. Sua eficiência depende da concentração do metal e do pH final da mistura. A coagulação é o resultado de quatro mecanismos distintos: (a) compressão da camada difusa; (b) adsorção e neutralização; (c) varredura; e (d) adsorção e formação de ponte. A neutralização das cargas negativas das partículas permite a atração entre elas, promovendo sua aglomeração, formando partículas maiores as quais alcançam maior velocidade de sedimentação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As condições de coagulação/floculação a serem empregadas em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) ou de efluentes industriais podem ser previstas em escala de laboratório utilizando-se equipamentos conhecidos como aparelhos de Jarreste, ou Teste de Jarros. Esse ensaio possibilita a determinação da eficiência dos processos de coagulação/floculação por meio de análise do comportamento das amostras. Permite a identificação da dosagem ótima do coagulante, do pH de floculação, do gradiente de velocidade, do tempo de mistura e da influência das adições de polieletrólitos (BORBA, 2001; ANDRADE et al., 2002; MARGUTI; FERREIRA FILHO; PIVELI; 2008).

Em uma ETA o lodo é proveniente dos decantadores, da água de lavagem de filtros e da lavagem dos tanques de produtos químicos (Figura 1). Apresenta-se de forma fluida e possui bastante umidade, porém algumas estações destinam seus resíduos para um leito ou lagoas de secagem antes de sua disposição como é o caso da estação onde se procedeu a coleta.

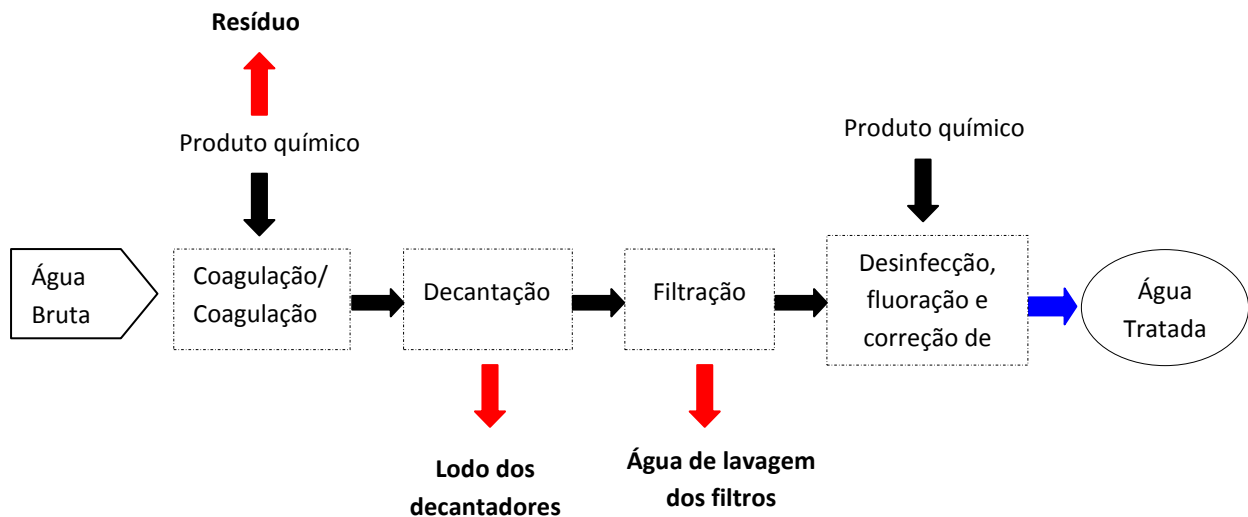


Figura 1 – Fluxograma de geração do lodo em uma Estação de Tratamento de Água.

Segundo Richter (2001), o volume do lodo gerado é diretamente proporcional à dosagem de coagulante, variando entre 0,2 a 5% do volume total da água tratada pela ETA, o que resultará em uma diferenciação das características do lodo produzido em determinadas ETAs, levando-se em conta o tipo de tratamento, o coagulante, a produção diária e os produtos químicos utilizados.

4.3 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS DE ETA

As características dos lodos gerados nas ETAs são bastante variadas. Diversos fatores contribuem para tal característica, como: a qualidade da água bruta, os produtos químicos utilizados e a forma de operação das ETAs (CORDEIRO, 1999). As variações sazonais também interferem nas características da água bruta dos mananciais, ocorrendo mudanças na turbidez e conseqüentemente, alteração nas características do lodo.

O lodo das ETAs é considerado um resíduo inorgânico, composto principalmente por areia, silte, argila, poluentes, substâncias húmicas dos rios que são carregadas para água bruta e subprodutos gerados pela adição de produtos químicos e água (TEIXEIRA; MELO;

SILVA, 2005). Esse resíduo pode ser composto também por sedimentos dos clarificadores, lavagem de filtros, lodo da recuperação da água de lavagem ou uma combinação desses elementos. Bidone, Silva e Marques (2001) ressaltam que o conteúdo de sólidos pode variar de 3.000 mg.L⁻¹ a 15.000 mg.L⁻¹. Os sólidos suspensos totais representam de 75% a 90% dos sólidos totais, e os sólidos totais voláteis de 20% a 35%.

Diferenças significativas ocorrem principalmente entre os resíduos da lavagem de filtros e os gerados nos decantadores, principalmente quanto à concentração de sólidos, DQO, pH, concentrações de metais, filtrabilidade, sedimentabilidade, tamanho e distribuição de partículas (BARROSO; CORDEIRO, 2001a). Os resíduos dos decantadores e da lavagem de filtros podem ser dispostos separadamente, o que não ocorre na ETA Eng. Rodolfo José da Costa em Goiânia/GO onde ambos são destinados para uma mesma lagoa de secagem.

Numa ETA convencional o lodo de decantador é o principal resíduo gerado, resultante da acumulação de sólidos que ficam retidos devido à sedimentação dos flocos, sendo caracterizados por estarem sob a forma fluida e possuírem bastante umidade. A forma de remoção dos resíduos dos decantadores interfere em parte na sua característica final, principalmente no que se refere à quantidade de sólidos presentes. As concentrações de metais nos lodos podem ser mais elevadas nos sistemas que efetuam limpezas em grandes intervalos de tempo (CORDEIRO, 2001; FERRANTI, 2005).

Barroso e Cordeiro (2001b) ressaltam que alguns metais, como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo, manganês e o alumínio, possuem ações tóxicas e podem causar efeitos negativos ou positivos em relação à disposição destes resíduos e destaca a importância de se realizarem mais estudos no Brasil sobre sua concentração nas diversas etapas do tratamento de água. Esse potencial tóxico presente no resíduo pode ser um fator de limitação para algumas alternativas de disposição. Destacam ainda que o potencial tóxico dependerá da concentração de cada elemento juntamente com as características físico-químicas e poderá ser influenciada também pelas reações sofridas durante o processo de tratamento.

Andreoli et al. (2006) destacam que em relação ao índice de matéria orgânica, o lodo é geralmente caracterizado pela baixa quantidade de compostos orgânicos, que dependerá da água bruta, podendo variar de 5% a 25%. Observa ainda a existência de alguns lodos de ETAs com rica quantidade de matéria orgânica e ressalta que o teor de matéria orgânica presente no lodo, em geral, é maior que o teor presente no solo.

Os agentes patogênicos encontrados no lodo são considerados baixos quando comparados ao solo e a lodos de esgotos. Segundo Andreoli et al. (2006), considerando os

baixos índices de contaminação sanitária, pode-se concluir que esse resíduo apresenta baixo risco de contaminação ambiental e sanitária para populações e animais.

4.4 FORMAS DE DESTINAÇÃO

Reali (1999) observa que para a disposição correta do lodo é necessário um levantamento de viabilidade técnica, econômica e ambiental pertinente a cada caso, sugerindo algumas alternativas:

- a) Disposição em aterros sanitários: essa forma de disposição consiste no transporte e destinação do lodo em aterros sanitários, para isso deve-se observar a concentração de sólidos presentes no lodo;
- b) Co-disposição com biossólidos: a junção do lodo de ETA com os biossólidos provenientes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) mostra-se bastante vantajosa, pois pode ser utilizado no preparo de compostos fertilizantes para plantas;
- c) Disposição controlada em certos tipos de solos: deve-se observar a ocorrência de impactos negativos no solo;
- d) Aplicações industriais diversas: podem ser utilizados na fabricação de cerâmica, tijolos, dentre outros materiais de construção, dependendo das características do resíduo;
- e) Incineração dos resíduos: essa forma de disposição consiste no envio do lodo a empresas especializadas em incineração. Os resíduos incinerados são submetidos a um ambiente fortemente oxidante, onde são decompostos. Essa forma de disposição apresenta um alto custo além da geração de cinzas que também necessitam de uma destinação correta.

Megda, Soares e Achon (2005) destacam ainda a utilização do lodo para fins agrícolas, cultivo de grama comercial, fabricação de cimento. Sendo utilizado como auxiliar nos processos de coagulação e floculação pode ser uma alternativa de baixo custo nos processos de tratamento. Destacam ainda que a adição de lodos de ETAs na compostagem tem mostrado alguns benefícios como ajuste da umidade, fornecimento de traços de minerais, ajuste de pH e servindo como material para o aumento do volume de composto.

Como a composição e a quantidade de lodo variam muito, os resultados obtidos com igual tratamento para lodos originados de unidades diferentes não serão iguais. A solução para o problema do lodo não é simples, pois envolve pesquisa, pessoal técnico especializado e operação das unidades.

4.5 DISPOSIÇÃO EM SOLO

4.5.1 Características da disposição do lodo de ETA no solo

Partindo do princípio de que a utilização de lodo de Estações de Tratamento de Esgotos pode ser favorável ao desenvolvimento da planta, sendo utilizado como substrato no seu cultivo, com larga utilização e estudos comprovando sua aplicabilidade, a mesma destinação poderia ser dada para o lodo de ETA, pois mesmo com menores concentrações de matéria orgânica e nutrientes quando comparadas ao lodo de ETE, também podem trazer benefícios ao solo e à planta.

A disposição do lodo em solo pode ser uma forma de gerenciamento eficaz. A aplicação do lodo em solos agrícolas também pode gerar benefícios, provocando melhoria estrutural do solo, ajuste de pH, adição de traços de minerais, agregando benefícios como a adição de nutrientes e micronutrientes (SILVA; MELO; TEIXEIRA, 2005; DOLGEN; ALPSLAN; DELEN, 2007). Tais características podem tornar eficaz esse tipo de aplicação em solos do cerrado, que por sua natureza é pobre em nutrientes.

De acordo com Feitosa e Consoni (2008), o lodo contendo sulfato de alumínio torna os solos mais porosos, conseqüentemente com uma maior capacidade de retenção de água. Teixeira, Melo e Silva (2005) mostraram que dentre as formas de disposição no solo, uma alternativa para gestão deste resíduo é a sua aplicação em solo degradado, podendo gerar a recuperação destas áreas. Verificaram que o lodo de ETA aumentou o pH do solo degradado e que os produtos químicos utilizados no tratamento da água contribuíram para aumentar, em maior proporção, os teores de Ca e Fe no solo.

Os dados obtidos por Botero et al. (2009) mostraram também que os lodos de ETAs possuem grande potencial agrícola e destacam que sua utilização dependerá das características da água bruta e do tipo de flocculante utilizado no tratamento convencional. Megda, Soares e Achon (2005) descrevem que quando a concentração de sólidos no lodo estiver entre 40% e 60% ele pode ser utilizado na produção de solo comercial, substituindo alguns componentes tipicamente aplicados, tais como a perlita, o calcário, a areia e a argila bentonítica. Destacam ainda que possa ser utilizado na fabricação de adubos orgânicos para aumento do peso e como solo suporte para germinação de sementes.

4.5.2 Utilização de lodo de ETA na agricultura e no cultivo de plantas

Estudos desenvolvidos por vários autores demonstram potencialidade da aplicação do lodo de ETA na agricultura e silvicultura. Machado et al. (2005) após avaliar o lodo de

uma ETA, concluíram que o mesmo poderia ser utilizado em atividades agrícolas, destacando a existência de macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento de plantas.

Nos Estados Unidos já estão sendo aplicados lodos de ETAs, que utilizam sulfato férrico como coagulante, no cultivo de plantas cítricas, como laranja e limão que apresentam carência de ferro (MEGDA, SOARES; ACHON, 2005). Há exemplos ainda de aplicação de lodos de ETAs que utilizam sais de ferro e alumínio em solos para agricultura, em áreas florestais e para recuperação de áreas degradadas (JANUÁRIO; FERREIRA-FILHO, 2007).

Ippolito, Barbarick e Redente (2002) concluíram em seu experimento de cultivo de gramíneas com lodo, que a quantidade de alumínio presente na planta apenas aumentou em concentrações maiores de aplicação de lodo e que a adição do resíduo não afetou a produção de matéria seca da planta. Relataram também que a utilização desse método pode ser benéfica para os municípios, pois evitaria a disposição desse resíduo no Aterro Sanitário.

Em experimento desenvolvido com milheto (*Pennisetum americanum*), os autores relataram que apesar das diferentes dosagens de lodo aplicadas no cultivo dessa planta, não foram evidenciadas variações influenciadas pela aplicação de lodo no desenvolvimento da planta e que não houve alteração nas características do solo (BITTENCOURT et al., 2009).

As aplicações citadas anteriormente demonstram potencialidade para esse tipo de disposição, apesar disso, cabe ressaltar algumas desvantagens e empecilhos que podem ocorrer. Uma das principais desvantagens da aplicação do resíduo, que pode acontecer, é o aumento da concentração de metais pesados no solo e águas subterrâneas, podendo ocorrer ainda adsorção do fósforo pelos hidróxidos de alumínio e ferro resultando na diminuição da produtividade do solo. Tsutiya e Hirata (2001) relataram que o lodo aplicado tende a reagir com o fósforo presente no solo e indisponibilizá-lo para a planta, o que poderia prejudicar o seu desenvolvimento. Portanto devem ser realizados estudos, testes e ensaios específicos para verificar a viabilidade e dosagem para cada região, levando-se em conta a caracterização do lodo e as características físicas e químicas do solo. Se necessário deve-se fazer ainda um monitoramento no local após a aplicação.

Além do ponto de vista econômico, outro aspecto merece atenção e destaque: o fator ambiental do correto descarte do lodo, sem prejuízo para os mananciais, observando-se as limitações em relação à concentração de metais e consequentes contaminações que possam vir a causar em sua disposição. Faz-se necessário a realização de estudos que identifiquem a característica do resíduo em cada região e estabeleça a quantidade máxima a ser disposta sem que ofereçam riscos ao ambiente

4.6 O BIOMA CERRADO

O cerrado está localizado em sua maioria no Planalto Central do Brasil e é o segundo maior bioma do país em área, com mais de 2.000.000 km², representando cerca de 23% do território nacional. Este bioma está presente nos estados de Goiás, Tocantins, Distrito Federal, parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo. O cerrado é considerado uma savana tropical, sua vegetação possui aproximadamente 420 espécies de árvores e arbustos esparsos. O solo, antigo e profundo, ácido e de baixa fertilidade, tem altos níveis de ferro e alumínio (SANO; ALMEIDA, 1998).

Segundo a WWF-Brasil (2011), a maior ameaça ao bioma está na destruição e fragmentação dos habitats. Estima-se que 60% da área total seja destinada à pecuária e 6% aos grãos, principalmente soja. Somente 19,15% correspondem a áreas nas quais a vegetação original ainda está em bom estado.

4.7 ESPÉCIES UTILIZADAS

4.7.1 Canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.)

A Canafístula pertencente à família Leguminosae-Caesalpinoideae, com ocorrência nos estados da Bahia, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul (Figura 2). A madeira é utilizada na construção civil. É indicada para reflorestamentos mistos de áreas degradadas de preservação permanente, devido ao seu rápido desenvolvimento, alcança em torno de seis metros em dois anos. Também pode ser utilizada em paisagismo (LORENZI, 1998).



Figura 2 – Figura ilustrativa *Peltophorum dubium*.
Fonte: <http://www.arvores.brasil.nom.br>

4.7.2 Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schoot)

Pertence à família Anacardiaceae e tem ocorrência ampla no cerrado brasileiro (Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso). Possui grande importância econômica, sua madeira é utilizada na construção civil e naval, apresenta desenvolvimento rápido no campo, chegando a atingir cerca de três metros aos dois anos de idade (Figura 3). Pode ser utilizada para paisagismo e arborização (LORENZI, 1998).

Em trabalho desenvolvido por Caldeira-Júnior et al. (2007), a utilização do Gonçalo-alves para recuperação de área degradada mostrou-se significativa, propiciando a formação de uma nova condição micro-climática e favorecendo o surgimento de diversas outras plantas no local, o que confirma a melhoria de condições na área.



Figura 3 – Figura ilustrativa *Astronium fraxinifolium*.

Fonte: <http://www.arvores.brasil.nom.br>

4.7.3 Ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand.)

O Ipê-branco (Figura 4) pertence à família Bignoniaceae e ocorre nos estados de Goiás, São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Sua madeira pode ser empregada na construção civil. É uma planta ornamental, pode ser utilizada para paisagismo em geral e principalmente na arborização urbana. Devido a suas características em se adaptar a ambientes secos ele pode ser amplamente utilizado em reflorestamento e recomposição de vegetação. Apresenta desenvolvimento rápido, podendo chegar a três metros e meio em dois anos (LORENZI, 1998).



Figura 4 – Figura ilustrativa *Tabebuia roseo-alba*.
 Fonte: <http://www.arvores.brasil.nom.br>

4.7.4 Pau-de-óleo (*Copaifera langsdorfii* Desf.)

Espécie pertencente à família Leguminosae-Caesalpinoideae, com ocorrência em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná. Pode ser empregada na arborização urbana e rural, além de plantio em áreas degradadas (Figura 5). Sua madeira é utilizada na construção civil, em vigas, batentes, cabos de ferramentas, vassouras, carrocerias e na marcenaria. O desenvolvimento de mudas e em campo é um pouco lento, atingindo em torno de dois metros em dois anos (ALMEIDA et al., 1998; LORENZI, 1998).



Figura 5 – Figura ilustrativa *Copaifera langsdorfii*.
 Fonte: <http://www.arvores.brasil.nom.br>

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

O lodo foi coletado na ETA Eng. Rodolfo José da Costa que está localizada em Goiânia/GO (16°34'53.48"S; 49°19'44.19"O), cuja produção abastece cerca de 50% da população goianiense. A ETA é do tipo ciclo completo, com capacidade de 1,98 m³.s⁻¹, utilizando sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) como coagulante primário. Devido às características da água do manancial (Rio Meia Ponte), que é captada a uma distância de 1,4 Km da ETA, não há necessidade de adição de alcalinizante e polieletrólitos nas etapas de tratamento.

A ETA é composta por:

- Calha Parshall com medição ultrasônica da vazão;
- 3 (três) conjuntos de floculadores hidráulicos, com 4 (quatro) células cada;
- 3 (três) decantadores convencionais com raspadores mecanizados e descarga de fundo automatizada;
- 6 (seis) filtros com 2 (duas) células cada, com dupla camada (areia e antracito);
- Câmara de desinfecção.

5.1.1 Tratamento do lodo na ETA

O sistema de tratamento do resíduo é composto por duas lagoas de recebimento e secagem de lodo com dimensões 150x35x2 m e volume aproximado de 10.500 m³. Para essas lagoas são encaminhados os resíduos provenientes da descarga de fundo dos decantadores e água da lavagem de filtros. O recebimento de lodo pelas lagoas funciona de forma alternada: enquanto uma das lagoas está recebendo o lodo, na outra espera-se a secagem, durante um período aproximado de 12 meses. Após esse período, o lodo já seco em uma das lagoas é retirado com auxílio de máquinas que fazem a raspagem desse material, sendo depositado em uma área dentro da própria ETA.

5.1.2 Coleta e transporte do lodo

O lodo obtido para a pesquisa foi coletado na lagoa que estava em repouso, ou seja, sem receber resíduo desde outubro de 2009. Na Figura 6 é apresentada a foto da lagoa que está recebendo resíduo da ETA e na Figura 7 a foto da lagoa que está em fase de secagem, de onde foi coletado o lodo seco para o presente estudo.



Figura 6 - Lagoa de lodo que está recebendo os resíduos provenientes dos decantadores e filtros da ETA.



Figura 7 – Lagoa em fase de secagem do lodo, de onde foi coletado o material para pesquisa. Observar que ela está coberta por vegetação que se desenvolveu durante o período de secagem.

O lodo foi coletado em 27/05/2010, com aproximadamente 07 (sete) meses de secagem. A coleta foi realizada próxima a borda da lagoa. Antes da coleta foi realizada a retirada do material vegetal que havia crescido na superfície da lagoa. Com auxílio de uma pá e latões os blocos de lodo seco foram coletados cuidadosamente e colocados na caçamba de um veículo para o transporte (Figura 8). O lodo foi armazenado em local coberto e envolto com uma lona até a preparação dos substratos.



Figura 8 – Coleta e transporte do lodo proveniente da lagoa de secagem.

5.2 PREPARO E CARACTERIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS

Na Figura 9 é apresentado o esquema de como foi estruturado parte do experimento, desde a coleta do lodo até o transplante das mudas.

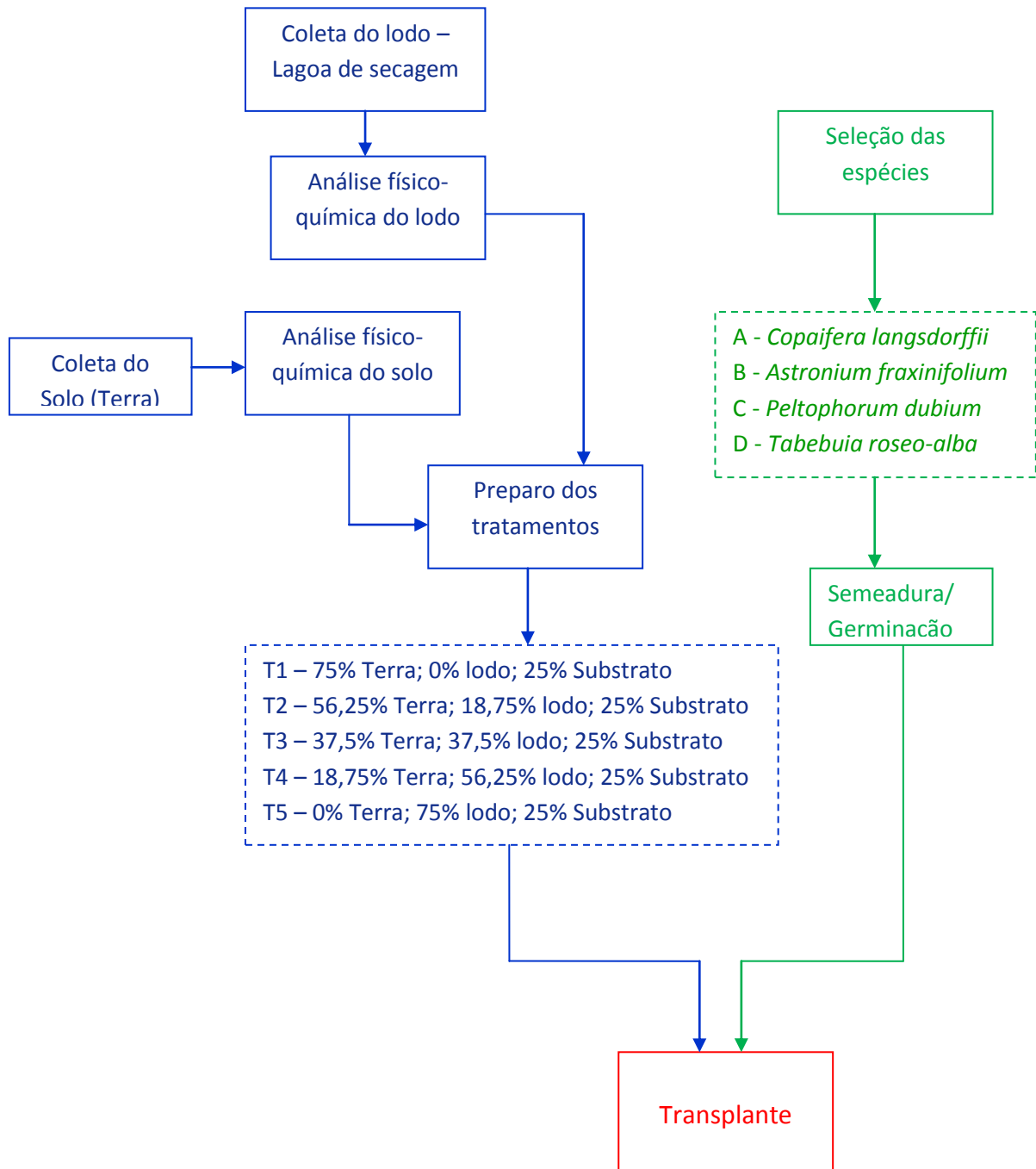


Figura 9 – Esquema de parte do experimento, desde a coleta do lodo até o transplante das mudas.

Após coletado, o lodo foi transportado para o viveiro onde se executou o preparo dos tratamentos. Para confecção dos tratamentos, variou-se a dose do lodo na medida em que se reduzia a quantidade de terra, mantendo sempre uma mesma proporção de substrato, com

base no que é utilizado no viveiro comercial (local de estudo), sendo 75% de terra e 25% de substrato comercial. O objetivo foi utilizar o resíduo da ETA em substituição da terra visando sua disposição final.

Os valores em porcentagem apresentados tiveram como base o volume do saco de polietileno utilizado para o cultivo de mudas, sendo de aproximadamente 1 (um) litro. As dosagens foram preparadas com o auxílio de recipientes graduados adotando-se como parâmetro o volume, devido a diferença de densidade dos elementos utilizados.

5.2.1 Método de preparo dos Tratamentos

Para o preparo dos tratamentos, os blocos de lodo seco foram fragmentados com auxílio de uma peneira com malha 5,4 x 5,6 mm a fim de se obter fragmentos menores para facilitar a homogeneização no preparo (Figura 10 A). Posteriormente foram misturados com a terra e o substrato comercial. Para garantir a homogeneização da mistura Terra+Lodo+Substrato foi utilizada uma betoneira como ilustrado na Figura 10 B. Todo esse processo foi realizado sobre uma lona para evitar o contato dos componentes com o solo.



Figura 10 – (A) Lodo após ser fragmentado com auxílio de uma peneira, (B) Utilização de uma betoneira pra preparação dos tratamentos.

5.2.2 Composição dos Tratamentos

Para o experimento foram adotados 5 (cinco) tratamentos. O Tratamento 1 correspondeu ao controle, pois nesse não foi adicionado lodo. As proporções de lodo foram sendo aumentadas até que houvesse a substituição da terra por lodo. Os valores referentes às quantidades dos materiais utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Porcentagem em volume de cada um dos elementos utilizados para o preparo dos tratamentos.

	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
SUBSTRATO	25%	25%	25%	25%	25%
TERRA	75%	56,25%	37,50%	18,75%	0%
LODO	0%	18,75%	37,50%	56,25%	75%

5.2.2.1 Composição do Substrato comercial

O substrato comercial, geralmente utilizado por viveiros, confere uma melhor estrutura ao solo e foi mantido para testar a aplicabilidade comercial do lodo em substituição apenas à terra utilizada no plantio de mudas. O substrato utilizado apresenta as características descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição do substrato comercial utilizado no experimento.

Substrato	Característica Química		Aplicação	Composição
	pH	CE (µS/cm)		
Ouro Florestal	5,2	1,0 a 2,8	Cultivo de plantas nativas e exóticas	Casca de pinus, fibra de coco, agentes agregantes, vermiculita e complementos minerais (NPK+MICRO) *.

Fonte: (<http://www.bioplant.com.br/>, acessado em: 01/07/10).

CE: Condutividade Elétrica

* As quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio não foram informadas pelo fabricante.

5.2.2.2 Característica do solo utilizado

O solo utilizado no experimento pode ser classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, sua caracterização é apresentada na Tabela 3. Segundo Tomé Júnior (1997), esse solo é considerado um solo areno-argiloso de textura média. Em relação ao pH o solo apresenta acidez média. Para os valores de Matéria Orgânica (M.O.), o autor considera altos os valores maiores que 50g /dm³ e baixos valores menores que 15 g/dm³, portanto o valor encontrado de M.O. é considerado médio. Os teores de Ca e Mg são considerados altos. Em relação ao fósforo, segundo o mesmo autor, deve-se levar em conta o teor de argila para a interpretação de análises de solos do cerrado, portanto os valores menores que 5,0 g /dm³ considerando o teor de argila 400 g/kg é considerado baixo. Para o potássio o valor 0,81 cmol_c/dm³ é considerado alto.

Tabela 3 – Características do solo utilizado no experimento.

Análise Química		
Determinação	Unidade	
pH		5,5
M.O.	g/dm ³	26,0
Ca	cmol _c /dm ³	4,6
Mg	cmol _c /dm ³	1,0
Al	cmol _c /dm ³	ND
H+Al	cmol _c /dm ³	2,1
K	cmol _c /dm ³	0,8
K	mg/dm ³	318,0
P (Mel.)	mg/dm ³	4,3
S	g/dm ³	2,0
Micronutrientes		
Na	mg/dm ³	3,0
Zn	mg/dm ³	3,8
B	mg/dm ³	0,18
Cu	mg/dm ³	2,3
Fe	mg/dm	216,8
Mn	mg/dm ³	115,2
Análise Física		
Argila	g/kg	400
Limo	g/kg	100
Areia	g/kg	500
Dados complementares		
CTC	cmol _c /dm ³	8,52
S.B.	%	75,39
Ca/Mg	-	4,6
Ca/K	-	5,68
Mg/K	-	1,23
Ca/CTC	%	53,99
Mg/CTC	%	11,74
K/CTC	%	9,51
H+Al/CTC	%	24,65

M.O.: Matéria orgânica;

CTC: Capacidade de troca de cátions;

S.B.: Saturação das bases

5.2.2.3 Características do lodo

O lodo foi submetido a uma caracterização física, química e bacteriológica. Verificou-se o pH, sólidos (totais, fixos e voláteis), coliformes Termotolerantes, ovos de helmintos e análise de metais.

No momento da coleta do lodo para a pesquisa, uma amostra foi retirada e conservada em geladeira para posterior caracterização. As Tabelas 4 e 5 apresentam respectivamente resultados de análises físico-químicas, bacteriológica e resultado da análise de metais realizadas no Laboratório de Controle da SANEAGO da amostra coletada na lagoa.

Tabela 4 - Análises físico-química e bacteriológica do lodo.

Parâmetros / unidades	Lodo seco
pH	5,8
% Sólidos Referente à massa coletada	60
% Sólidos Voláteis (em relação aos totais)	13
% Sólidos Fixos (em relação aos totais)	87
Coliformes termotolerantes (NMP/100mg)	<1,6
Ovos de helmintos (ovos/g de Massa Seca)	NDE

*Análises realizadas no laboratório da SANEAGO.

NDE – Não detectado.

Tabela 5 – Resultado da análise de metais.

Parâmetro	Resultado (mg.kg⁻¹ bs)	Parâmetro	Resultado (mg.kg⁻¹ bs)
Al - Alumínio	41.297	Li - Lítio	5
Sb - Antimônio	0,07	Mn - Manganês	1215
As - Arsênio	0,29	Hg - Mercúrio	0,4
Ba - Bário	248	Ni - Níquel	37
Be - Berílio	1	Ag - Prata	93
B - Boro	37,2	Se - Selênio	0,02
Cd - Cádmio	1,1	U - Urânio	15
Pb - Chumbo	9,1	V - Vanádio	124
Co - Cobalto	26	Zn - Zinco	104
Cu - Cobre	58	Ca - Cálcio	1.413
Cr - Cromo	102	Mg - Magnésio	690
Fe - Ferro	29.000	K - Potássio	3.544
P - Fósforo	1.355	Na - Sódio	450

bs: base seca

* Análises realizadas no laboratório da SANEAGO.

**Os métodos determinados para parâmetros de referência seguem as recomendações do Standard Methods (APHA, 2005).

5.3 CULTIVO DAS MUDAS

5.3.1 Seleção das espécies

Foram utilizadas 4 (quatro) espécies florestais (Tabela 6) que podem ser utilizadas em reflorestamentos. O critério para seleção das espécies foi o de trabalhar com espécies nativas e que apresentassem algum tipo de potencial para recuperação de áreas degradadas ou potencial econômico. O transplante das plântulas (vegetal após a germinação) para os sacos de polietileno contendo os tratamentos foram realizados todos no mesmo dia.

Tabela 6 – Descrição das espécies utilizadas no experimento.

NOME POPULAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA
A Pau-de-óleo	<i>Copaifera langsdorffii</i>	Leguminosae
B Gonçalo-alves	<i>Astronium fraxinifolium</i>	Anarcadiaceae
C Canafístula	<i>Peltophorum dubium</i>	Leguminosae
D Ipê-branco	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	Bignoniaceae

5.3.2 Localização do experimento

O cultivo das mudas foi realizado no Viveiro Ipê, um viveiro comercial localizado na Rodovia GO-080 – km 5,5 (S16°34.943' W049°14.606'), a uma altitude de 739 m. O experimento foi realizado nesse local devido ao interesse dos proprietários em apoiar a pesquisa assim que se apresentou a proposta. Eles atuam como colaboradores do trabalho, pois além de fornecerem o espaço físico contribuíram com equipamentos e materiais.

5.3.3 Germinação das sementes e cultivo das plantas

As sementes utilizadas no experimento não tiveram procedência conhecida, ou seja, não houve seleção de plantas matrizes. O lote de sementes utilizadas no viveiro é formada por coleta aleatória realizada em áreas próximas, na região de Nerópolis-GO. A semeadura foi realizada em bandejas metálicas denominadas canteiro de germinação ou sementeira, com 1 x 1m e profundidade 15 cm, contendo areia média e fungicida para conservação das sementes, conforme ilustrada na Figura 11. A emergência das plântulas perdurou do quinto ao vigésimo dia após a semeadura (DAS). As plântulas foram retiradas da sementeira, de forma cuidadosa, removendo toda areia contida na raiz e transplantada para os

sacos de polietileno com os respectivos tratamentos. Na Figura 12 é apresentada uma plântula de Ipê-branco retirada da sementeira para ser transplantada. As mudas foram cultivadas em sacos plásticos pretos, de capacidade volumétrica de aproximadamente um litro.



Figura 11 – Canteiro de germinação ou sementeira utilizada para germinação das sementes, antes de serem transplantadas para os tratamentos.



Figura 12 – Plântula de Ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba*) extraído da sementeira para ser transplantada para o saco plástico contendo o tratamento de estudo.

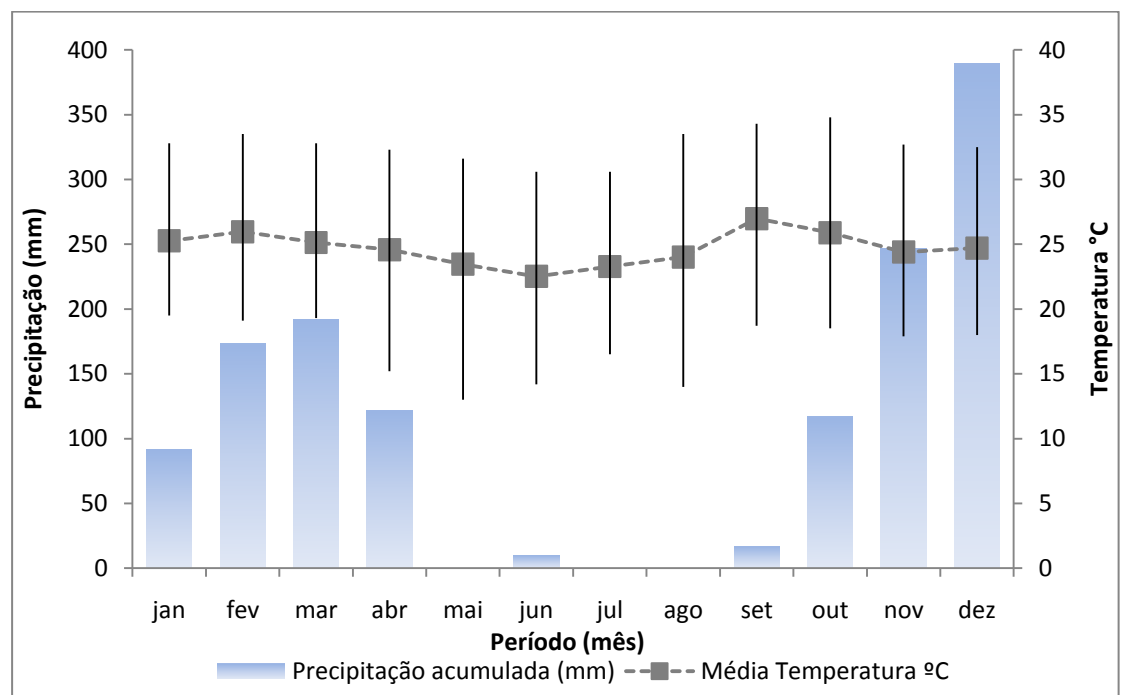
O cultivo das mudas ocorreu de julho a outubro de 2010, totalizando 150 dias de cultivo. Esse é o período médio de desenvolvimento das mudas antes da comercialização ou plantio em solo. Todo o cultivo foi realizado em casa de vegetação com tela de sombreamento (50%). Dentro da estrutura as mudas foram dispostas no chão e a irrigação foi realizada por aspersores duas vezes ao dia. Na Figura 13 pode ser observada a disposição das mudas.



Figura 13 – Área interna do viveiro onde foi realizado o cultivo. O local está coberto com tela de sombreamento e a irrigação foi feita com aspersores.

5.3.4 Precipitação da região

Conforme dados da Rede Meteorológica da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás (SIMEHGO, 2011), em 2010 houve precipitação acumulada de 1.358,4mm de chuva. Destaca-se que para a região onde foi realizado o experimento, o período chuvoso é de outubro a março e o período seco de abril a setembro. Na Figura 14 são apresentados os resultados a precipitação acumulada referente a cada mês de cultivo, bem como as temperaturas médias, máximas e mínimas.



Fonte: Rede Meteorológica da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás - Dados do Município de Goiânia - Estação 102 - Heliponto Goiânia (EC30154A)

Figura 14 - Precipitação acumulada mensal em relação à temperatura máxima, mínima e média para cada mês durante o ano de 2010.

5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para esse trabalho foi adotado o Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado (DIC). O DIC é um delineamento muito utilizado em ensaios de casas de vegetação e técnicas de trabalho de laboratório (GOMES, F. P., 1990).

Para sua aplicação, é necessário assegurar a uniformidade em todas as unidades experimentais e que estas sejam facilmente identificadas para receber o tratamento. Portanto, para facilitar a aplicação e assegurar a uniformidade, evitando o favorecimento ou prejuízo de iluminação, irrigação e vento, todas unidades experimentais do estudo foram devidamente identificadas e intercaladas aleatoriamente, com rodízio a cada 15 dias. Na Figura 15 são apresentadas as plantas identificadas e distribuídas conforme sorteio no local do experimento.



Figura 15 – Plantas identificadas e distribuídas aleatoriamente conforme adotado para o experimento.

O experimento foi composto por 5 (cinco) Tratamentos (T1 a T5), para 4 (quatro) Espécies de plantas. Foram realizadas 4 repetições, onde cada repetição era determinada através de um grupo de 5 plantas, totalizando 400 unidades experimentais, ou seja, 400 plantas. Na Tabela 7 é apresentada a forma que o experimento foi dividido, em função das espécies e dos tratamentos.

Tabela 7 – Quantidade de espécies e repetições para cada tratamento utilizadas no experimento.

	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	
ESPÉCIES	Substrato: 25%	Substrato: 25%	Substrato: 25%	Substrato: 25%	Substrato: 25%	Total de Tratamentos por Espécie
	Terra: 75%	Terra: 56,25%	Terra: 37,50%	Terra: 18,75%	Terra: 0%	
	Lodo: 0%	Lodo: 18,75%	Lodo: 37,50%	Lodo: 56,25%	Lodo: 75%	
A Pau-de-Óleo	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	100
B Gonçalo- alves	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	100
C Canafístula	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	100
D Ipê-branco	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	5 mudas e 4 repetições	100
Total de Plantas por Tratamento	80	80	80	80	80	400

5.5 PARÂMETROS AVALIADOS

Na Figura 16 é apresentado o esquema de obtenção dos parâmetros avaliados.

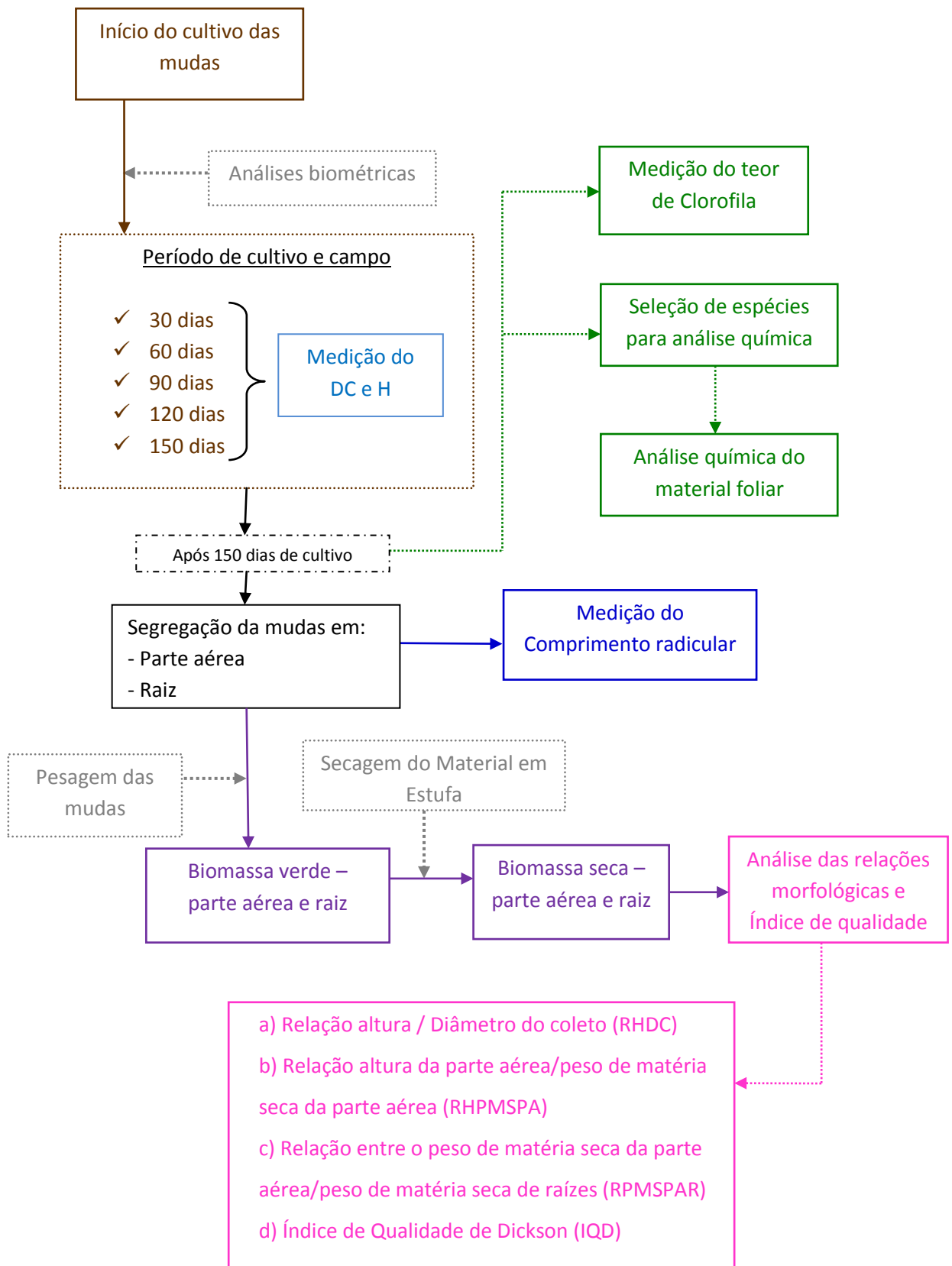


Figura 16 – Esquema ilustrativo dos parâmetros avaliados.

As coletas foram realizadas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio. Foram avaliados os seguintes parâmetros:

a) Sobrevivência (%)

A porcentagem de sobrevivência para cada espécie foi determinada pela diferença entre o número de mudas vivas e o número total de mudas em cada tratamento.

$$S_{\%} = \frac{n}{20} * 100$$

(Equação 5.1)

Sendo:

s% = sobrevivência em porcentagem;

n = número indivíduos vivos no momento da medição

b) Diâmetro do coleto (DC)

O diâmetro do coleto foi medido tomando-se como referência a posição da planta rente ao solo. Foi medido com paquímetro digital (precisão de 0,01mm). A medição foi realizada em cruz, para assegurar a aquisição de um valor mais representativo, e obtido o valor médio (Figuras 17 e 22).



Figura 17 – Medição do Diâmetro do coleto com auxílio do paquímetro digital.

c) Altura (H)

Para medição da altura utilizou-se uma régua métrica graduada (precisão de 0,1cm), considerando-se a altura da muda rente ao solo em relação ao ponto máximo de sua copa (Figuras 18 e 22).



Figura 18 – Medição da altura da muda (H) com auxílio de uma régua métrica graduada.

d) Índice Relativo de Clorofila

Ainda no viveiro as mudas foram submetidas à análise de clorofila nas folhas. A leitura do índice relativo de clorofila (SPAD) foi realizada utilizando-se um medidor portátil, modelo SPAD-502 (Figura 19), que permite medições instantâneas da estimativa do seu teor na folha, avaliando-se as mudas com 150 dias de idade. O método de avaliação portátil caracteriza-se pela rapidez e simplicidade, possibilitando uma avaliação não destrutiva do tecido foliar.

Foram selecionadas 3 mudas de cada um dos tratamentos das espécies A (Pau-de-óleo), B (Gonçalo-alves) e D (Ipê-branco) para que se procedesse a leitura com o equipamento. Devido a problemas técnicos não houve possibilidade de medição da clorofila para a espécie C (Canafístula). O índice médio de cada tratamento foi resultante da avaliação de 3 folhas, sendo selecionadas folhas completamente expandidas e saudáveis, adotando a unidade SPAD.



Fonte: <http://www.envcoglobal.com/product/leaf/spad-502-chlorophyll-meter.html>

Figura 19 – Medidor portátil de clorofila SPAD-502 utilizado para medição do teor de clorofila nas folhas das mudas do experimento.

Após essas análises, todas as plantas do experimento foram transportadas para o laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia Civil-UFG. Foram extraídas dos sacos plásticos e por meio da remoção manual retirou-se cuidadosamente toda a terra das raízes, para não danificar o sistema radicular, quando necessário utilizava-se água para auxiliar (Figura 20). Dividiu-se a planta em parte aérea e raiz para que se procedesse a avaliação dos demais parâmetros, como ilustrado na Figura 21.



Figura 20 – (A) Retirada das mudas dos sacos de polietileno e (B) Remoção manual da terra contida nas raízes.



Figura 21 – Muda de Canafístula (espécie C) separada em parte aérea e raiz.

e) Comprimento radicular (R)

O comprimento radicular de cada indivíduo foi mensurado, com auxílio de uma régua de precisão 0,1cm, tomando por base toda a região não aérea da planta até a parte mais extrema (raiz principal). Na Figura 22 é apresentado um esquema de medição dos parâmetros: DC, H e R.

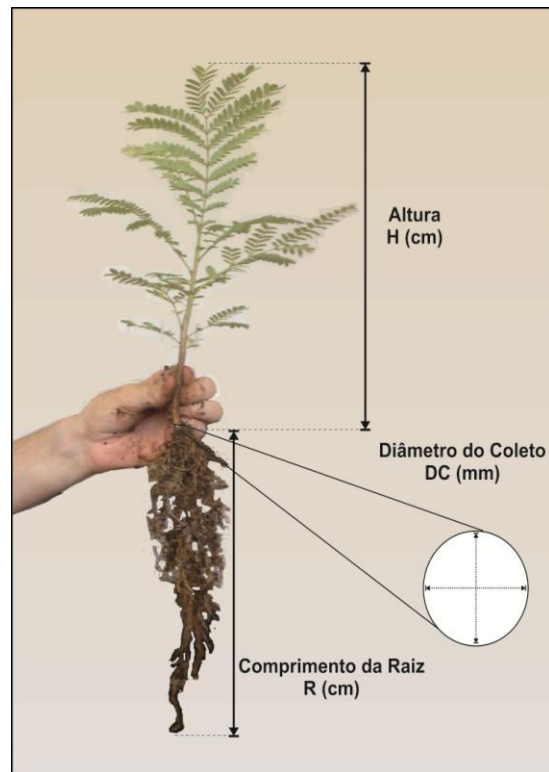


Figura 22 – Esquema de medição da altura, diâmetro do coleto e comprimento da raiz de uma muda utilizada no experimento.

f) Biomassa

A biomassa das plantas foi obtida através da avaliação do peso verde e peso seco.

- Peso verde

O peso verde das plantas foi mensurado utilizando uma balança de precisão 0,01g, pesando separadamente as partes aéreas e as raízes assim que extraídas dos sacos de polietileno.

- Peso seco

Para mensurar o peso seco as plantas foram colocadas em papel pardo e acondicionadas em estufa com circulação forçada de ar a 105°C até atingir peso constante.

Após, foram novamente pesadas (parte aérea e raiz), obtendo-se o peso seco da parte aérea (PMSPA), o peso de matéria seca de raízes (PMSR). O peso de matéria seca total (PMST) foi obtido pela soma das matérias secas da parte aérea e raiz.

g) Taxa de crescimento

O desenvolvimento do DC e H foram acompanhados através de medições regulares feitas a cada trinta dias. Destas foram calculadas médias, necessárias para a verificação das taxas de crescimento das plantas. A taxa de crescimento foi calculada por meio da seguinte equação:

$$Tc_D = \frac{DC}{t} \quad e \quad Tc_H = \frac{H}{t}$$

(Equação 5.2)

Em que:

Tc: Taxa de crescimento (mm.dia⁻¹ e cm.dia⁻¹)

H: Altura da planta (cm)

DC: Diâmetro do coleto (mm)

t: Tempo de cultivo (dias)

h) Análise química foliar da parte aérea

Ao final do experimento, antes da secagem das plantas para obtenção do peso seco, foram sorteadas 3 plantas de cada um dos tratamentos, lavadas com água destilada e submetida à análise química foliar no Laboratório de Análise de Solo e Foliar (LASF) da Escola de Agronomia da UFG, buscando correlacionar a acumulação de metais na planta, com as doses de lodo aplicadas em cada um dos tratamentos. Foram analisados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, zinco, enxofre e chumbo. Todas as análises foram realizadas conforme o “Manual de análises químicas de solo, plantas e fertilizantes” (SILVA, F. C., 2009).

5.6 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados biométricos foram submetidos a análise de variância ANOVA. As médias dos fatores que apresentaram diferenças significativas foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Essa análise permite avaliar a interferência das dosagens aplicadas em relação aos níveis de lodo aplicado. Para as análises estatísticas foi utilizado o software ASSISTAT (SILVA, F. A., 2011).

5.7 ÍNDICES DE QUALIDADE

As análises morfológicas e suas relações foram utilizadas para determinar os índices de qualidades das mudas ao término do experimento. Essas relações foram determinadas pelo quociente entre as características envolvidas:

- Relação altura da parte aérea/diâmetro do coleto (RHDC);
- Relação altura da parte aérea/peso de matéria seca da parte aérea (RHPMSPA);
- Relação entre o peso de matéria seca da parte aérea/peso de matéria seca de raízes (RPMSPAR).

5.7.1 Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

O Índice de Qualidade de Dickson foi desenvolvido estudando o comportamento de mudas de *Picea glauca* e *Pínus monficola* (DICKSON; HOSNER; LEAF, 1960). Das fórmulas testadas essa foi considerada a mais adequada para avaliar a qualidade das mudas das duas espécies. O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é uma fórmula balanceada dos diversos parâmetros morfológicos considerados importantes, pode-se citar o peso de matéria seca total (PMST), altura (H), diâmetro do coleto (DC), peso de matéria seca da parte aérea (PMSPA) e o peso de matéria seca das raízes (PMSR).

Fonseca et al. (2002) considera esse índice um bom indicador da qualidade das mudas, pois os cálculos consideram a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda, ponderando os resultados de vários parâmetros importantes empregados para avaliação da qualidade.

Com base nos dados obtidos foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (DICKSON; HOSNER; LEAF, 1960). O índice é dado pela Equação 5.5:

$$IQD = \frac{PMST}{H/DC + PMSPA/PMSR}$$

(Equação 5.3)

Em que:

PMST: Peso de matéria seca total (g)

H: Altura da parte aérea (cm)

DC: Diâmetro do coleto (mm)

PMSPA: Peso de matéria seca de parte aérea (g)

PMSR: Peso de matéria seca da raiz (g)

5.8 AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA VIVEIROS COMERCIAIS

Para essa avaliação considerou-se a substituição do volume de terra utilizado na produção de mudas em viveiros por lodo de ETA. Para os cálculos, foram considerados os valores aproximados com base em pesquisa de mercado. Foram utilizados os seguintes valores para cálculo da viabilidade de disposição do lodo em viveiros comerciais:

- I. Preço para disposição do Lodo no Aterro Sanitário de Goiânia/GO;
- II. Preço do caminhão de terra para cultivo de mudas;
- III. Preço do transporte do Lodo para o Aterro Sanitário de Goiânia/GO;
- IV. Densidade do Lodo.

As seguintes equações serviram de base para o cálculo da viabilidade de disposição do lodo em Viveiros Comerciais:

- a. Custo da Terra para cultivo de mudas – Custeado pelo Viveiro

$$\text{Valor da Terra} + \text{Transporte} = \text{Valor 1}$$

(Equação 5.4)

- b. Custo para disposição do Lodo em Aterro sanitário – Custeado pela ETA

$$\text{Transporte} + \text{Taxa Aterro Sanitário} = \text{Valor 2}$$

(Equação 5.5)

- c. Custo para disposição do Lodo em Viveiros – Custeio da ETA

$$\text{Transporte} + \text{Taxa do Viveiro}^* = \text{Valor 3}$$

*Possível taxa cobrada pelos viveiros para recebimento do lodo. Considerou-se o mesmo valor cobrado pelo Aterro Sanitário.

(Equação 5.6)

- d. Substituição da Terra pelo Lodo – Lucro do Viveiro

$$\text{Valor pago pela ETA} + \text{Economia de Terra} = \text{Valor 4}$$

(Equação 5.7)

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 SOBREVIVÊNCIA DAS ESPÉCIES

O volume total de lodo seco utilizado no preparo dos tratamentos foi de 300L. Como exemplo, nas Figuras 23 e 24 são apresentadas, respectivamente, as espécies Ipê-branco e Gonçalo-alves cultivadas no Tratamento 1, em que não houve aplicação de lodo, e no Tratamento 5, em que toda a terra foi substituída por lodo. É possível observar uma diferença na coloração do substrato devido à aplicação do lodo, o substrato referente ao T5 (com 75% de lodo) apresentou uma coloração mais escura que as demais.



Figura 23 - Mudanças de Ipê-branco cultivadas no Tratamento T1 e T5, sem e com resíduo, respectivamente.



Figura 24 – Mudanças de Gonçalo-alves cultivadas no Tratamento T1 e T5, sem e com resíduo, respectivamente.

A porcentagem de sobrevivência no experimento, apresentada na Tabela 8, pode ser considerada alta, variando de 84% a 100%. Isto pode indicar que as doses aplicadas de lodo não foram nocivas para as espécies estudadas. O maior número de indivíduos mortos encontrados foi do Ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba*). Acredita-se que esse fato não esteja relacionado com o tratamento utilizado visto que em todos os tratamentos foram encontrados indivíduos mortos, mas pode estar relacionado com a qualidade e armazenamento das sementes utilizadas.

Notou-se também que após 60 dias de cultivo não foram encontrados mais indivíduos mortos. As espécies que sobreviveram até esse período perduraram até o final do experimento.

Tabela 8 – Porcentagem de espécies sobreviventes em relação ao tratamento utilizado.

Espécie x Tratamento	Sobrevivência %					Média por espécie	Desvio Padrão por espécie
	T1	T2	T3	T4	T5		
Pau-de-óleo	100	100	100	95	100	99	2
Gonçalo-alves	100	100	95	95	100	98	3
Canafístula	100	100	100	100	100	100	0
Ipê-branco	90	85	75	95	75	84	9
Média por tratamento	97,5	96,25	92,5	96,25	93,75	-	-
Desvio Padrão por tratamento	5	8	12	3	13	-	-

7.2 INCREMENTO DE ALTURA E DIÂMETRO DO COLETO

Para determinação do incremento de altura e diâmetro em cada uma das coletas biométricas foram considerados os valores médios absolutos de cada espécie. Os gráficos referentes aos valores obtidos são apresentados nas Figuras 25 a 32. Notou-se certa linearidade nos valores apresentados em relação aos tratamentos mostrando o desenvolvimento progressivo das espécies.

Destaca-se que para a espécie A (Figura 29), o maior valor encontrado para altura (H), foi de 18,48cm aos 150 dias no Tratamento 5, o qual possuía a maior quantidade de lodo. Analisando o mesmo período de coleta, para a espécie C (Figuras 27 e 31), os maiores valores tanto para DC quanto para H, o quais foram de 6,04mm e 28,28cm, respectivamente, aos 150 dias, ocorreram no Tratamento 4.

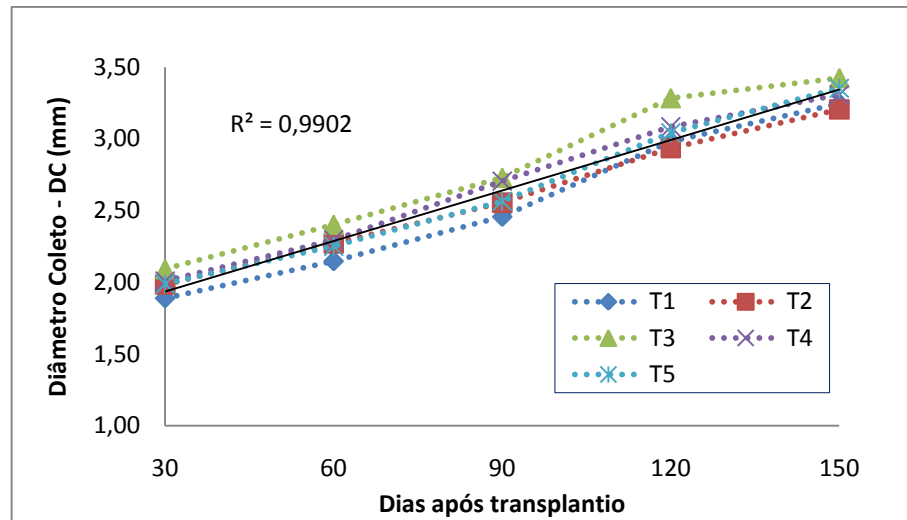


Figura 25 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie A (Pau-de-óleo), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

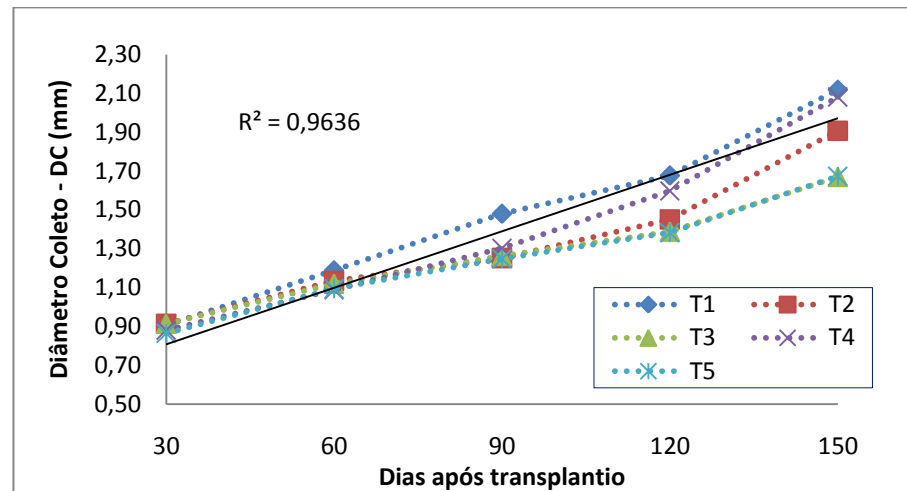


Figura 26 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie B (Gonçalo-alves), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

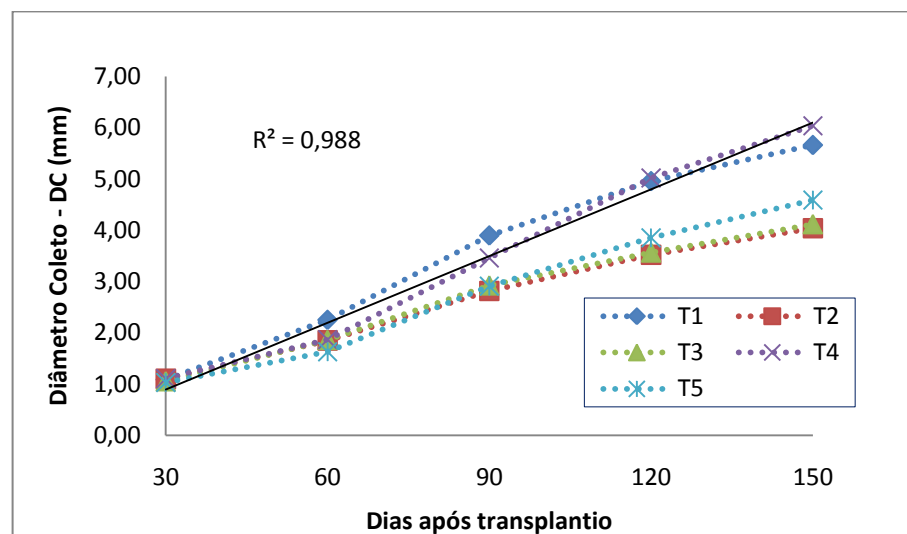


Figura 27 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie C (Canafístula), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

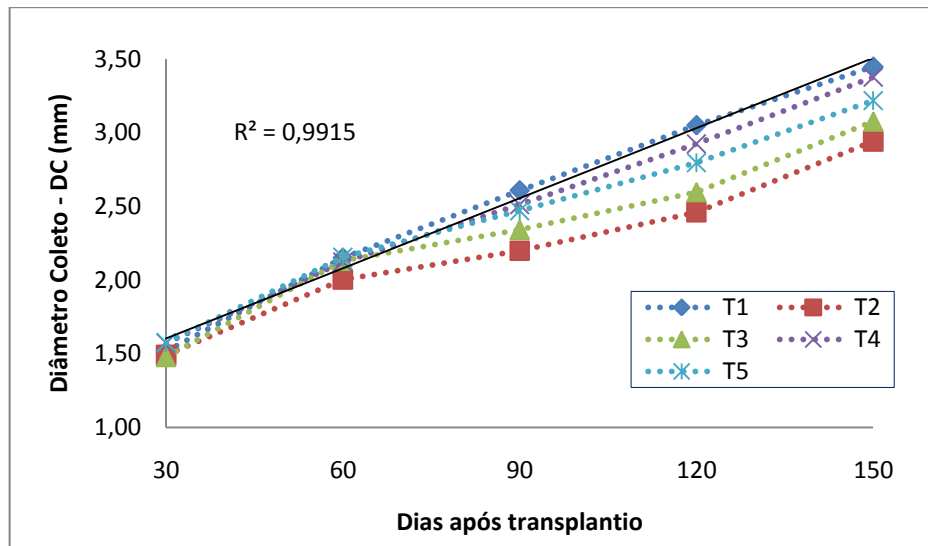


Figura 28 – Diâmetro do coleto (DC) na espécie D (Ipê-branco), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

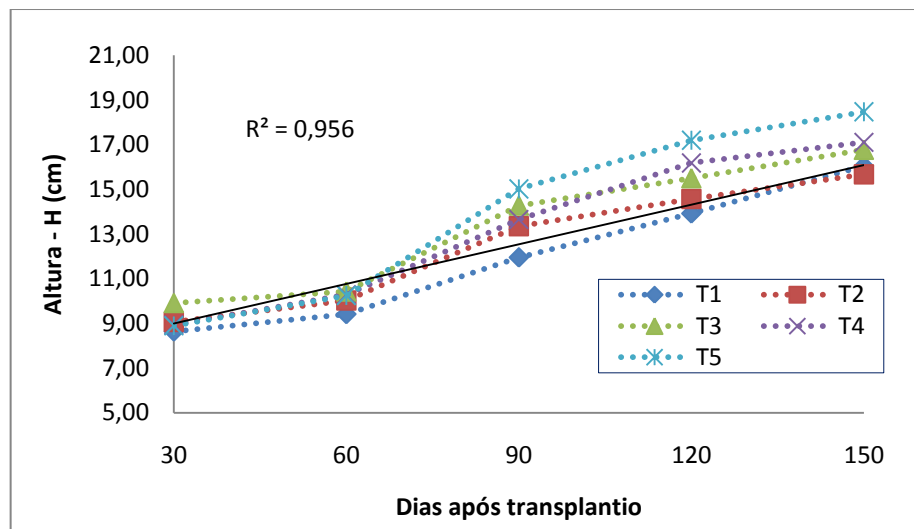


Figura 29 – Altura (H) na espécie A (Pau-de-óleo), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

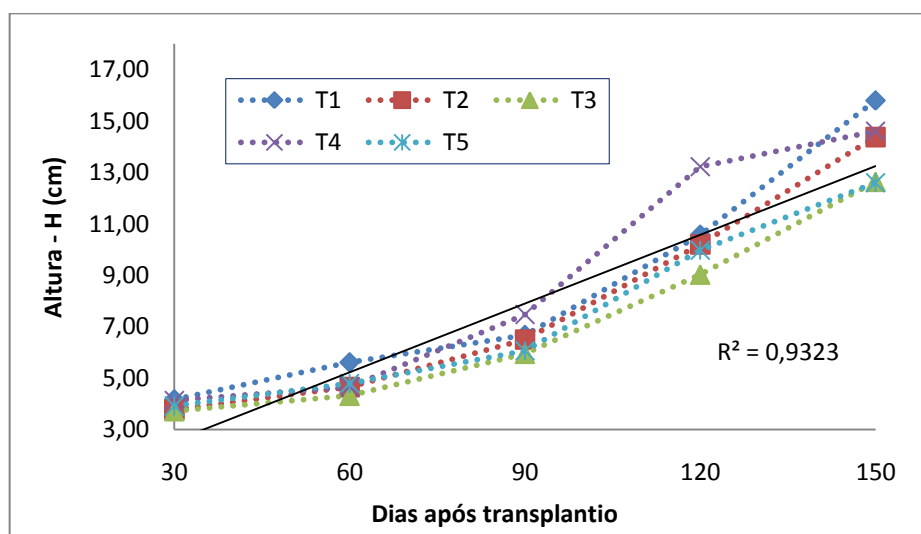


Figura 30 – Altura (H) na espécie B (Gonçalo-alves), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

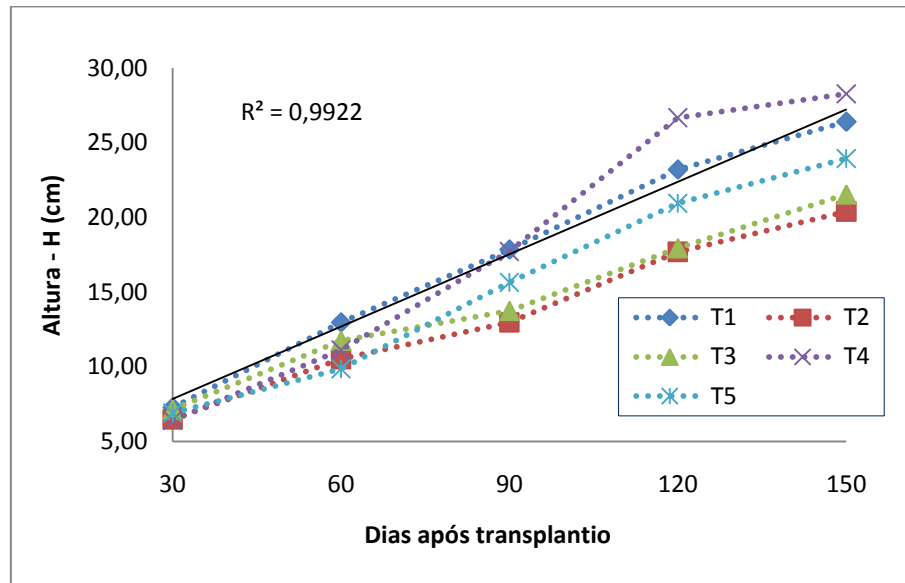


Figura 31 – Altura (H) na espécie C (Canafístula), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

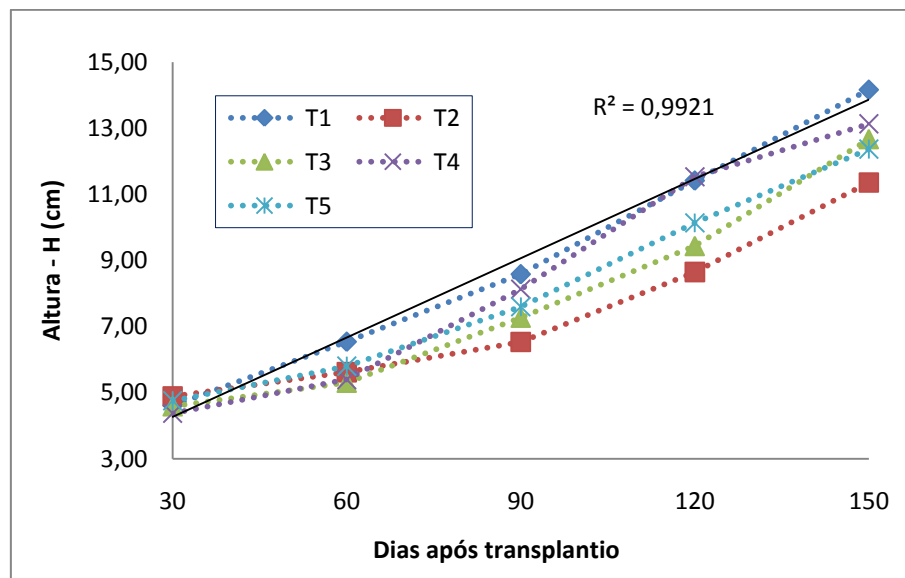


Figura 32 – Altura (H) na espécie D (Ipê-branco), em cada período de coleta para cada um dos tratamentos utilizados no experimento.

Carneiro (1995) destacou a importância da altura e do diâmetro do coleto na sobrevivência e desenvolvimento das plantas após o plantio em campo. Observa ainda que há limites no crescimento em altura das mudas no viveiro, acima e abaixo dos quais o desempenho a campo não é satisfatório.

Segundo Sturion, Graça e Antunes (2000), as dimensões adequadas para plantio são de 15 a 25 cm de altura e diâmetro do coleto mínimo de 2,5 mm. Ressaltaram que os recipientes que possam impedir o adequado desenvolvimento do sistema radicular das mudas, como sacos plásticos, devem ser totalmente retirados por ocasião do plantio. Cabe destacar que essa definição dependerá das características das espécies a serem cultivadas, pois esses

estudos geralmente para as espécies *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp.*, as quais apresentam rápido desenvolvimento. Observou-se no presente estudo que para a espécie B (Gonçalo-alves), o maior valor para DC foi 2,12 mm e para a Espécie D a maior altura obtida foi 14,17 cm ao final do experimento.

Na Tabela 9 é apresentada a Análise de Variância aplicada para DC e H, seguido da Tabela 10, onde é apresentado o resultado do Teste Tukey a 5% de probabilidade. São apresentados também os resultados referentes ao Grau de Liberdade (GL) e Coeficiente de Variação (CV). As tabelas resultantes da análise ANOVA são apresentadas no Apêndice A.

Analisando para cada uma das espécies estudadas, em relação aos tratamentos a que foram submetidas, em cada uma das medições observou-se no presente estudo variação significativa após os 60 dias de plantio. A espécie C não apresentou nenhuma variabilidade significativa entre os resultados encontrados para DC e H a 5% de probabilidade.

Conforme apresentado na Tabela 10, para espécie A, em relação ao DC aos 90 dias observou-se que os valores encontrados para o Tratamento 1, em que não houve aplicação do lodo, foram similares aos Tratamentos 2, 4 e 5. Ainda para a mesma espécie, os resultados para altura (H) aos 120, submetidas ao teste Tukey, observou-se somente as médias dos Tratamentos T1 e o T5 (em que toda a terra foi substituída por lodo), não apresentaram similaridade.

A espécie B apresentou diferença significativa somente em relação ao DC aos 90 e 150 dias. Destaca-se que aos 150 dias, apesar do resultado da ANOVA mostrar que houve variação, o teste Tukey não detectou diferenças entre os tratamentos a que as plantas foram submetidas. Para a espécie D, em relação ao DC, aos 120 dias a média encontrada para o Tratamento 1 diferiu apenas da média das plantas submetidas ao T2 (com 18,75% de lodo), sendo similares aos demais tratamentos em que as dosagens de lodo foram maiores. O mesmo ocorreu para as médias da altura (H), na mesma espécie aos 150 dias

Tabela 9 - Resumo da análise de variância dos dados diâmetro do coleto (DC) e altura (H) das mudas em relação aos tratamentos, aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

FV	QUADRADO MÉDIO														
	GL	DC	H	GL	DC	H	GL	DC	H	GL	DC	H	GL	DC	H
	30 dias			60 dias			90 dias			120 dias			150 dias		
Espécie A															
Tratamento	4	0,021 ^{ns}	0,933 ^{ns}	4	0,033 ^{**}	0,641 ^{ns}	4	0,050 [*]	5,24 ^{ns}	4	0,072 ^{ns}	6,69 [*]	4	0,030 ^{ns}	4,69 ^{ns}
Resíduo	15	0,125	0,458	15	0,006	0,704	15	0,015	1,71	15	0,026	1,48	15	0,044	1,744
CV (%)		5,61	7,44		3,51	8,32		4,77	9,61		5,277	7,86		6,4	7,86
Espécie B															
Tratamento	4	0,001 ^{ns}	0,166 ^{ns}	4	0,006 ^{ns}	0,950 ^{**}	4	0,038 [*]	1,604 ^{ns}	4	0,070 ^{ns}	9,696 ^{ns}	4	0,186 [*]	7,567 ^{ns}
Resíduo	15	0,002	0,161	15	0,003	0,082	15	0,007	0,69	15	0,031	4,263	15	0,046	3,075
CV (%)		5,2	10,19		5,21	5,97		6,8	12,78		11,80	19,52		11,43	12,53
Espécie C															
Tratamento	4	0,004 ^{ns}	0,597 ^{ns}	4	0,201 ^{**}	5,657 ^{ns}	4	0,863 ^{**}	19,893 ^{**}	4	2,237 ^{**}	56,805 ^{**}	4	3,328 ^{**}	42,934 ^{**}
Resíduo	15	0,003	0,651	15	0,015	2,269	15	0,597	3,427	15	0,167	5,933	15	0,259	5,499
CV (%)		5,51	11,78		6,50	13,39		7,63	11,87		9,79	11,43		10,42	9,72
Espécie D															
Tratamento	4	0,008 ^{ns}	0,110 ^{ns}	4	0,022 ^{ns}	0,910 [*]	4	0,101 ^{ns}	2,884 ^{ns}	4	0,245 [*]	7,402 ^{ns}	4	0,198 ^{ns}	5,074 [*]
Resíduo	15	0,006	0,261	15	0,017	0,283	15	0,034	1,469	15	0,070	2,961	15	0,130	1,647
CV (%)		5,40	11,05		6,31	9,33		7,58	15,89		9,59	16,85		11,26	10,10

FV: Fator de variação; GL: Grau de liberdade; DC: Diâmetro do coleto; H: Altura; CV: Coeficiente de variação

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} não significativo

Tabela 10 - Médias do diâmetro do colete (DC) e altura (H) aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos	DC					H				
	30	60	90	120	150	30	60	90	120	150
Espécie A										
T1	1,89	2,15	2,46 b	2,98	3,25	8,64	9,42	11,96	13,93 b	16,05
T2	1,98	2,27	2,56 ab	2,93	3,21	9,08	10,03	13,35	14,58 ab	15,68
T3	2,09	2,40	2,73 a	3,28	3,42	9,91	10,43	14,28	15,50 ab	16,78
T4	2,01	2,30	2,71 ab	3,08	3,31	8,93	10,29	13,66	16,18 ab	17,11
T5	1,99	2,25	2,57 ab	3,04	3,35	8,90	10,25	15,03	17,20 a	18,48
Espécie B										
T1	0,91	1,19	1,48 a	1,68	2,12 a	4,17	5,61	6,68	10,58	15,80
T2	0,91	1,13	1,25 b	1,45	1,91 a	3,78	4,65	6,50	10,20	14,38
T3	0,91	1,12	1,26 b	1,39	1,67 a	3,72	4,32	5,95	9,03	12,63
T4	0,88	1,09	1,30 ab	1,60	2,08 a	4,13	4,66	7,47	13,22	14,61
T5	0,86	1,09	1,25 b	1,38	1,67 a	3,92	4,79	6,07	9,98	12,60
Espécie C										
T1	1,08	2,25	3,90	4,96	5,66	7,29	12,98	17,85	23,20	26,40
T2	1,10	1,85	2,82	3,52	4,04	6,49	10,53	12,98	17,70	20,40
T3	1,05	1,86	2,92	3,56	4,12	7,15	11,75	13,75	17,95	21,55
T4	1,10	1,87	3,46	5,02	6,04	6,42	11,13	17,73	26,68	28,28
T5	1,03	1,63	2,91	3,85	4,59	6,91	9,88	15,65	20,95	23,95
Espécie D										
T1	1,52	2,15	2,61	3,05 a	3,45	4,61	6,54 a	8,58	11,42	14,17 a
T2	1,49	2,00	2,20	2,46 b	2,94	4,89	5,62 ab	6,53	8,65	11,35 b
T3	1,48	2,13	2,34	2,60 ab	3,08	4,59	5,30 b	7,27	9,43	12,67 ab
T4	1,57	2,12	2,51	2,92 ab	3,38	4,37	5,39 ab	8,13	11,53	13,13 ab
T5	1,58	2,16	2,47	2,80 ab	3,22	4,75	5,80 ab	7,60	10,13	12,37 ab

Nas colunas, as médias seguidas de mesma letra, para cada espécie separadamente, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

7.3 TAXA DE CRESCIMENTO

Os valores referentes às Taxas de crescimentos para DC são apresentados nas Figuras 33 a 37.

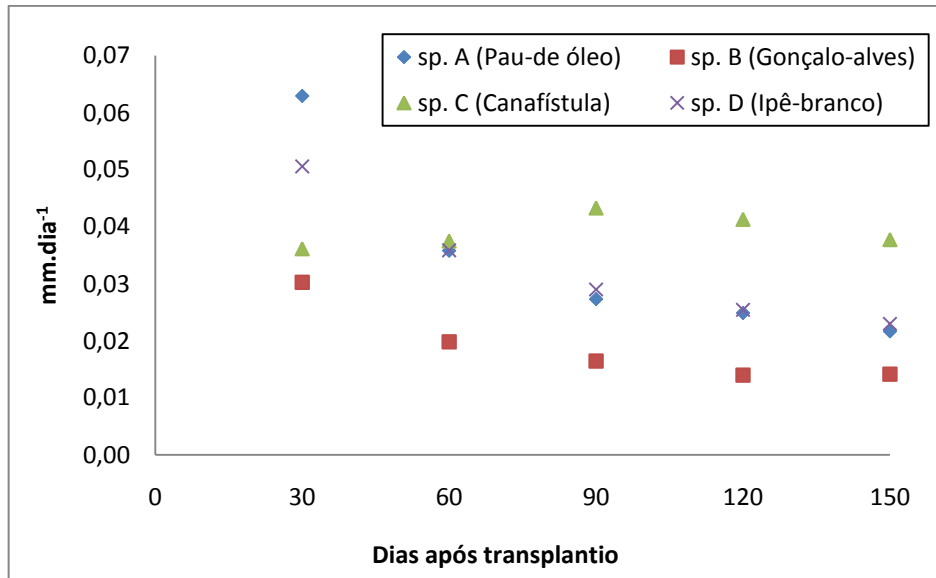


Figura 33 – Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 1 (sem adição de lodo utilizado como controle), em relação aos períodos de coleta.

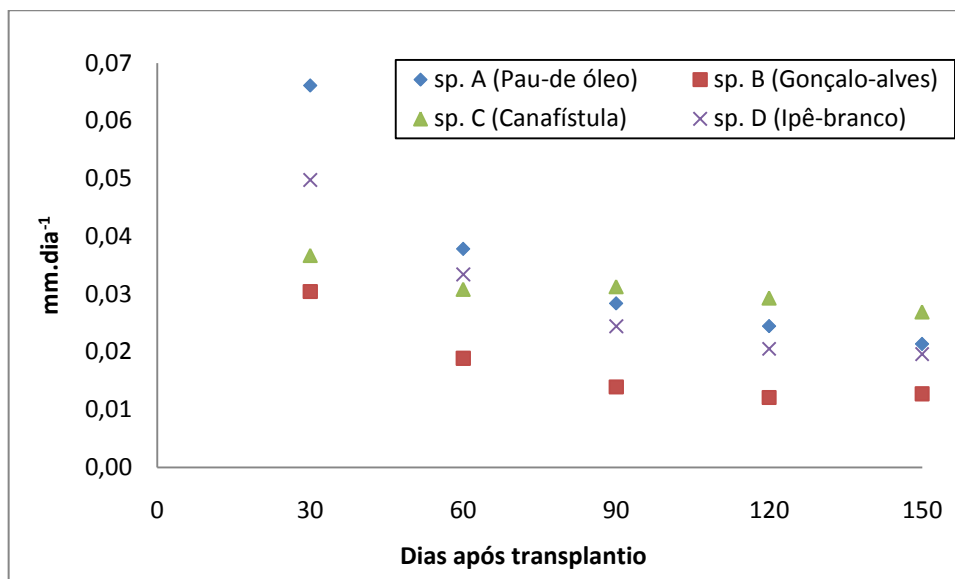


Figura 34 – Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 2 (com 18,75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

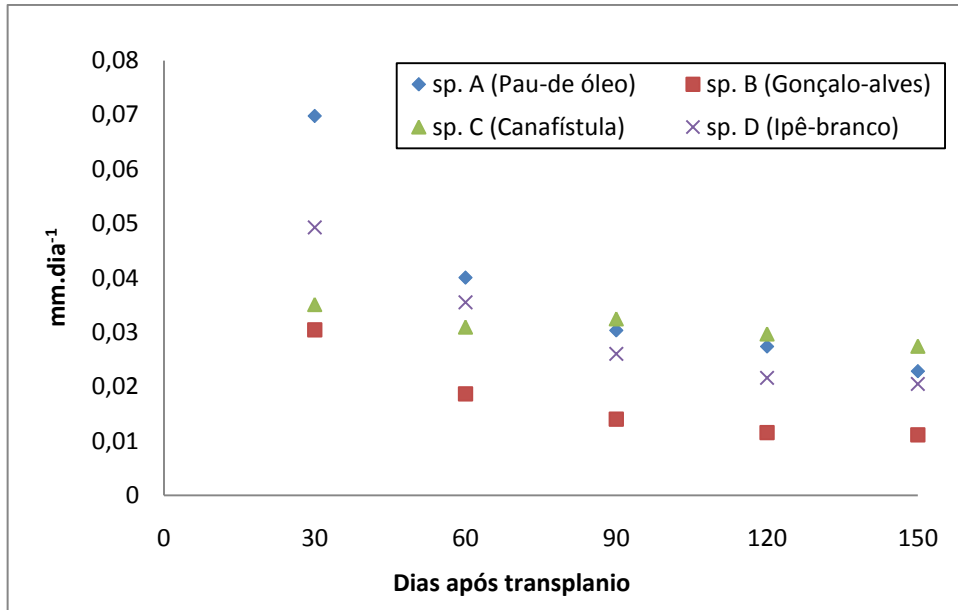


Figura 35 - Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 3 (com 37,5% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

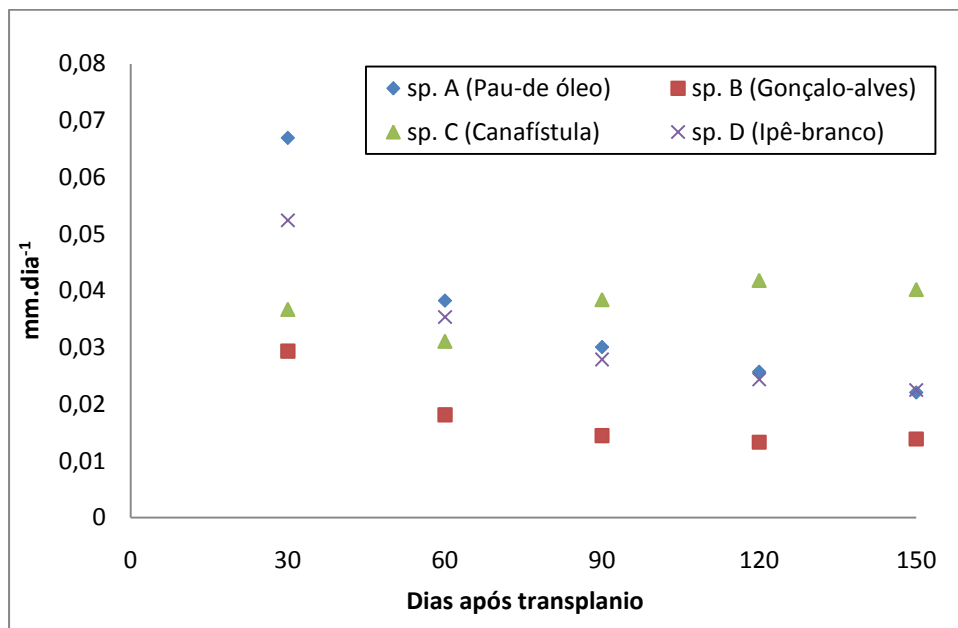


Figura 36 - Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 4 (com 56,25% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

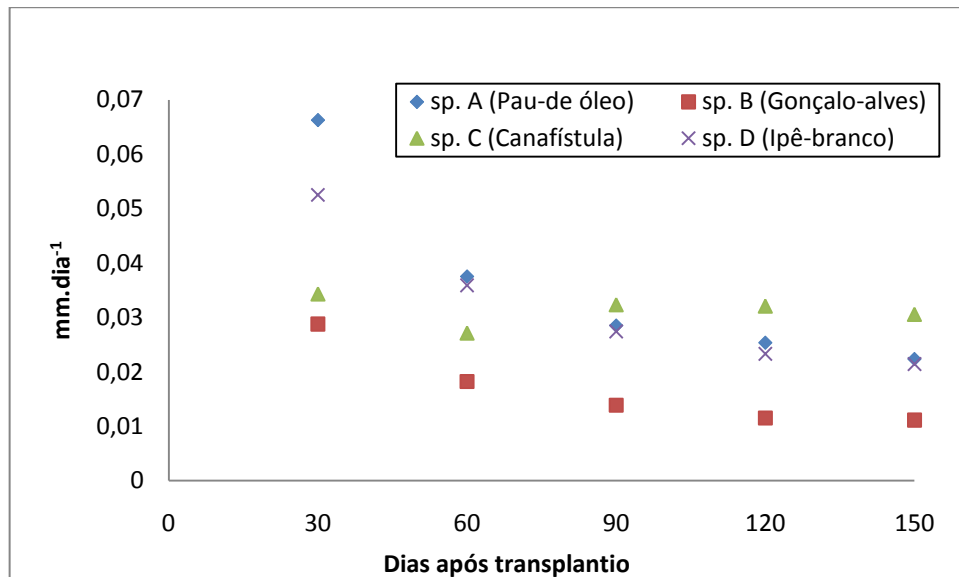


Figura 37 - Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (DC) das plantas no Tratamento 5 (com 75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

Para a maioria das espécies, a taxa de crescimento tende a diminuir com o passar do tempo. Nas Figuras apresentadas, tanto para o aumento do diâmetro do coleto como para altura, observa-se que as taxas entre as espécies apresentaram-se diferentes entre si. Isso ocorreu devido às características de cada espécie utilizada no experimento. Para as espécies A, B e D as taxas de crescimentos de DC permaneceram similares entre os Tratamentos a que foram submetidas. Já para a espécie C os valores referentes às taxas de crescimento do DC sofreram aumento após os 90 dias de cultivo em todos os Tratamentos.

Os valores referentes às Taxas de crescimentos para H são apresentados nas Figuras 38 a 42.

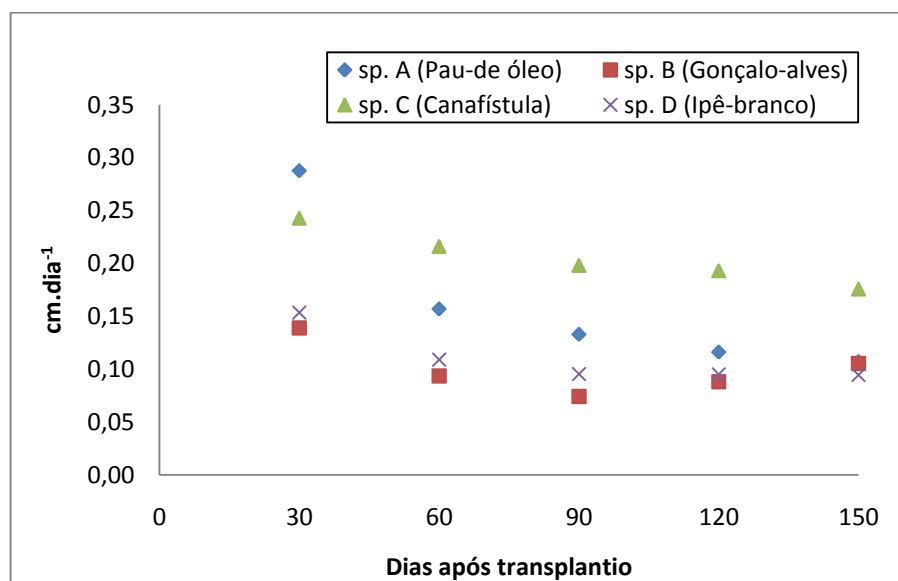


Figura 38 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 1 (sem aplicação do lodo), em relação aos períodos de coleta.

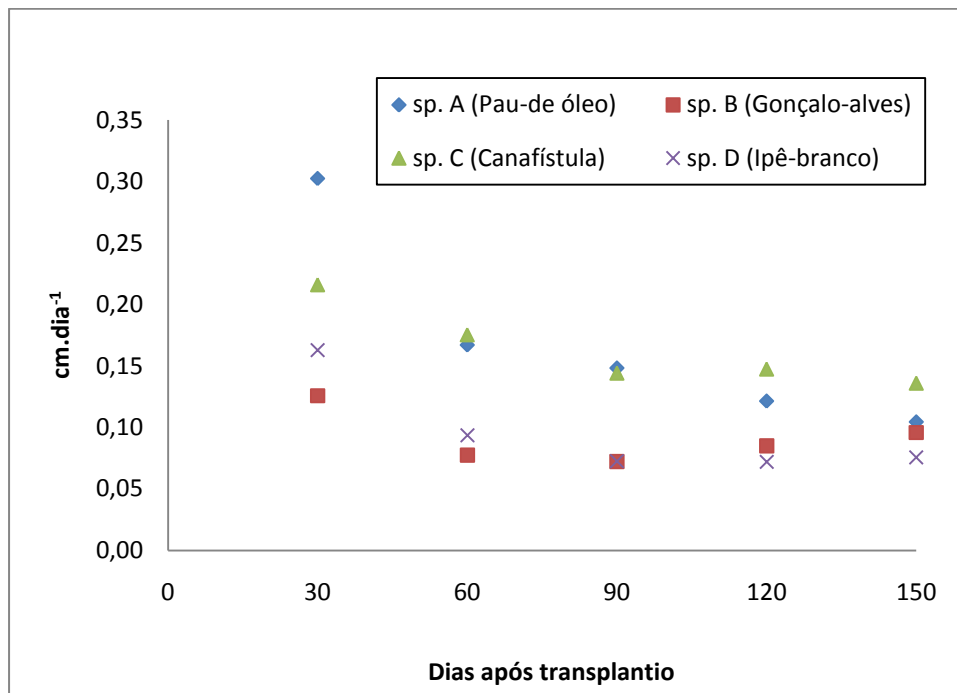


Figura 39 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 2 (com 18,75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

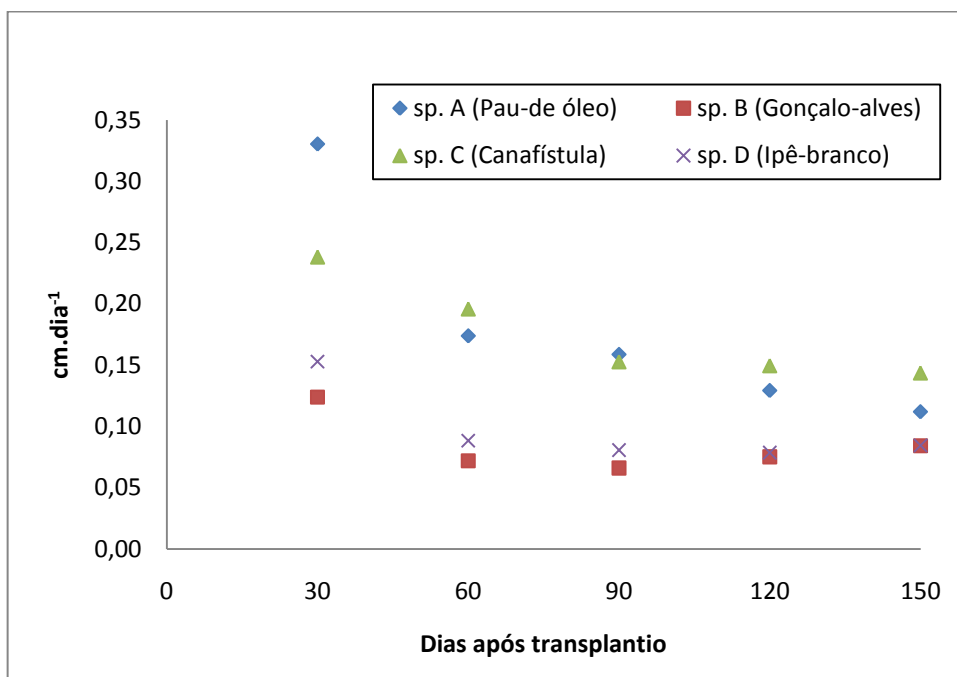


Figura 40 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 3 (com 37,5% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

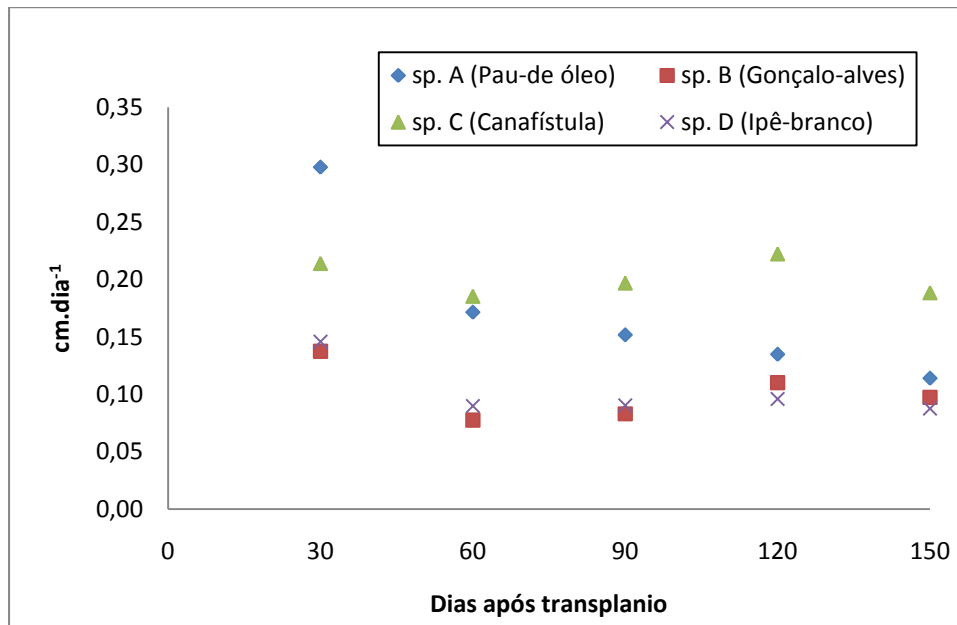


Figura 41 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 4 (com 56,25% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

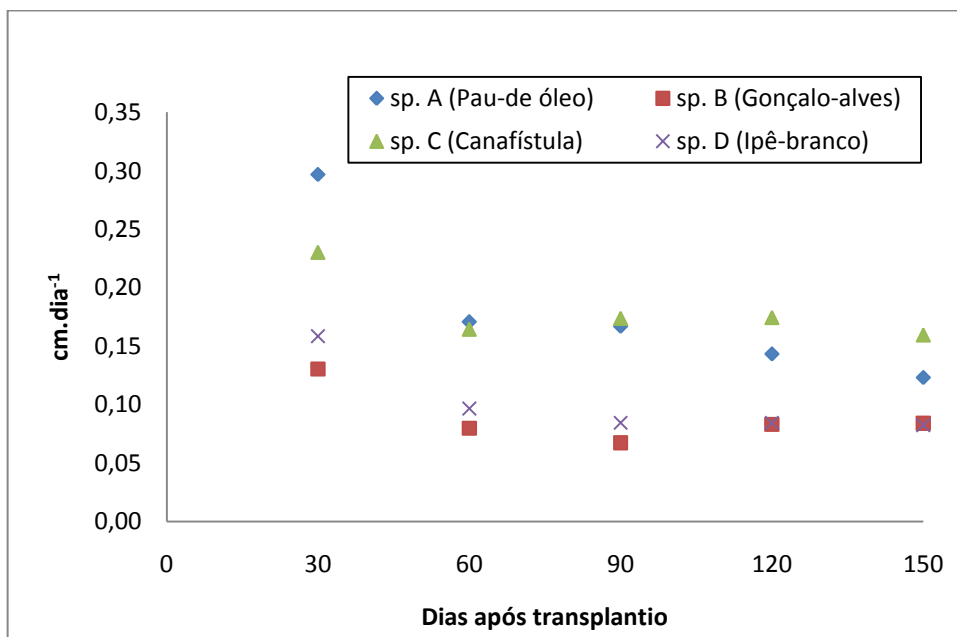


Figura 42 – Taxa de crescimento da altura (H) das plantas no Tratamento 5 (com 75% de lodo), em relação aos períodos de coleta.

Nos gráficos observou-se comportamento que pode ser descrito como “J-invertido”, mostrando que as maiores taxas foram encontradas no início do experimento. Em relação à taxa de crescimento em altura (H) para espécie A (Figura 42), observa-se que foi maior no Tratamento 5 aos 90, 120 e 150 dias. Destaca-se para a espécie B, aos 120 dias, a maior taxa de crescimento em altura para o Tratamento 4 (Figura 41). Pode-se observar ainda na espécie B, que as taxas de crescimento para altura tiveram aumento aos 120 e 150 dias nos Tratamentos 1, 2 e 3.

A espécie C apresentou menor simetria em relação às taxas de crescimento para DC e H, destacando as taxas de crescimento aos 120 e 150 dias maiores no tratamento T4. Para DC o maior valor foi encontrado no T1, sem aplicação do resíduo. Para a espécie D, as taxas de crescimento para DC apresentaram pequenas variações em relação aos tratamentos e aos períodos de coleta, destaca-se que para H aos 120 dias, os valores apresentados no T4 foram similares ao T1, sendo de $0,10 \text{ cm.d}^{-1}$ (Figuras 43 e 46).

7.4 CLOROFILA

O método de medição do teor de clorofila através de medidores portáteis, como o utilizado no estudo, representa uma alternativa rápida e econômica, pois não requer a destruição das folhas e desta forma não interfere em análises posteriores (JESUS; MARENCO, 2008). Essa análise é de grande importância, pois a quantidade de clorofila nas plantas está relacionada com a eficiência fotossintética e, conseqüentemente com seu crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes. Os valores referentes às medições de clorofila nas plantas são apresentados na Figura 43.

Observou-se que as plantas das espécies A e B apresentaram os maiores valores encontrados para clorofila quando submetidas ao Tratamento 1. Já para as plantas da espécie D o menor valor encontrado foi de 24,83 SPAD para o Tratamento 5, em que houve a maior aplicação de lodo. Apesar disso, não se pode concluir que a aplicação crescente do resíduo afetou significativamente a produção de clorofila pela planta, pois não nota-se uma diminuição linear nos valores encontrados em relação às dosagens de lodo aplicadas. Para a espécie D nota-se uma pequena variação do teor de clorofila nos Tratamentos de 1 a 4, sendo o menor valor encontrado de 24,83 SPAD, no Tratamento 5.

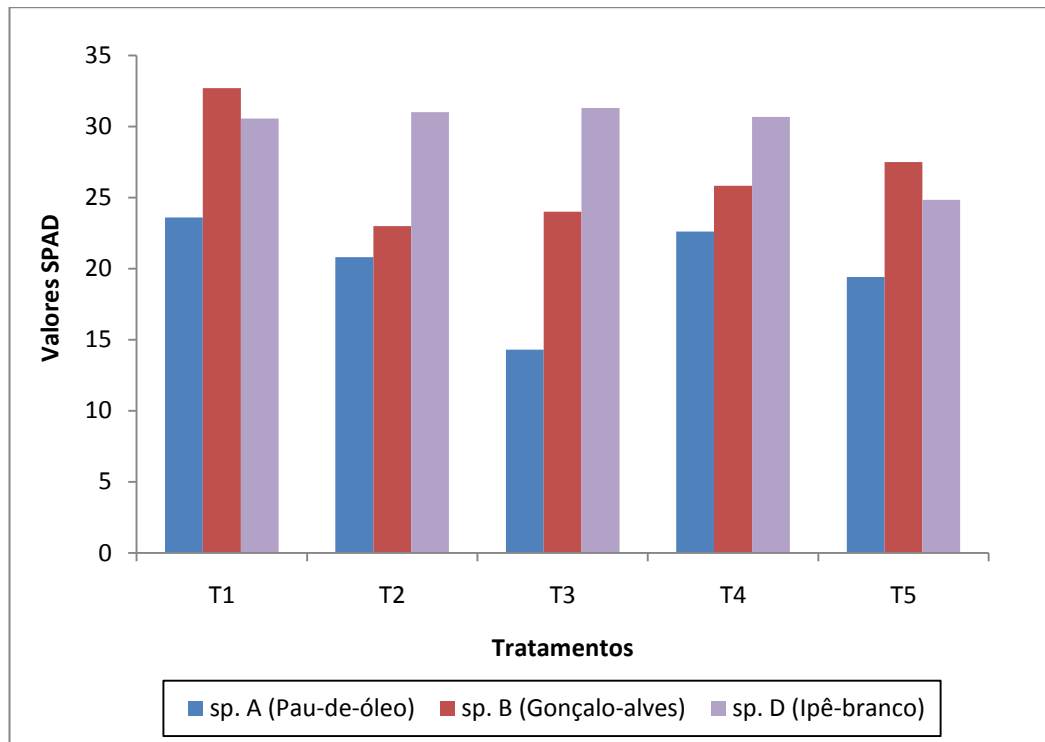


Figura 43 – Resultado da análise de clorofila, através do medidor portátil SPAD-502, nas folhas das espécies A, B e C.

7.5 COMPRIMENTO RADICULAR

Os resultados referentes a análise radicular das espécies utilizadas no estudo são apresentados na Figura 44. Em relação às espécies de plantas estudadas a espécie C (Canafístula) foi a que apresentou o maior desenvolvimento radicular quando comparada as demais espécies, independente do Tratamento a que foi submetida.

Ao se comparar o desenvolvimento radicular das mudas em relação aos Tratamentos T1 (sem aplicação de lodo) e T5, observou-se que a substituição completa da terra por lodo, não interferiu no desenvolvimento radicular das espécies analisadas. Somente na espécie C (Canafístula), o valor obtido no T5 foi menor quando comparado ao T1, sendo, respectivamente, de 28,48cm e 32,08cm. Para a mesma espécie, destaca-se que as plantas que foram submetidas ao Tratamento 4, com 56,25% de lodo apresentaram o maior comprimento radicular (32,90 cm). Fonseca (1988) apud Gomes (2001) destacaram que para um padrão de qualidade de mudas e sucesso das espécies em campo, o sistema radicular da planta deve estar bem desenvolvido, não enovelados, com raiz principal reta, raízes secundárias bem distribuídas, com boa agregação do substrato e uma boa rigidez da haste.

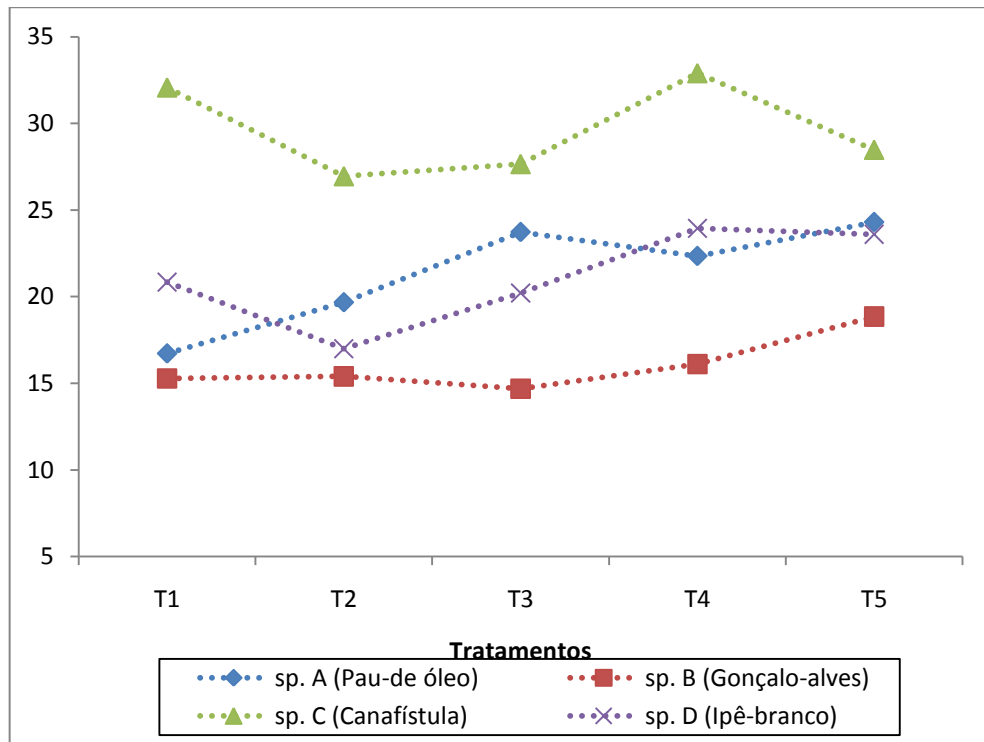


Figura 44 – Resultado da análise do comprimento radicular (R) das espécies utilizadas no estudo. Análise realizada após os 150 dias de cultivo.

7.6 BIOMASSA

Os resultados dos pesos de matéria verde e matéria seca da parte aérea (PMSPA), raiz (PMSR) e peso da matéria seca total (PMST) são apresentados na Tabela 11. Carneiro (1995) destacou que o peso da matéria seca radicular tem valor menor, pois apesar de existirem nas mudas um grande número de raízes finas, com alta quantidade de pelos absorventes, o valor de medição do seu peso é quase desprezível. Destacou ainda que esse parâmetro não deva ser analisado isoladamente. Tal fato não foi verificado no trabalho em questão, pois as plantas que apresentaram os menores pesos também obtiveram o menor peso radicular.

Analisando a espécie A, observou-se que a maior quantidade média de biomassa total foi obtida nas plantas que foram submetidas ao Tratamento 5, com a maior dose de lodo, obtendo-se o valor de 1,92 g. O que demonstra que para essa espécie a aplicação do resíduo contribuiu para o aumento de biomassa da. Para a espécie C, a maior quantidade de biomassa foi obtida nas mudas submetidas ao Tratamento 4, sendo de 7,23g.

Carneiro (1995) ressaltou que os maiores valores para a matéria seca da raiz são indicadores de maior porcentagem de sobrevivência em campo, pois a presença de raízes fibrosas permite maior capacidade de as mesmas manterem-se em crescimento e de formação de raízes novas, mais ativas, possibilitando maior resistência em condições extremas. A maior

porcentagem de raízes encontradas, quando se relaciona o valor obtido pela matéria seca radicular em relação ao peso da matéria seca total, foi na espécie D.

Tabela 11 – Peso verde e peso seco (parte aérea e raiz) das espécies utilizadas no estudo em cada um dos Tratamentos.

Tratamentos	Peso Verde (g)		Peso Seco (g)		Porcentagem de Raízes (%)*	PMST (g)
	Aérea	Raiz	Aérea	Raiz		
Espécie A						
T1	2,20	2,34	0,91	0,77	45,63	1,68
T2	1,93	2,38	0,83	0,81	49,39	1,63
T3	1,62	2,49	0,70	0,76	52,03	1,46
T4	2,07	2,56	0,92	0,82	47,20	1,74
T5	2,19	2,77	0,99	0,94	48,65	1,92
Espécie B						
T1	1,96	0,85	0,50	0,21	29,95	0,71
T2	1,41	0,63	0,34	0,16	31,27	0,50
T3	1,12	0,57	0,27	0,14	34,92	0,41
T4	1,62	1,29	0,46	0,31	40,36	0,78
T5	1,00	0,75	0,28	0,16	36,09	0,44
Espécie C						
T1	8,38	6,42	3,23	1,78	35,54	5,01
T2	4,20	3,02	1,54	0,64	29,31	2,18
T3	4,43	3,20	1,62	0,65	28,73	2,27
T4	10,95	9,64	4,87	2,25	31,61	7,23
T5	5,86	5,23	2,57	1,06	29,21	3,63
Espécie D						
T1	2,83	3,42	0,69	0,72	51,10	1,42
T2	1,56	1,66	0,43	0,30	41,40	0,73
T3	1,90	2,01	0,52	0,36	41,05	0,88
T4	2,33	4,10	0,69	0,83	54,71	1,52
T5	1,62	2,83	0,43	0,46	51,77	0,88

* A porcentagem de raízes é a participação, em peso, do sistema radicular sobre o peso total das mudas (PMST).

Com base nos valores obtidos para peso seco e peso verde, foram calculadas suas porcentagens, conforme apresentado na Tabela 12. Essa porcentagem foi calculada separadamente para parte aérea e raiz, considerando o valor obtido para peso seco em relação ao valor do peso verde. Segundo Carneiro (1995), essa análise simula condições de estiação em campo, portanto as mudas que apresentam maior resistência à secagem artificial podem oferecer maior probabilidade de sobrevivência em condições adversas.

Tabela 12 – Porcentagem de redução de peso verde a peso seco (parte aérea e raiz).

Tratamento	Redução de peso %	
	Aérea	Raiz
Espécie A		
T1	58,47	67,24
T2	57,06	66,11
T3	56,64	69,40
T4	55,59	67,89
T5	54,89	66,15
Espécie B		
T1	74,49	74,70
T2	75,52	74,96
T3	75,94	74,88
T4	71,26	75,62
T5	71,57	78,59
Espécie C		
T1	61,46	72,24
T2	63,25	78,84
T3	63,40	79,56
T4	55,48	76,63
T5	56,12	79,75
Espécie D		
T1	75,52	78,85
T2	72,74	81,81
T3	72,78	82,03
T4	70,36	79,67
T5	73,70	83,82

Destaca-se que a espécie D (Ipê-branco) apresentou as maiores porcentagens de redução, o que pode indicar uma maior vulnerabilidade dessa espécie em campo. Já a espécie A (Pau-de-óleo) obteve as menores taxas de redução, podendo demonstrar maior desempenho em condições adversas em campo.

Observou-se que em alguns casos, quanto maior a quantidade de lodo menor a porcentagem de redução de peso seco na parte aérea e maior na raiz. Nas Figuras 45, 46, 47, 48 são apresentadas as porcentagens de redução de peso de matéria seca da parte aérea em relação à porcentagem de redução peso seco das raízes.

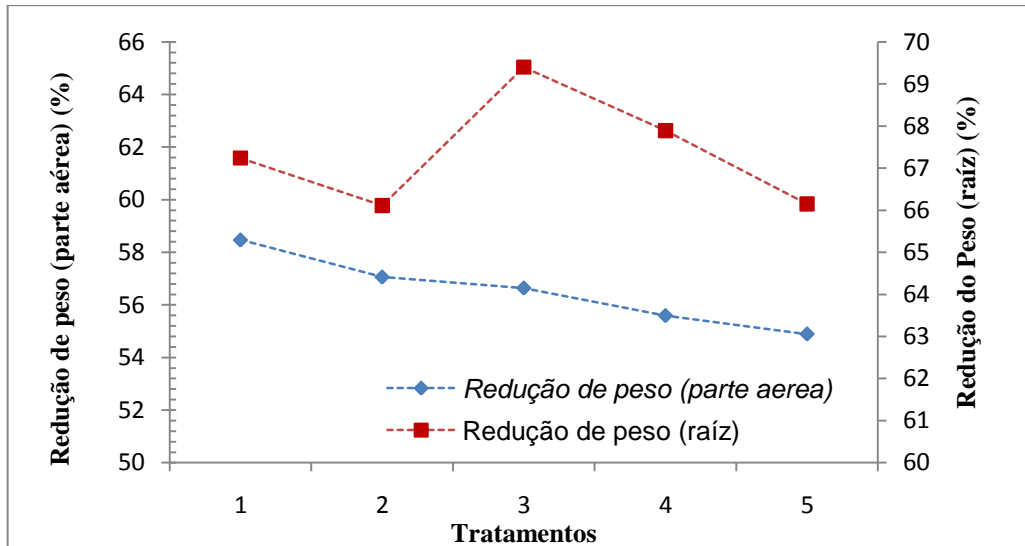


Figura 45 – Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie A (Pau-de-óleo) em cada um dos tratamentos.

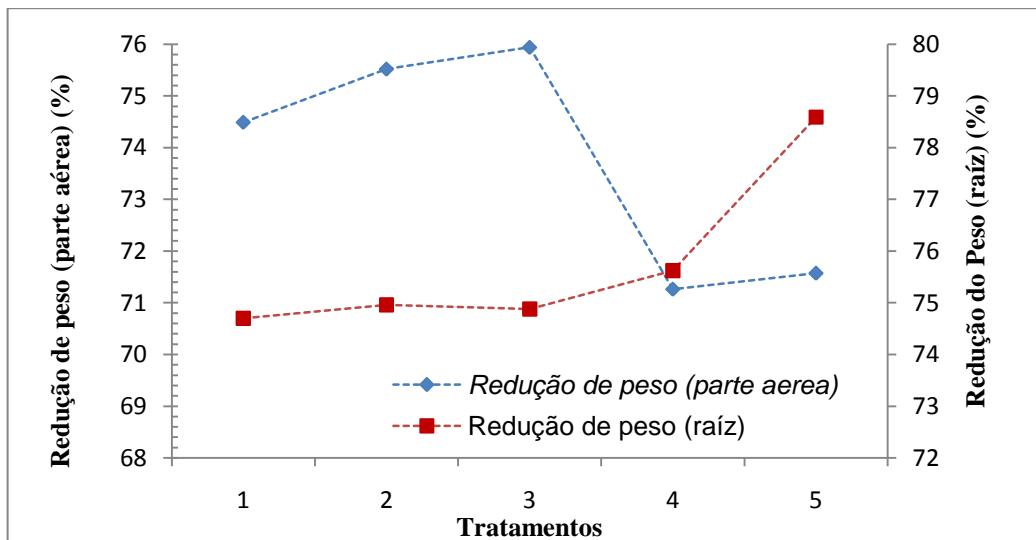


Figura 46 - Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie B (Gonçalo-alves) em cada um dos tratamentos.

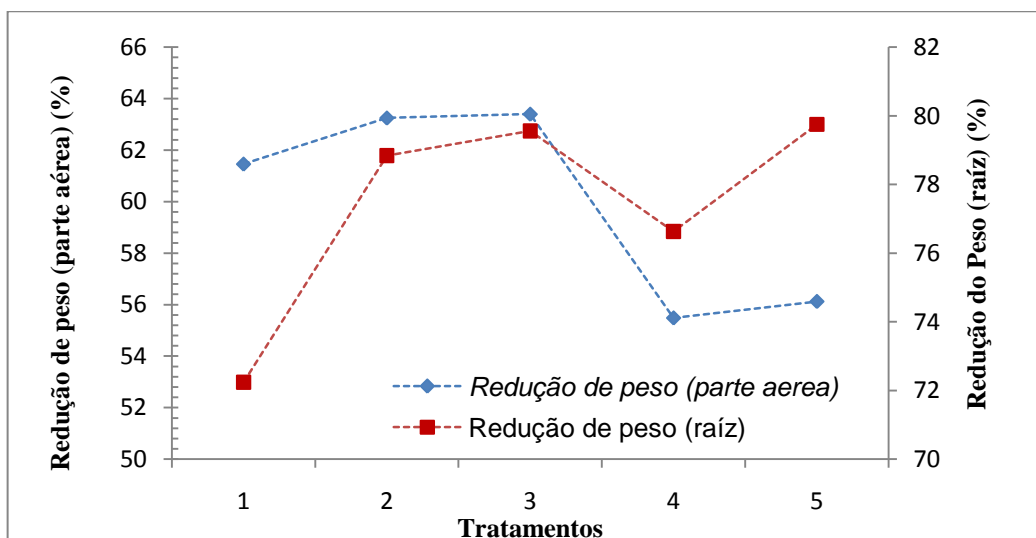


Figura 47 - Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie C (Canafístula) em cada um dos tratamentos.

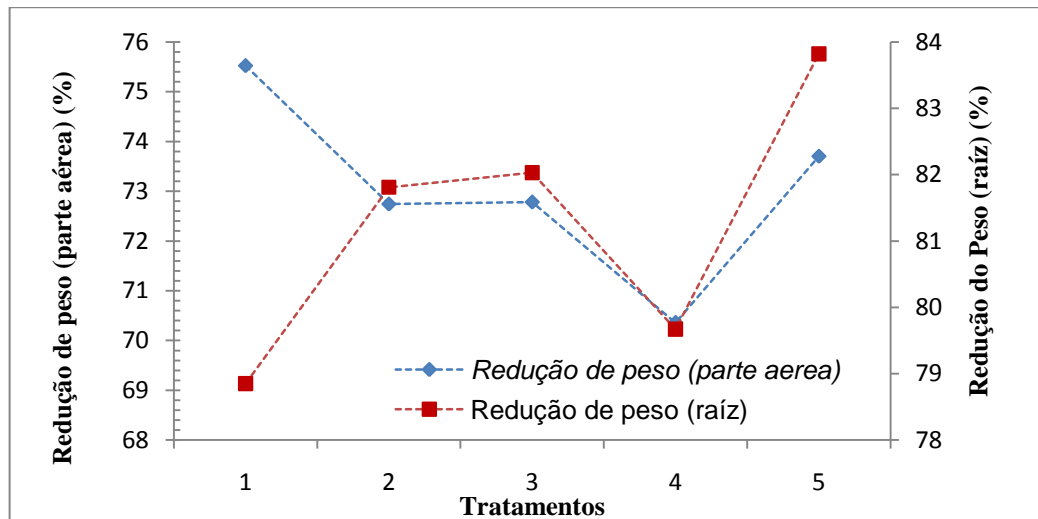


Figura 48 - Porcentagem de redução de peso seco da parte aérea em relação à porcentagem de redução de peso seco das raízes, para a espécie D (Ipê-branco) em cada um dos tratamentos.

7.7 ÍNDICES DE QUALIDADE

De acordo com Carneiro (1995), o padrão de qualidade das mudas pode variar entre as espécies de plantas e dentro de uma mesma espécie dependendo do local. Os padrões de qualidade objetivam obter referências das características das plantas após o plantio em campo, evidenciando características que as plantas possam oferecer, como resistência às condições adversas.

Os parâmetros de qualidade podem ser influenciados ainda pelas técnicas de produção, os recipientes (forma e dimensão) em que as plantas são cultivadas, também podem influenciar (CARNEIRO, 1995). Os parâmetros morfológicos são comumente usados para determinação da qualidade de mudas florestais devido à sua facilidade de medição e visualização.

7.7.1 Relação da altura da parte aérea / diâmetro do Coleto (RHDC)

A relação altura / diâmetro do coleto expressa o equilíbrio de desenvolvimento das mudas, no viveiro, pois conjuga dois parâmetros, em apenas um só índice. Os valores referentes à RHDC são apresentados na Figura 49, na qual se observa que houve pouca variação em função dos tratamentos utilizados para uma mesma espécie de planta, sendo que o mesmo não ocorreu entre as espécies.

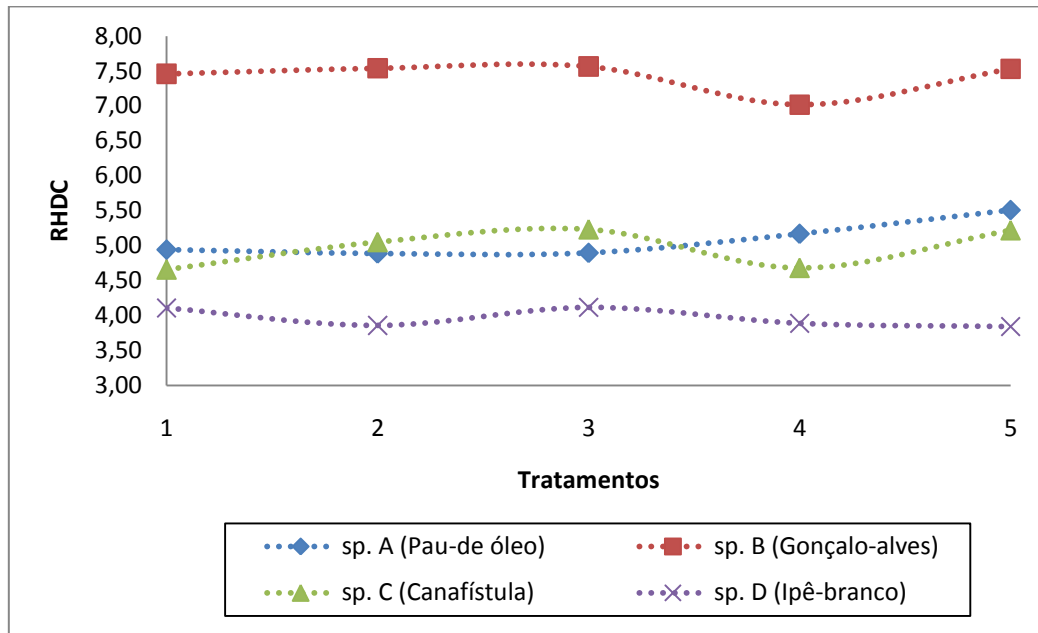


Figura 49 - Relação da altura parte aérea / diâmetro do coleto (RHDC) das espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos adotados.

Segundo Oliveira-Júnior (2009) a RHDC expressa o perfil morfológico da parte aérea. Ressalta que se o valor encontrado for elevado, indica um crescimento longitudinal em detrimento do crescimento lateral, influenciado pelo baixo diâmetro. Observou que se não houver aumento do DC pode comprometer o desenvolvimento da muda em campo. Por outro lado, um valor muito baixo de RHDC, pode refletir a formação de mudas em que o crescimento em altura é lento, comprometendo a competição no campo.

As plantas da espécie A apresentaram o maior valor para RHDC nas mudas submetidas ao T5, o que demonstra que essas plantas obtiveram um maior desenvolvimento em altura para esse tratamento. Para as espécies B e C, os valores mais baixos foram encontrados na mudas submetidas ao Tratamento 4, com 56,25% de lodo. Gomes, J. M. (2001) indicou que as plantas que apresentam os menores valores desta relação tem maior rusticidade, com maior possibilidade de sobrevivência após o plantio a campo. A RHDC pode refletir ainda o acúmulo de reservas, assegurando maior rusticidade e melhor fixação no solo, o que constitui mais um parâmetro usado para avaliar a qualidade de mudas florestais (STURION; ANTUNES, 2000). Com base na análise das Figuras, verificou-se que a espécie A teve um aumento dos valores em função da maior quantidade de lodo empregada, o que pode indicar uma menor probabilidade de sobrevivência em campo para essas mudas. Já em relação à espécie D, os diminuíram, demonstrando maior rusticidade nas mudas quando cultivadas com maiores proporções de lodo e maior chance de sobrevivência em campo.

Em relação às espécies estudadas, destaca-se que os maiores valores encontrados para RHDC foram observados na espécie B (Gonçalo-alves), sendo quase o dobro da espécie D, que não apresentou muita diferença entre as espécies A e C. O que demonstra que a espécie B apresentou maior desenvolvimento em altura do que em diâmetro do coleto. Para Reis et al. (2008), as mudas com baixo diâmetro de colo podem apresentar dificuldades de se manterem eretas após o plantio. O autor considera mudas com baixo diâmetro de colo e altura elevada inferiores às menores que possuem maior diâmetro de colo.

7.7.2 Relação entre altura parte aérea e peso da matéria seca da parte aérea (RHPMSPA)

Na Figura 50 são apresentados os resultados da relação entre a altura da parte aérea pelo e o peso da matéria seca da parte aérea (RHPMSPA).

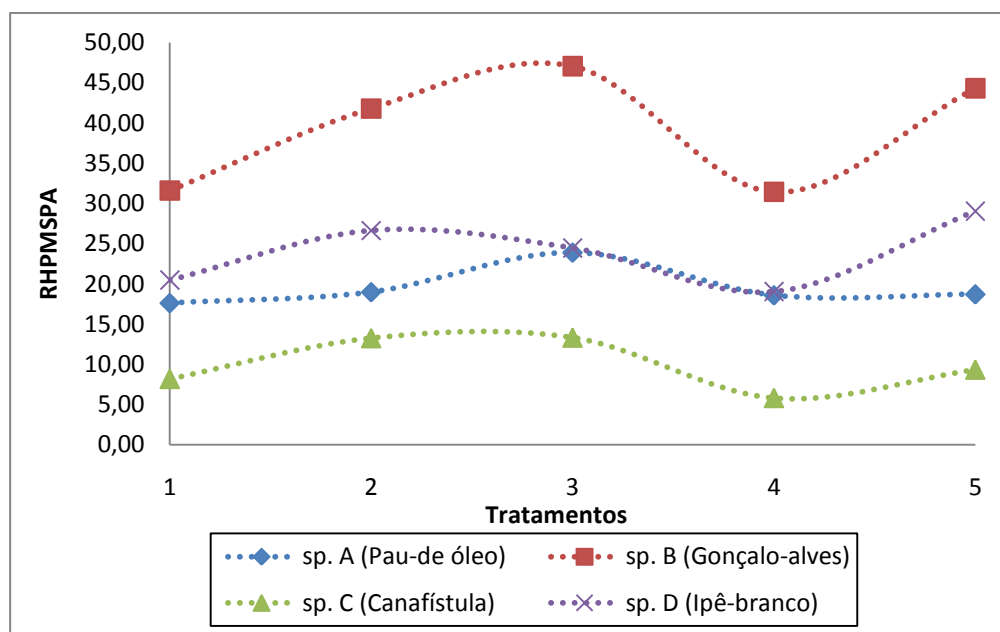


Figura 50 – Relação entre Altura parte aérea e Peso da Matéria seca da parte aérea (RHPMSPA) das espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos adotados.

Para as plantas das espécies A, B e C, em relação aos tratamentos, observou-se que os maiores valores médios foram encontradas no T3 com 50% de terra e 50% de lodo. Os valores obtidos foram, respectivamente; 23,9, 47,1 e 13,3. Observou-se que para a espécie D, o maior valor obtido 29,0 nessa relação foi para o Tratamento 5.

Dentre as espécies estudadas observou-se que a espécie C foi a que apresentou os menores valores. De acordo com Gomes, J. M. (2001), o quociente obtido da altura da parte aérea da planta pelo peso de matéria seca da parte aérea pode ser usado principalmente para inferir o potencial de sobrevivência da espécie em campo, pois quanto menor o valor maior

deverá ser sua sobrevivência no campo. Na espécie A o menor valor foi obtido em T1 (17,6) e para a espécie C o menor valor foi obtido em T4 (5,8). Observou-se ainda que para a espécie B houve uma grande variação nos valores, de aproximadamente 32 para 47 em relação ao T1 e T3. Já para as espécies C e D essa variação foi menor.

7.7.3 Relação entre o peso de matéria seca da parte aérea/peso de matéria seca de raízes (RPMSPAR)

Na Figura 51 são apresentados os valores referentes à relação entre o peso da matéria seca da parte aérea e o peso da matéria seca das raízes nas espécies estudadas. Gomes, J. M. (2001) destacou que o índice 2,0 expressa a melhor relação entre o peso da matéria seca da parte aérea e o peso de matéria seca do sistema radicular. Dessa forma, considerando-se esse valor e as médias obtidas em cada substrato, as espécies A e D não apresentaram os valores recomendados em nenhum dos Tratamentos.

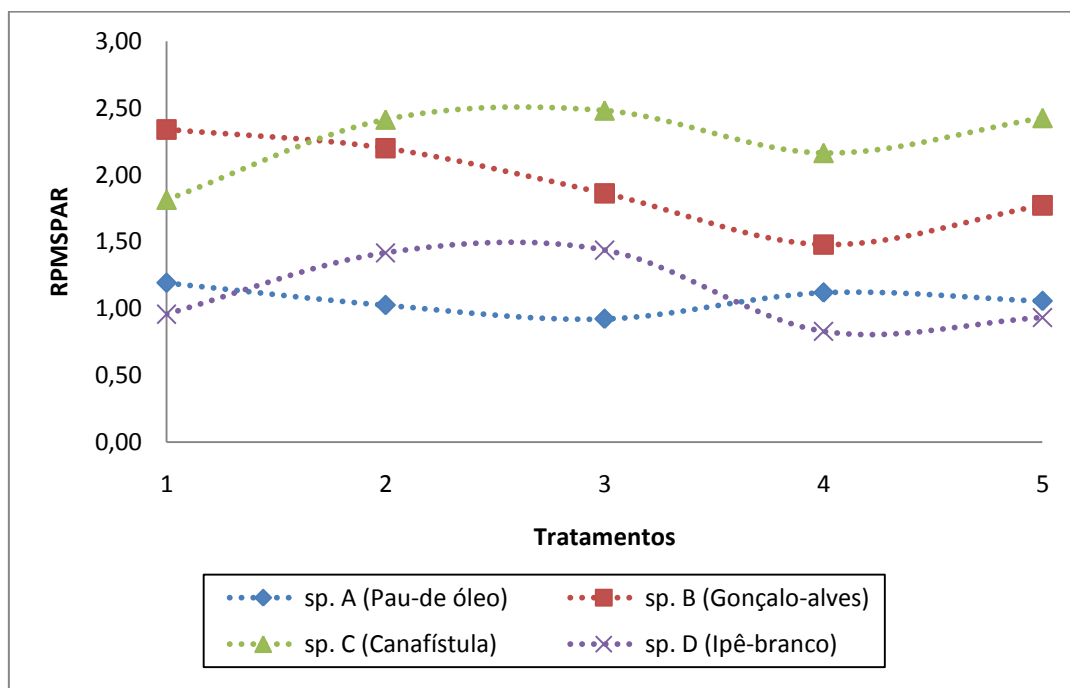


Figura 51 - Relação entre o peso de matéria seca da parte aérea e o peso de matéria seca de raízes (RPMSPAR) das espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos adotados.

Destaca-se ainda que nas espécies A e B, os maiores valores para as plantas submetidas ao T1, o que indica um maior acúmulo de biomassa na parte aérea que nas raízes dessas plantas. A espécie C apresentou variação em relação às concentrações de lodo, sendo o maior valor encontrado foi em T3 e o menor em T1, sendo 2,48 e 1,81, respectivamente. Para a espécie D o maior valor foi em T3 (1,44).

7.7.4 Índice de Qualidade de Dickson (IDQ)

Os maiores valores do IQD ocorreram nas plantas das espécies B, C e D, as quais foram submetidas ao Tratamento 4, ou seja, com 56,25% de lodo de ETA e 18,75% de terra. De acordo com Gomes, J. M. (2001), quanto maior o valor obtido por IQD, melhor será o padrão de qualidade das mudas. Isso demonstra que as espécies cultivadas com essa dosagem apresentariam maior produtividade em campo do que as demais. Os resultados estão apresentados na Figura 52.

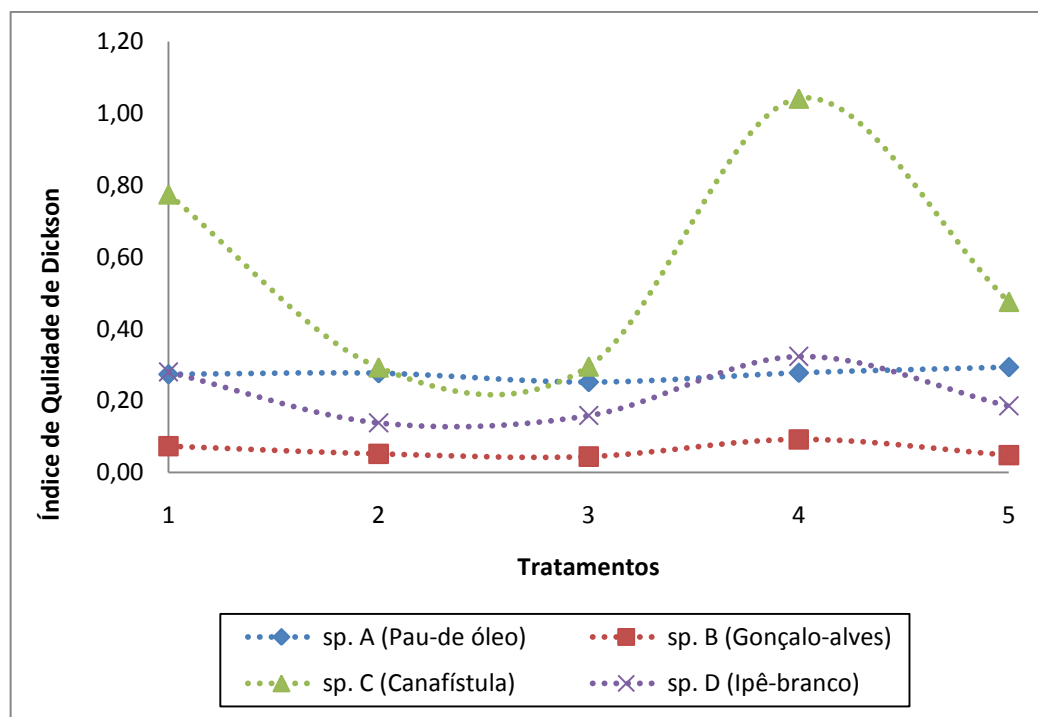


Figura 52 – Índice de Qualidade de Dickson – IQD das espécies utilizadas no experimento, em relação aos Tratamentos a que foram submetidas. Para cálculo desse índice é utilizado o PMST; RHDC e RPMSPAR.

Para a espécie A pode-se notar certa linearidade em relação aos valores obtidos para o índice, não sofrendo grandes variações, porém o maior valor do índice foi obtido no Tratamento 5, em que houve somente aplicação de lodo e substrato comercial, com IQD 0,29.

As plantas da espécie B (Gonçalo-alves) foram as que apresentaram os menores valores de IQD quando comparada às demais. Carneiro (1995) ressaltou que os índices não devem ser avaliados de forma isolada, deve se considerar cada um deles e interpretá-lo de acordo com suas peculiaridades, de modo a não haver interpretação errônea.

Os valores encontrados para o índice tiveram na espécie C (Canafístula), com valor máximo de 1,04 (T4) e mínimo de 0,29 no T2 e T3. O alto IQD ocorrido no Tratamento

4 pode ser explicado, devido ao PMST total das plantas submetidas a esse tratamento terem sido maiores que os demais, levando assim a um maior valor no numerador da fórmula para cálculo do IQD.

Verificou-se, portanto, com exceção da espécie C, pouca variação entre o IQD em relação aos Tratamentos aplicados, ou seja, com diferentes doses de lodo os resultados foram similares. Porém cabe destacar que os valores obtidos para as plantas submetidas ao Tratamento 4 foram maiores para as espécies B, C e D.

7.8 ANÁLISE QUÍMICA FOLIAR

Os resultados referentes às análises químicas foliares são apresentados nas Figuras 53 a 63. Observou-se que de maneira geral à medida que o tratamento tinha maior quantidade de lodo, os teores de Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) na parte aérea das plantas foram reduzidos, ou seja, o resíduo influenciou destes elementos.

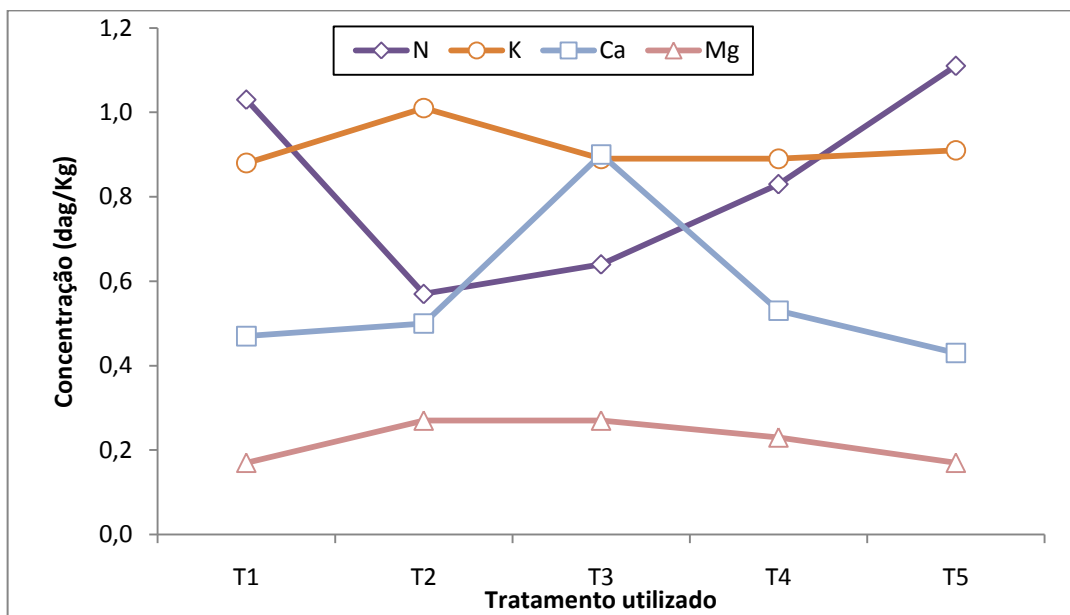


Figura 53 – Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie A (Pau-de-óleo), em relação aos Tratamentos utilizados.

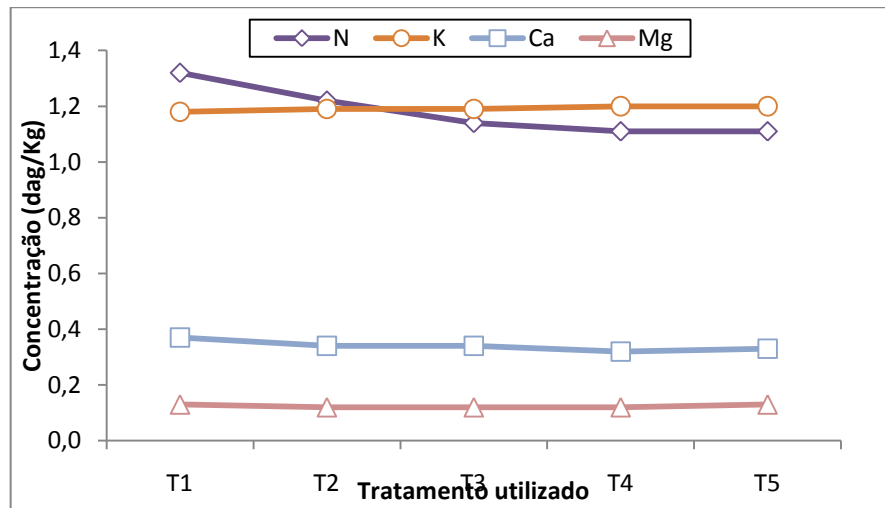


Figura 54 - Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie B (Gonçalo-alves), em relação aos Tratamentos utilizados.

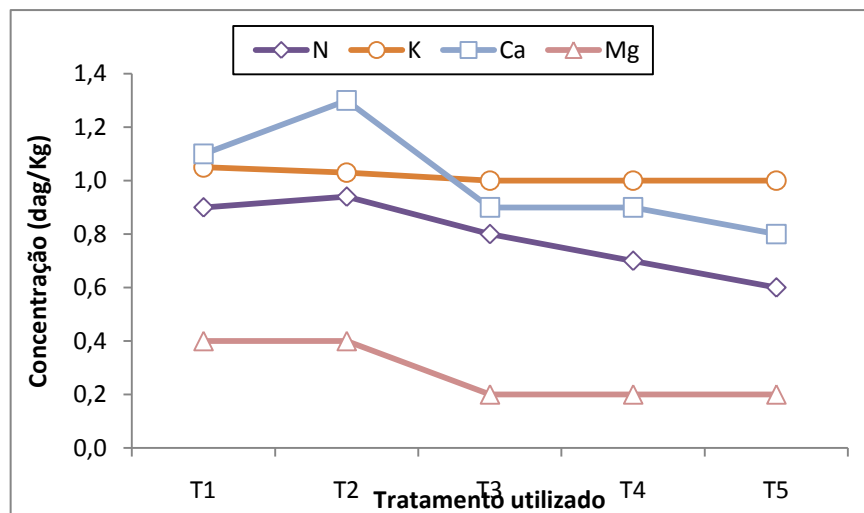


Figura 55 - Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie C (Canafístula), em relação aos Tratamentos utilizados.

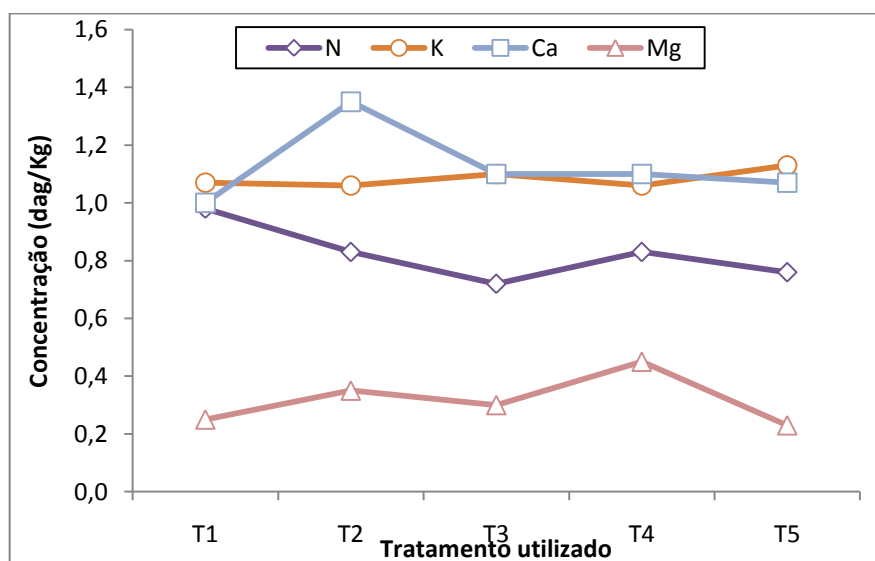


Figura 56 - Resultado da análise química do material foliar dos elementos N, K, Ca, Mg e P, para a espécie D (Ipê-branco), em relação aos Tratamentos utilizados.

Destaca-se que as plantas das espécies A, B e C, ao se comparar o Tratamento 1 com o Tratamentos 5, constatou-se que o teor de fósforo presente na parte aérea das plantas sofreram redução. Fato este já relatado por Tsutiya e Hirata (2001) que observaram que o lodo tende a reagir com fósforo presente no solo e pode indisponibilizá-lo para a planta, causando assim prejuízos ao desenvolvimento da planta. Porém destaca-se que apesar da redução no teor de fósforo, as espécies A e C não apresentaram variações significativas em relação ao ANOVA para DC e H. Dentre as plantas analisadas a espécie B apresentou a menor variação no teor dos elementos em relação aos Tratamentos, com pode ser observado na Figura 54.

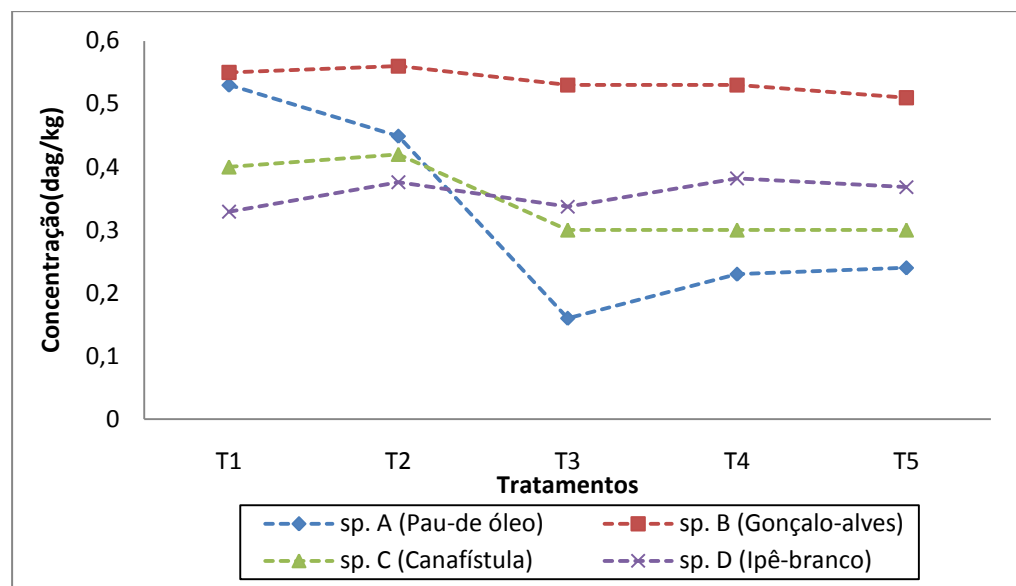


Figura 57 – Concentração do fósforo (P) em material foliar para as espécies estudadas em relação aos Tratamentos.

Os resultados das análises referentes aos elementos: Chumbo (Pb); Enxofre (S); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Manganês (Mn) e Zinco (Zn) são apresentados nas Figura 58 a 63.

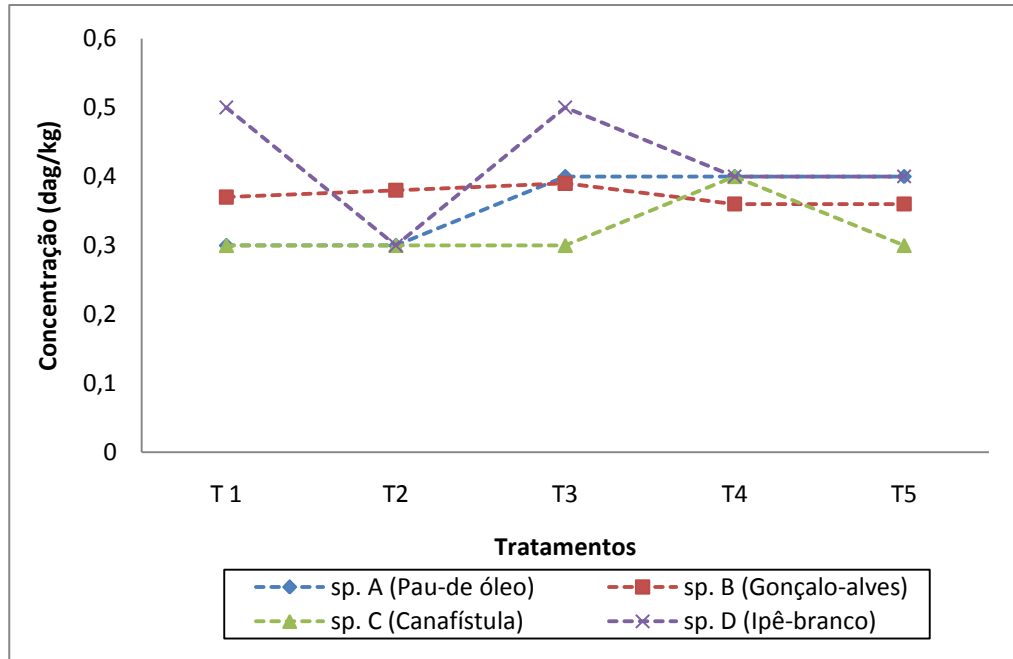


Figura 58 – Concentração de Chumbo (Pb) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.

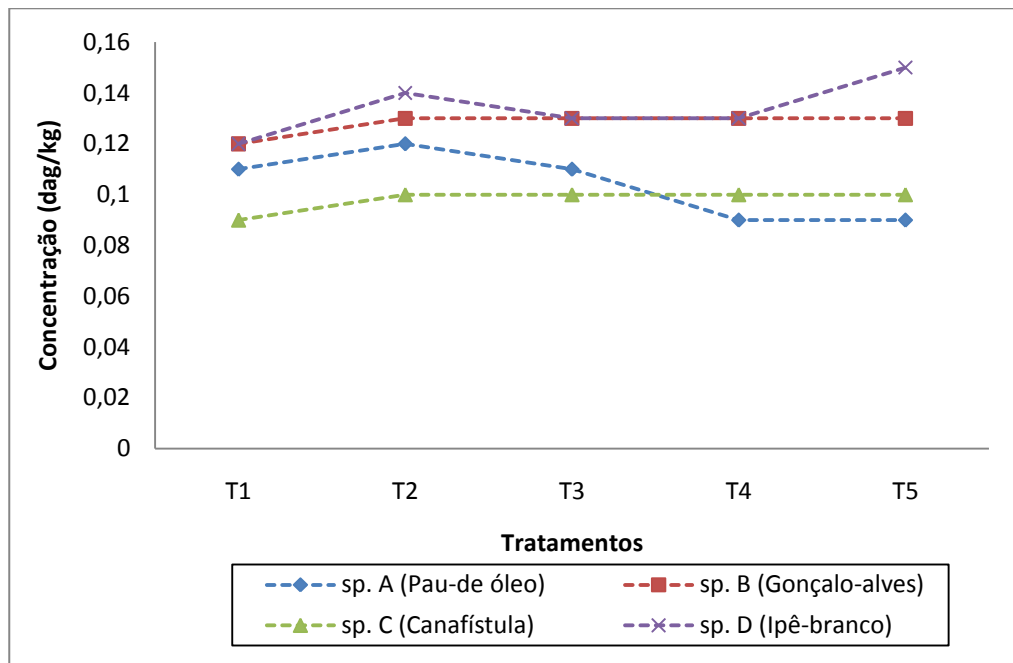


Figura 59 – Concentração de Enxofre (S) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.

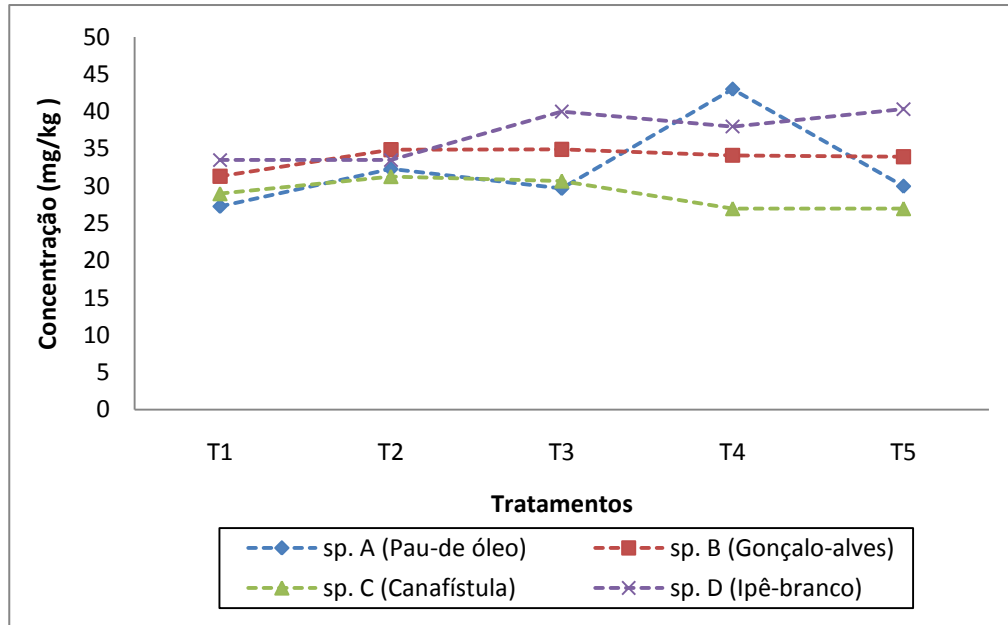


Figura 60 – Concentração de Cobre (Cu) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.

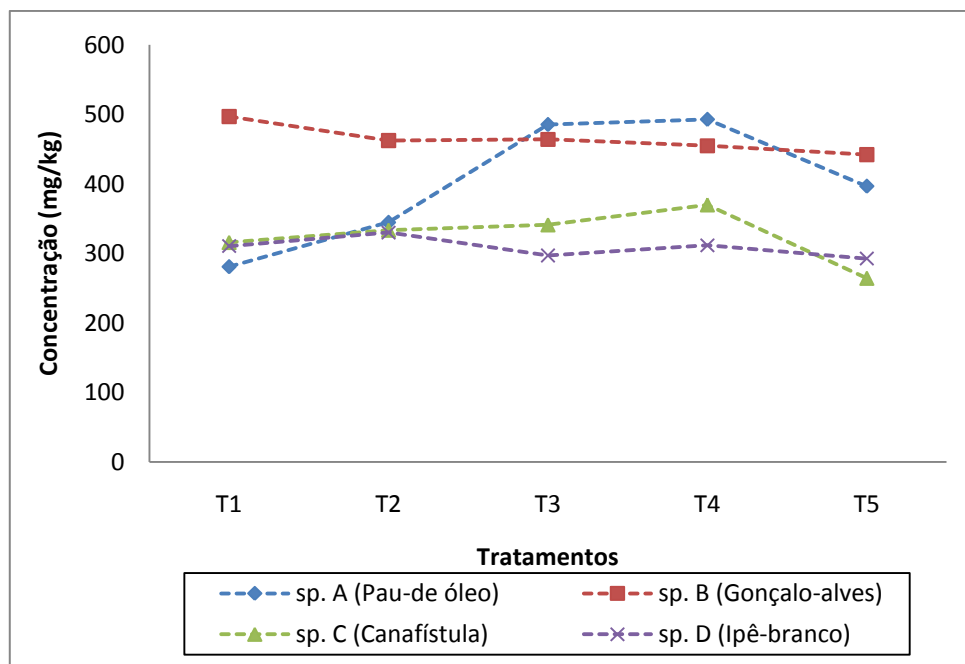


Figura 61 – Concentração de Ferro (Fe) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.

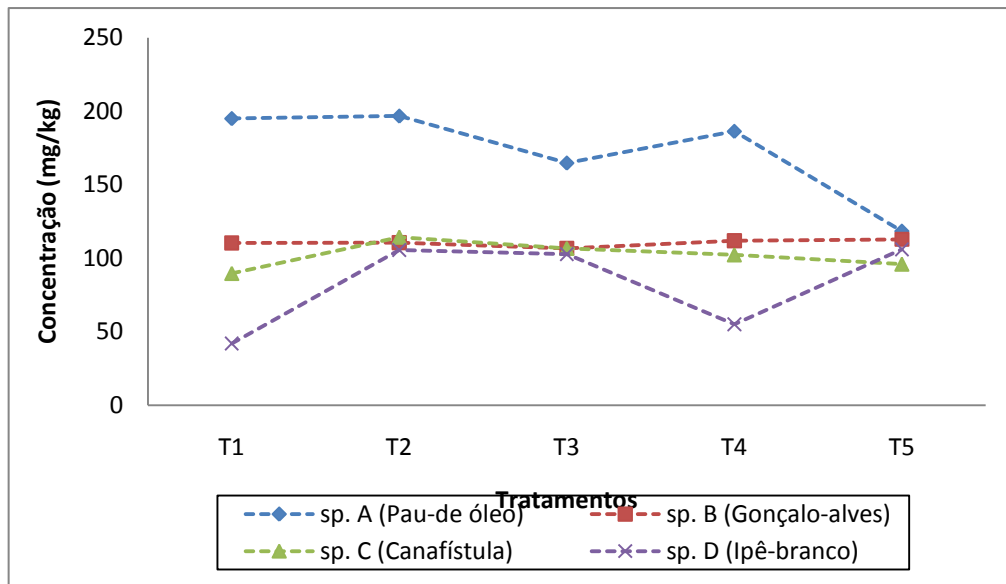


Figura 62 – Concentração de Manganês (Mn) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.

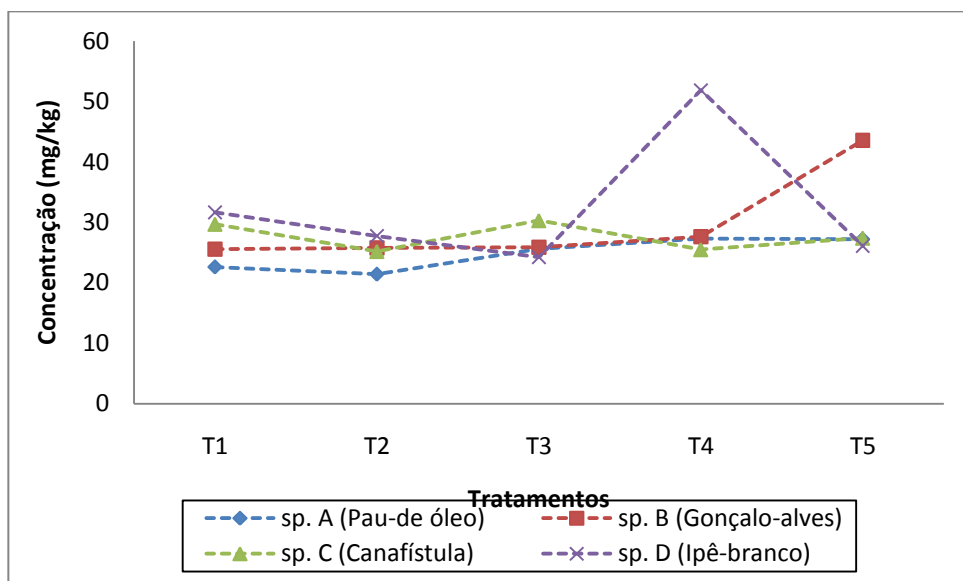


Figura 63 – Concentração de Zinco (Zn) em material foliar nas espécies utilizadas no estudo em relação aos Tratamentos.

Em relação ao teor de Cu, observou-se que nas espécies A, B e D os menores valores foram encontrados em T1 (sem aplicação de lodo), o que demonstra que o lodo contribuiu para o acúmulo desse elemento na planta.

Com relação ao Fe em todas as espécies observou-se uma redução nos Tratamentos com maiores concentrações de lodo (T4 e T5). Em relação ao Mn, nas espécies A e D ocorreram maiores variações. Destaca-se que na espécie A houve redução maior desse elemento quando se comparou T1 ao T5, sendo 195 e 118,3 mg/kg, respectivamente. Essas diminuições nas concentrações desses elementos estão relacionadas à disponibilidade desses

elementos para a planta, já que nos Tratamentos adotados na medida em que se aumentaram as quantidades de lodo reduziu-se a quantidade de terra.

7.9 AVALIAÇÃO ECONÔMICA PARA VIVEIROS COMERCIAIS

Nas Tabelas 13 e 14 são apresentados os resumos dos cálculos realizados para verificação da viabilidade econômica em se substituir a terra utilizada nos viveiros comerciais pelo lodo da ETA.

Tabela 13 – Estimativas de valores para cálculo da viabilidade de aplicação do lodo em viveiros comerciais.

Terra			
Valor (R\$)	Quantidade (m ³)	Preço unitário (R\$/m ³)	
150,00	12	12,50	
Transporte de Lodo			
Valor (R\$)	Quantidade por viagem (m ³)	Preço unitário (R\$/m ³)	
130,00	10	13,00	
Disposição do Lodo no Aterro Sanitário Goiânia			
Densidade (kg/m ³)	Volume de 1 tonelada em m ³	Preço por tonelada	Custo de disposição de 1 m ³ de Lodo
1.400	0,714	R\$ 26,89	R\$ 37,65

* Todos os valores são estimados com base no valor de mercado.

Tabela 14 – Valor de disposição do lodo em Aterro Sanitário

Custo de disposição do lodo em Aterro Sanitário por m³		
Transporte	Disposição	Total
R\$ 13,00	R\$ 37,65	R\$ 50,65
Valor a ser recebido pelo Viveiro (Lucro)		
Disposição*	Economia da Terra	Total
R\$ 37,65	R\$ 12,50	R\$ 50,15

* Para essa cálculo considerou-se o valor que a ETA pagaria para disposição no Aterro Sanitário e que passaria integralmente ao viveiro que receberá o lodo.

Observa-se que se houver interesse por parte dos viveiros comerciais em receber o lodo, eles além de reduzirem os custos com a compra de Terra para produção, poderão receber uma quantia para destinação que será paga pela empresa de saneamento. Destaca-se a possibilidade de se fazer o cadastramento para qualificação dos viveiros comerciais como

receptores de lodo seco por parte do órgão ambiental competente. Deve-se levar em conta o custo de processamento do lodo (trituração), podendo ser manual o mecânico.

7.9.1 Número de viveiros necessários para a destinação total do lodo

Considerando uma produção de lodo seco anual de 10.500 m³, é apresentado na Tabela 15 o valor aproximado de quantas mudas que seriam necessárias produzir para que todo o lodo fosse utilizado. Estimou-se também a quantidade de viveiros comerciais que seriam necessários para disposição total do lodo, considerando-se produção de 500.000 mudas.ano⁻¹ para cada viveiro.

Tabela 15 – Número aproximado de mudas a serem produzidas em relação ao tratamento utilizado.

Tratamento	Volume do lodo por muda (mL)	Quantidade de mudas necessárias	Número de viveiros*
T 5	750,0 mL	14.000.000	28
T 4	562,5 mL	18.666.666	37
T 3	375,0 mL	28.000.000	56
T 2	187,5 mL	56.000.000	112

* Considerando uma produção de 500.000 mudas.ano⁻¹ para cada viveiro.

Observou-se que se caso houvesse a substituição total da terra utilizada na produção de mudas por lodo de ETA, seriam necessárias aproximadamente 28 viveiros de grande porte para atender a demanda de lodo produzida na ETA em estudo. Considerando a menor quantidade de lodo utilizada no Tratamento 2 (18,75% ou 187,5 mL), seriam necessário 112 viveiros com produção anual média de 500.000 mudas.

Considerando o grande volume de lodo produzido pela cidade de Goiânia e a quantidade de viveiros existentes, essa alternativa mostra-se viável para disposição parcial desse resíduo, pois não atenderia à demanda da cidade. Porém, para cidades menores e com menor produção de lodo, essa alternativa pode se mostrar viável, gerando renda para os viveiros e incentivo à produção de mudas de árvores nativas.

8 CONCLUSÃO

1 - As pequenas variações morfológicas apresentadas pelas plantas e a porcentagem de sobrevivência em diferentes concentrações de lodo, demonstram potencial para aplicação do lodo de ETA nas doses utilizadas no cultivo de mudas de árvores nativas.

2 – Em algumas espécies, as mudas que foram submetidas ao tratamento, com 18,75% de terra, 56,25% de lodo e 25% de substrato comercial, apresentaram os melhores valores em relação aos índices de qualidade, mostrando que o lodo pode ter contribuído para o seu desenvolvimento.

3 – O lodo diminuiu a concentração de alguns elementos na parte aérea das plantas (nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio) e aumentou o acúmulo de metais nas mesmas (cobre e enxofre).

4- O método de destinação proposto, aliado a outros métodos de disposição, mostra-se como uma alternativa de destino do lodo para as ETAs das grandes cidades. Para cidades com menor produção de lodo, mostra-se viável e pode gerar renda para os viveiros e incentivos à produção.

9 RECOMENDAÇÕES

- Recomenda-se que sejam realizados ensaios específicos para cada lodo de ETA e que sejam feitos estudos com outras espécies de plantas, para avaliar o comportamento dessas com aplicação de lodo.

- Recomenda-se que sejam feitas variações nas proporções de substrato comercial a fim de se avaliar a alteração na proporção do lodo no cultivo e a possível redução na quantidade de substrato utilizada.

- Analisar o substrato resultante da mistura terra + lodo ETA + substrato comercial de cada tratamento para possíveis correções de fertilidade visando otimizar o desenvolvimento e qualidade das mudas.

- Espera-se não somente incentivar o uso comercial do resíduo em plantios que requeiram concentrações específicas de metais, tais como o alumínio, abundante no lodo; o maior interesse é de cunho ambiental e ecológico, visto que toneladas desse resíduo são completamente descartadas, gerando poluição e ocupação de espaços desnecessariamente.

10 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C.E.B.; SANO, S.M.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado**: espécies vegetais úteis. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998.

ANDRADE, C. O.; GALVÃO; M. V.; MELO, H. N. S.; MELO; J. L. S.; RODRIGUES, J. I. C. Desinfecção de efluente de filtros anaeróbios: pesquisa em “jar-test” e em tanque de contato. **Anais...** Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancúm, México, p. 01-08, out., 2002.

ANDREOLI, C.V; PIGORINE, E.S; HOPPEN C; TAMANINI, C.R; NEVES, P.S. Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água. In: ANDREOLI, C.V (coord.). **Alternativas de Uso de Resíduos de Saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, p.29- 48, 2006.

APHA; AWWA; WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington, D. C. 2005.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Metais sólidos: aspectos legais dos resíduos de estação de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais** eletrônicos I-064, João Pessoa: ABES, 2001a. 11p.

_____. Problemática dos metais nos resíduos gerados em estação de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais** eletrônicos I-065, João Pessoa: ABES, 2001b. 8p

BIDONE, F.; SILVA, A. P.; MARQUES, D. M. Lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitos de Secagem e Codisposição em Aterros Sanitários. In: PROSAB 2 - **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Seção 3 p. 215-244.

BITTENCOURT, S.; MARIN, L. M. K.; SIMÃO, C. C.; ANDREOLI, C. V. Recuperação de área degradada com utilização de lodo de Estação de Tratamento de água (ETA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife. **Anais eletrônicos**, Recife: ABES, 2009.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades**. Universidade Federal da Paraíba. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA CURSO DE MESTRADO Sub- Programa UFPB/UEPB/Área de Saneamento Ambiental, julho de 2001.

BOTERO, W. G.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, L. C.; ROCHA, J. C. Caracterização de lodo gerado em Estações de Tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola. **Quim. Nova**, v. 32, n. 8, 2018-2022, 2009.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília, DF.

BRASIL. **Lei 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. **Lei 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

CALDEIRA-JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; MARTINS, E. R.; SAMPAIO, R. A. Capacidade de Recuperação de Área Degradada pelo Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) sob adubação com lodo de esgoto e silicato. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 480-482, jul. 2007.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. In: **PROSAB 2 - Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estação de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Capítulo 1, p. 1-18.

_____. Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs). In: **PROSAB 2 - Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. Seção 2 p. 119-122.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rima, Ed. 2, v. 1. São Carlos, SP, 2005.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **For. Chron.**, v.36, p.10- 13,1960. p.

DOLGEN, D.; ALPSLAN, M. N.; DELEN, N. Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. **Journal of Environmental Management**, v. 84, n.3, 2007. p. 274-281.

FEITOSA, C. A.; CONSONI, A. J. Análise de oportunidades de minimização da geração de lodo na Estação de Tratamento de Água Alto da Boa, SÃO PAULO. **Interfaces** – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente - v.3, n.2, Seção Interfacehs 2, abr./ago. 2008.

- FERRANTI, E. M. **Desidratação do lodo de Estação de Tratamento de Água**. 2005. 101p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, Ago. 2002.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990.
- GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 126f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- IPPOLITO, J. A.; BARBARICK, K. A.; REDENTE. Combinations of Water Treatment Residuals and biosolids affect two range grasses. **Commun. Soil. Sci. Plant Anal.**, v. 33, 2002.
- JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA-FILHO, S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 117, v.12, n. 2 - abr/jun 2007, 117-126
- JESUS, S. V.; MARENCO, R. A. O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. **Acta Amazônica**, Manaus, vol. 38, n.4 dez. 2008.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras** – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. v.1, 2^a ed. Editora Plantarum. Nova Odessa – SP. 1998.
- MACHADO, L. C. G. T.; PONTE, M. X.; LOPES, L. N. A.; PEREIRA, J. A. R. Utilização de resíduo de ETA como insumo agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais eletrônicos**, Campo Grande: ABES, 2005.
- MARGUTI, A. L.; FERREIRA FILHO, S. S.; PIVELI, R. P. Otimização de processos físico-químicos na remoção de fósforo de esgotos sanitários por processos de precipitação química com Cloreto Férrico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 395-404, out/dez, 2008.
- MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. **Anais eletrônicos I-019**, Campo Grande: ABES, 2005. 7p.
- OLIVEIRA-JÚNIOR, O, A. **Qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em diferentes substratos**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, 2009.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: _____. **PROSAB 2- Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Capítulo 2, p. 27.

REIS, E. R.; LÚCIO, A. D. C.; FORTES, F. O.; LOPES, S. J.; SILVEIRA, B. D.. Período de permanência de mudas de *Eucalyptus grandis* em viveiro baseado em parâmetros morfológicos. **Revista Árvore**, Viçosa: MG, v.32, n.5, p.809-814, 2008.

RICHTER, C. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água**. São Paulo: Blucher, 2001.

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998, 556p.

SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. A.; FORNAZZARI, J. A. Minimização da produção de lodos gerados em uma ETA através de sua automação. In: 14º ENASB/SILUBESA – ENCONTRO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO / SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2010, Porto-Portugal. **Anais 14º ENASB/SILUBESA**, Porto-Portugal, 14, 2010.

SILVA, E. T.; MELO, W. J.; TEIXEIRA, S. T. Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges. **Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 62, n. 6, dez. 2005.

SILVA, F. A. ASSISTAT versão 7.6 beta. **DEAG-CTRN-UFCG**. Campina Grande, 2011. Disponível em: <<http://www.assistat.com/>>. Acessado em 01 mar. 2011.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SIMEHGO. **Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás**. Rede Meteorológica da Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Goiás - Dados do Município de Goiânia - Estação 102 - Heliponto Goiânia (EC30154A), 2011.

STURION, J. A.; ANTUNES, B. M. A. Produção de mudas de espécies florestais. In: GALVÃO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Colombo: PR, p.125-150, 2000.

STURION, J. A.; GRAÇA, L. R.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies de rápido crescimento por pequenos produtores**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, E. T. da. Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 1, jan. 2005.

TOMÉ JR., J. B. **Manual para interpretação de análise do solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais** eletrônicos I-025, João Pessoa: ABES, 2001. 9p.

WWF - Brasil. **Cerrado**. Disponível em:

<http://www.wwf.org.br/informacoes/questoes_ambientais/biomas/bioma_cerrado/>.

Acessado em: 01/04/2011.

APÊNDICE A

Tabela 16 – Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do colete (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,08427	0,02107	1,6828 ns
Resíduo	15	0,18779	0,01252	
Total	19	0,27207		

ns= não significativo

Tabela 17 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do colete (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,13439	0,03360	5,2575 **
Resíduo	15	0,09585	0,00639	
Total	19	0,23024		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 18 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do colete (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,20209	0,05052	3,2712 *
Resíduo	15	0,23167	0,01544	
Total	19	0,43376		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 19 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do colete (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,28965	0,07241	2,7693 ns
Resíduo	15	0,39223	0,02615	
Total	19	0,68188		

ns= não significativo

Tabela 20 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para o diâmetro do colete (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,12030	0,03007	0,6708 ns
Resíduo	15	0,67248	0,04483	
Total	19	0,79278		

ns= não significativo

Tabela 21 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	3,73401	0,93350	2,0366 ns
Resíduo	15	6,87557	0,45837	
Total	19	10,60957		

ns= não significativo

Tabela 22 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	2,56612	0,64153	0,9109 ns
Resíduo	15	10,56370	0,70425	
Total	19	13,12982		

ns= não significativo

Tabela 23 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	20,98046	5,24511	3,0498 ns
Resíduo	15	25,79752	1,71983	
Total	19	46,77797		

ns = não significativo

Tabela 24 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	26,78550	6,69637	4,5232 *
Resíduo	15	22,20687	1,48046	
Total	19	48,99237		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 25 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie A para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	18,76300	4,69075	2,6887 ns
Resíduo	15	26,16937	1,74462	
Total	19	44,93238		

ns = não significativo

Tabela 26 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,00779	0,00195	0,8829 ns
Resíduo	15	0,03308	0,00221	
Total	19	0,04086		

ns = não significativo

Tabela 27 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,02598	0,00650	1,8867 ns
Resíduo	15	0,05164	0,00344	
Total	19	0,07763		

ns = não significativo

Tabela 28 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,15455	0,03864	4,8433 *
Resíduo	15	0,11966	0,00798	
Total	19	0,27421		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 29 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,28173	0,07043	2,2567 ns
Resíduo	15	0,46815	0,03121	
Total	19	0,74988		

ns = não significativo

Tabela 30 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para o diâmetro do coleto (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,74660	0,18665	4,0108 *
Resíduo	15	0,69806	0,04654	
Total	19	1,44465		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 31 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,66692	0,16673	1,0329 ns
Resíduo	15	2,42118	0,16141	
Total	19	3,08809		

ns = não significativo

Tabela 32 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	3,80230	0,95058	11,5726 **
Resíduo	15	1,23210	0,08214	
Total	19	5,03441		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 33 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	6,41918	1,60480	2,3016 ns
Resíduo	15	10,45889	0,69726	
Total	19	16,87807		

ns = não significativo

Tabela 34 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	38,42567	9,60642	2,2530 ns
Resíduo	15	63,95729	4,26382	
Total	19	102,38296		

ns = não significativo

Tabela 35 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie B para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	30,27000	7,56750	2,4602 ns
Resíduo	15	46,13938	3,07596	
Total	19	76,40938		

ns = não significativo

Tabela 36 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do colete (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,01626	0,00407	1,1642 ns
Resíduo	15	0,05238	0,00349	
Total	19	0,06864		

ns = não significativo

Tabela 37 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do colete (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,80636	0,20159	13,3141 **
Resíduo	15	0,22712	0,01514	
Total	19	1,03348		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 38 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do colete (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	3,45317	0,86329	14,4451 **
Resíduo	15	0,89646	0,05976	
Total	19	4,34962		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 39 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do colete (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	8,94848	2,23712	13,3236 **
Resíduo	15	2,51860	0,16791	
Total	19	11,46708		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 40 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para o diâmetro do colete (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	13,31270	3,32818	12,8127 **
Resíduo	15	3,89634	0,25976	
Total	19	17,20904		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 41 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	2,39188	0,59797	0,9178 ns
Resíduo	15	9,77330	0,65155	
Total	19	12,16518		

ns = não significativo

Tabela 42 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	22,63000	5,65750	2,4930 ns
Resíduo	15	34,04000	2,26933	
Total	19	56,67000		

ns = não significativo

Tabela 43 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	79,57300	19,89325	5,8049 **
Resíduo	15	51,40500	3,42700	
Total	19	130,97800		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 44 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	227,22200	56,80550	9,5732 **
Resíduo	15	89,00750	5,93383	
Total	19	316,22950		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 45 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie C para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	171,73800	42,93450	7,8075 **
Resíduo	15	82,48750	5,49917	
Total	19	254,22550		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 46 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do colete (DC) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,03408	0,00852	1,2456 ns
Resíduo	15	0,10260	0,00684	
Total	19	0,13668		

ns = não significativo

Tabela 47 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do colete (DC) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,09005	0,02251	1,2594 ns
Resíduo	15	0,26813	0,01788	
Total	19	0,35818		

ns = não significativo

Tabela 48 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do colete (DC) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,40656	0,10164	2,9875 ns
Resíduo	15	0,51032	0,03402	
Total	19	0,91688		

ns = não significativo

Tabela 49 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do colete (DC) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,98309	0,24577	3,4677 *
Resíduo	15	1,06313	0,07088	
Total	19	2,04622		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 50 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para o diâmetro do colete (DC) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,79508	0,19877	1,5188 ns
Resíduo	15	1,96309	0,13087	
Total	19	2,75816		

ns = não significativo

Tabela 51 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 30 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	0,44217	0,11054	0,4230 ns
Resíduo	15	3,91981	0,26132	
Total	19	4,36199		

ns = não significativo

Tabela 52 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 60 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	3,64294	0,91074	3,2150 *
Resíduo	15	4,24921	0,28328	
Total	19	7,89215		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 53 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 90 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	11,53699	2,88425	1,9626 ns
Resíduo	15	22,04418	1,46961	
Total	19	33,58118		

ns = não significativo

Tabela 54 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 120 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	29,61156	7,40289	2,5000 ns
Resíduo	15	44,41789	2,96119	
Total	19	74,02945		

ns = não significativo

Tabela 55 - Resultado da análise de variância ANOVA da espécie D para a altura (H) aos 150 dias em relação aos tratamentos.

<i>F.V.</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Tratamentos	4	20,29889	5,07472	3,0798 *
Resíduo	15	24,71583	1,64772	
Total	19	45,01472		

* significativo ao nível de 5% de probabilidade