

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO
AMBIENTE

RAQUEL PINHEIRO REIS SOUZA RAMALHO

AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS COM OCORRÊNCIA
NO CERRADO

Goiânia

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

Raquel Pinheiro Reis Souza Ramalho

**AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
DE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE ESPÉCIES VEGETAIS COM OCORRÊNCIA
NO CERRADO**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Scalize.
Coorientador: Prof. Dr. António João Carvalho de
Albuquerque.

Texto de Dissertação de Mestrado apresentada ao
programa de Pós-Graduação em Engenharia do
Meio Ambiente da Universidade Federal de Goiás,
como parte dos requisitos para a obtenção do título
de mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Goiânia

2015

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, pelo apoio incondicional, mesmo quando eu não mereci. Além de palavras de conforto, amizade e carinho, me ajudou nas coletas de dados quinzenais, trabalhando comigo embaixo de sol e chuva – anotando dados, segurando escadas, transportando materiais. Não há dúvidas que sem o seu esteio essa dissertação não seria possível.

Ao Bruno, pela ajuda constante em todas as etapas – desde o carregamento dos pesadíssimos sacos de terra até na elaboração de planilhas de uma forma muito menos complicada. Obrigada por acreditar em mim e me amparar em meus piores momentos.

A todos meus familiares e amigos, por tanto cuidado e carinho.

Ao meu orientador Prof. Paulo Sérgio Scalize, por todas as orientações e oportunidades. Obrigada por confiar em mim.

Ao meu coorientador Prof. António Albuquerque, que mesmo com poucos encontros foi sempre paciente e prestativo.

Aos companheiros de mestrado, em especial à Poliana que esteve sempre ao meu lado.

Ao Renato Justino da Leites Manacá, por doar todos os vasos para o plantio.

A todos os responsáveis pelo viveiro Madeira Real. Ao Thiago Quintiliano, por acreditar em minha pesquisa e me dar todas as cartas brancas para que meu trabalho fosse realizado. Ao Seu João e a Paula e seus filhos, pelos almoços quando não dava tempo de ir em casa, pelas sabedorias cotidianas, por cuidar de minhas plantas em minha ausência e por me acolher em suas casas nos dias chuvosos. Minha gratidão.

Agradeço a CAPES pelo apoio financeiro.

E a todos que contribuíram de alguma forma neste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

Um dos grandes desafios ambientais no Brasil é a disposição adequada dos Resíduos das Estações de Tratamento de Água (RETA). Em vista de dificuldades logísticas e financeiras, cerca de apenas 1% dos municípios do país realizam algum tipo de reaproveitamento desse resíduo. Diante desse entrave, o presente trabalho teve como objetivo reutilizar o RETA para o plantio de espécies com ocorrência no Cerrado. O resíduo foi coletado na Estação de Tratamento de Água Eng. Rodolfo José da Costa, localizada em Goiânia. Foi utilizado um solo proveniente do Cerrado para o plantio de quatro espécies com ocorrência no bioma: *Hymenaea courbaril*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Copaifera langsdorfii* e *Peltophorum dubiu*. O solo e o RETA foram caracterizados quanto a suas composições químicas e físicas. Foram utilizadas diferentes dosagens (0, 4, 8, 16 e 32 t ha⁻¹) do RETA para o plantio em vasos das mudas. No decorrer do experimento foram feitas análises biométricas (altura da parte aérea e diâmetro do coleto) a cada 15 dias. Ao final de 210 dias os espécimes foram coletados, separados em parte aérea e raiz e secos em estufa a 65 °C. Os pesos frescos e secos, comprimento de raízes, altura e diâmetro do coleto final foram verificados, além de realizar análises de clorofila e constituição química das folhas das espécies. O RETA aplicado nesse estudo possui propriedades físicas e químicas bastante semelhantes ao solo do Cerrado. Por conta disso, as dosagens aplicadas nos tratamentos não influenciaram significativamente, em sua maioria, no crescimento dos indivíduos. De toda maneira o RETA da Estação de Tratamento de Água Eng. Rodolfo José da Costa, utilizado nas dosagens aqui consideradas, pode ser aplicado no solo como uma alternativa de disposição ecologicamente adequada. Ele é um produto de baixo risco de contaminação ambiental para o solo, e os indivíduos não apresentaram nenhum déficit nutricional ou morfológico.

Palavras-chave: Solo, disposição final, mudas e lodo.

ABSTRACT

One of the major environmental challenges in Brazil is the proper disposal of Drinking Water Treatment Plant Residue (RETA). In view of logistical and financial difficulties, only about 1% of the country's municipalities perform some kind of reuse of this waste. Faced with this obstacle, the present study aimed to reuse the RETA to vegetal species occurring in the Cerrado. This waste was collected in the Water Treatment Plant Eng. Rodolfo José da Costa, located in Goiania. One soil type from the Cerrado was used to plant four species occurring in the Cerrado: *Hymenaea courbaril*, *Jacaranda cuspidifolia*, *Copaifera langsdorfii* and *Peltophorum dubiu*. The soil and the RETA were characterized according to their chemical and physical compositions. Different strengths (0,4,8,16 and 32 t ha⁻¹) of RETA for planting in pots of seedlings were used. During the experiment were conducted biometric analyses (shoot height and stem diameter) every 15 days. After 210 days, the specimens were collected, divided into aerial and root parts and dried in an oven at 65 ° C. Fresh and dry weight, root length, height and final diameter were checked, and analyzes of chlorophyll and chemical constitution of the leaves of the species were performed. The RETA applied in this study has physical and chemical properties very similar to the soil of the Cerrado. Because of this, the dosages used in the treatments did not significantly affect plant growth. In any case, the RETA Water Treatment Plant Eng. Rodolfo José da Costa, used in dosages considered here, can be applied to the soil as an environmentally correct alternative of disposal. It is of low risk of environmental contamination to the soil, and the specimens showed no morphological or nutritional deficit.

Keywords: Soil, final disposal, seedlings and sludge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de uma Estação de Tratamento de Água Convencional e seus principais pontos de produção de Resíduos de Estações de Tratamento de Água (RETA).....	5
Figura 2. Mapa das áreas remanescentes, de agricultura e de pastagem do Cerrado em 2008. Fonte: Sano et al. (2008).....	18
Figura 3. Localização de Goiânia e do Rio Meia Ponte com a ETA Meia Ponte e suas lagoas de secagem e área de disposição do resíduo. Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).	22
Figura 4. RETA em lagoa de secagem (a), após a coleta (b) e após a trituração (c).....	23
Figura 5. Fluxograma do procedimento experimental realizado para caracterização de solo, RETA e cultivo das plantas.....	24
Figura 6. Detalhes do cultivo dos espécimes, A – Sacos contendo o solo utilizado para o plantio; B- Betoneira para mistura dos tratamentos; C – Primeiro dia de experimento; D – Casualização dos indivíduos; E – Visão geral do viveiro no último mês de crescimento.....	26
Figura 7. Difratograma de raios-X do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO.	35
Figura 8. Micrografia do MEV com o dispositivo EDS do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO	35
Figura 9. Curvas de distribuição granulométrica do RETA.	36
Figura 10. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Jatobá.....	40
Figura 11. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Jatobá.....	40
Figura 12. Altura da parte aérea na espécie Jatobá.....	41
Figura 13. Diâmetro do coleto na espécie Jatobá.	41
Figura 14. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Caroba.	42
Figura 15. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Caroba.	43
Figura 16. Altura da parte aérea na espécie Caroba nos dias decorridos de experimento.	43
Figura 17. Diâmetro do coleto na espécie Caroba.....	44
Figura 18. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Pau-de-óleo.	44
Figura 19. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Pau-de-óleo.	45
Figura 20. Altura da parte aérea na espécie Pau-de-óleo nos dias decorridos de experimento.	46
Figura 21. Diâmetro do coleto na espécie Pau-de-óleo nos dias decorridos de experimento.	46
Figura 22. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Canafístula.....	47
Figura 23. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Canafístula..	48
Figura 24. Altura da parte aérea na espécie Canafístula nos dias decorridos de experimento.	48
Figura 25. Diâmetro do coleto na espécie Canafístula nos dias decorridos de experimento.	49

Figura 26. Teores de clorofila a (mg g ⁻¹ de massa seca) nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.....	50
Figura 27. Teores de clorofila b (mg g ⁻¹ de massa seca) nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.....	51
Figura 28. Teores de clorofila total (mg g ⁻¹ de massa seca) nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.	52
Figura 29. Razão entre clorofila a e b nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.	52
Figura 30. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Jatobá.....	53
Figura 31. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Caroba.....	54
Figura 32. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Pau-de-óleo.....	54
Figura 33. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Canafístula.	54
Figura 34. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Jatobá.....	55
Figura 35. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Caroba.	56
Figura 36. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Pau-de-óleo.....	56
Figura 37. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Canafístula.....	57
Figura 38. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Jatobá.....	58
Figura 39. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Caroba.	58
Figura 40. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Pau-de-óleo.....	59
Figura 41. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Canafístula.....	59
Figura 42. Peso fresco da parte aérea das espécies nos 5 tratamentos.	61
Figura 43. Peso fresco da raiz das espécies nos 5 tratamentos.....	61
Figura 44. Peso seco da parte aérea das espécies nos 5 tratamentos.	62
Figura 45. Peso seco da raiz das espécies nos 5 tratamentos.	62
Figura 46. Comprimento da raiz das espécies nos 5 tratamentos.....	63
Figura 47. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das espécies nos 5 tratamentos.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentrações máximas de substâncias inorgânicas permitida em resíduo de ETE para sua disposição em solo.	8
Tabela 2. Concentração máxima de patógenos permitida em lodo de ETE para sua disposição em solo.	9
Tabela 3. Características de RETAs em relação a parâmetros do solo.	12
Tabela 4. Características do RETA em relação aos principais elementos químicos encontrados.	16
Tabela 5. Temperatura e Umidade durante o experimento no Viveiro Madeira Real....	26
Tabela 6. Quantidade de espécies e repetições para cada tratamento utilizadas no experimento, juntamente com a quantidade de RETA empregado.	31
Tabela 7. Resultados das análises das séries de sólidos feitas nas amostras do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO.	33
Tabela 8. Resultados das análises bacteriológicas e parasitológicas feitas nas amostras do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO.	34
Tabela 9. Resultados das análises para fins de fertilidade feitas nas amostras de resíduo de ETA- Meia Ponte-GO e solo do Cerrado-GO.	37
Tabela 10. Concentração de metais pesados nas amostras de resíduo de ETA- Meia Ponte-GO e solo do Cerrado-GO.	39
Tabela 11. Redução do peso, porcentagem de raízes e peso da matéria seca total das espécies nos 5 tratamentos.	64
Tabela 12. Análise de variância do zinco foliar dos espécimes de Caroba.	78
Tabela 13. Médias e medidas do teste Tukey do zinco foliar dos espécimes de Caroba.	78
Tabela 14. Análise de variância do comprimento da raiz dos espécimes de Pau-de-óleo.	78
Tabela 15. Médias e medidas do teste Tukey do comprimento da raiz dos espécimes de Pau-de-óleo.	78
Tabela 16. Análise de variância da altura da parte aérea aos 90 dias de experimento dos espécimes de Pau-de-óleo.	79
Tabela 17. Médias e medidas do teste Tukey da altura da parte aérea aos 90 dias de experimento dos espécimes de Pau-de-óleo.	79
Tabela 18. Dados referente ao IQD dos espécimes de Jatobá.	80
Tabela 19. Dados referente ao IQD dos espécimes de Caroba.	81
Tabela 20. Dados referente ao IQD dos espécimes de Pau-de-óleo.	82
Tabela 21. Dados referente ao IQD dos espécimes de Canafístula.	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

% = Porcentagem

A = Absorbância

ABNT = Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al = Alumínio

AM = Amazonas

Ba = Bário

Be = Berílio

C = Carbono

Ca = Cálcio

Cd = Cádmi

cm dia⁻¹ = Centímetro por dia

cm = Centímetro

cm³ = Centímetro cúbico

Co = Cobalto

C° = Graus Celsius

Conama = Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr = Cromo

CTC = Capacidade de Troca de Cátions

Cu = Cobre

D = Diâmetro do colete

Di = Diâmetro inicial do colete

EDS = Energy-Disperse X-Ray Spectroscopy

DQO = Demanda Química de Oxigênio

dS = DeciSiemens

E.U = União Europeia

Embrapa = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA = Estação de Tratamento de Água

F = Estatística do teste F

Fe = Ferro

FV = Fonte de variação

g = Gramas

g dia⁻¹ = Gramas por dia

g semana⁻¹ = Gramas por semana
GL = Graus de liberdade
GO = Goiás
H = Altura da parte aérea
Hg = Mercúrio
Hi = Altura inicial da parte aérea
IBGE = Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística
IQD: Índice de Qualidade de Dickson
ISO = International Organization for Standardization
K = Potássio
kg = Quilograma
km² = Quilômetros Quadrados
M.O = Matéria orgânica
m³ = Metros cúbicos
MEV = Microscópio Eletrônico de Varredura
Mg = Magnésio
mg = Miligrama
mg kg⁻¹ = Miligrama por quilograma
mL L⁻¹ = Mililitro por litro
mm = Milímetro
mm dia⁻¹ = Milímetro por dia
Mn = Manganês
Mo = Molibdênio
MS = Massa Seca
N = Nitrogênio
Na = Sódio
Ni = Níquel
NMP = Número Mais Provável
P = Fósforo
PAC = Policloreto de Alumínio
Pb = Chumbo
pH = Potencial Hidrogeniônico
PMSPA = Peso da Matéria Seca da Parte Aérea
PMSR = Peso da Matéria Seca das Raízes

PMST = Peso da Matéria Seca Total
QM = Quadrado Médio
RETA = Resíduo de Estação de Tratamento de Água
S.B = Saturação de bases
Si = Silício
SQ = Soma de Quadrado
SR = Sem Regulamentação
ST = Sólidos Totais
t = Tempo
t ha⁻¹ = Toneladas por hectare
T1 = Tratamento 1
T2 = Tratamento 2
T3 = Tratamento 3
T4 = Tratamento 4
T5 = Tratamento 5
TcD = Taxa de crescimento do diâmetro do coleto
TcH = Taxa de crescimento da altura da parte aérea
Ti = Titânio
U.S = Estados Unidos da América
UFF = Unidade Formadora de Foco
UFG = Universidade Federal de Goiás
UFP = Unidade Formadora de Placa
V = Volume
W = Matéria fresca material vegetal utilizado
Y = Ítrio
Zn = Zinco
µm = Micrometro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA	3
3. OBJETIVOS	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
4.1. Processos de tratamento de águas	5
4.2. Características do RETA	5
4.3. Aspectos normativos	7
4.4. Diferentes usos do RETA	10
4.4.1. RETA para o uso agrícola.....	11
4.5. Cerrado	17
4.6. Espécies com ocorrência no bioma	19
4.6.1. Jatobá	19
4.6.2. Caroba.....	19
4.6.3. Pau-de-óleo	20
4.6.4. Canafístula	20
5. MATERIAL E MÉTODOS	21
5.1. Área de coleta dos resíduos	21
5.2. Coleta e preparo do RETA	22
5.3. Coleta e preparo do solo	23
5.4. Área do experimento	23
5.5. Procedimento Experimental	24
5.6. Cultivo das mudas de Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula	25
5.7. Temperatura e Umidade	26
5.8. Análises Mineralógicas do RETA	27
5.9. Análises microbiológicas, bacteriológicas e parasitológicas do RETA	27
5.10. Análises físico-químicas do solo e do RETA	27
5.11. Análise de crescimento das plantas	27
5.12. Taxa de Crescimento	28
5.13. Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	29
5.14. Análise foliar	29
5.15. Delineamento experimental e análise dos dados	30
6. RESULTADOS	33
6.1. Caracterização do RETA	33
6.2. Comparação solo e RETA	36
6.3. Evolução morfológica das espécies	39
6.3.1. Jatobá.....	39
6.3.2. Caroba.....	42
6.3.3. Pau-de-óleo	44
6.3.4. Canafístula	47
6.4. Análise foliar	49
6.4.1. Clorofila.....	50
6.4.2. Análise nutricional	53
6.5. Desenvolvimento final das espécies	60

6.6. Índice de Qualidade de Dickson (IQD)	64
7. CONCLUSÕES	66
8. REFERÊNCIAS	67
ANEXO A.....	78
ANEXO B.....	80

1. INTRODUÇÃO

O crescimento dos grandes centros urbanos tem gerado diversos problemas ambientais. Um desses desafios é a disposição adequada dos resíduos gerados nos processos de tratamento de água – RETA, que em escala mundial é produzido mais de 10.000 toneladas dia⁻¹ (BITTENCOURT et al., 2012; CANIANI et al., 2013).

Esse resíduo (RETA) é considerado resíduo sólido pela ABNT (2004), resultante dos processos de transformação da água bruta em potável, por meio da adição de um coagulante (geralmente sais de alumínio, ferro e polímeros orgânicos) seguido da coagulação, floculação, decantação e filtração (HOPPEN et al., 2006). Os resíduos de estação de tratamento de água (RETA) são constituídos basicamente por hidróxidos de alumínio ou ferro, partículas inorgânicas como argila, areia e silte e microorganismos (TEIXEIRA; MELO; SILVA, 2007; MOREIRA et al., 2011). Todavia, sua composição pode variar devido aos métodos e periodicidade de operação do sistema de tratamento e da qualidade da água bruta captada (TARTARI et al., 2011).

No Brasil, em 2011 existiam mais de 7500 Estações de Tratamento de Água (ETA) convencionais ou de ciclo completo, cujos destinos do RETA são geralmente os sistemas hídricos mais próximos, em alguns casos o próprio manancial que abastece a estação de tratamento, causando assoreamento ao corpo d'água, produzindo odores, crescimento excessivo de algas e morte de peixes; os aterros sanitários; e as Estações de Tratamento de Esgoto, sobrecarregando-os (OLIVEIRA et al., 2004; MOREIRA et al., 2011; TEIXEIRA, 2011; ACHON; BARROSO; CORDEIRO 2013)

Além de gerar transtornos ambientais, a disposição desse resíduo sólido em quaisquer corpos hídricos e a céu aberto é proibida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, disposta pela lei nº 12.305 (BRASIL, 2010). Todavia, mesmo existindo essa norma, pouco do RETA produzido no país é tratado ou reutilizado (ANDREOLI, 2006).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) por meio da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008, no Brasil dos 5.564 municípios da federação, apenas 50 fazem algum tipo de reaproveitamento parcial desse resíduo. As cidades não possuem recursos suficientes para o emprego de tecnologias que minimizem esse problema. Assim, surge a necessidade de disposição alternativa, economicamente viável e ecologicamente correta para o RETA.

As principais tecnologias utilizadas para a redução do volume do RETA, mediante remoção da água livre e nos interstícios sólidos, são por meio de sistemas mecânicos ou sistemas naturais (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2008). A desidratação em leitos de secagem é uma das técnicas mais utilizadas, já que é uma forma natural e demanda menos custos, e resulta em um produto final com uma concentração de sólidos de 60% a 70%.

Este resíduo pode ser usado como fertilizante, na compostagem com o lixo urbano, na incorporação de concretos e cerâmicas (TEIXEIRA et al., 2011). Além dessas alternativas, o RETA pode ser disposto no solo agrícola. Essa opção é possível devido a presença de substâncias semelhantes às encontradas no solo como argila, areia, silte e substâncias húmicas. O RETA, dessa forma, pode ainda ser utilizado como adjacente na recuperação de solos pobres e áreas degradadas (TEIXEIRA; MELO; SILVA, 2007).

Assim, o presente trabalho pretende avaliar a viabilidade da disposição de um resíduo de uma ETA, que utiliza o sulfato de alumínio como coagulante primário, em solo de Cerrado no crescimento de 4 espécies vegetais com ocorrência no bioma.

2. JUSTIFICATIVA

De frente aos interesses para a resolução de desafios essenciais à humanidade, que outrora eram negligenciados pela maioria das esferas da sociedade, há uma busca por tecnologias alternativas que possam gerar um desenvolvimento responsável e sustentável capaz de conciliar condições econômicas e do meio ambiente.

Apesar dos problemas ambientais mundiais e do reconhecimento da importância desse conceito de desenvolvimento sustentável, ainda há muitos percalços para que esse tema seja concretamente aplicado.

Nesse sentido, o presente trabalho se justifica ao propor uma harmonização entre o crescimento contínuo da economia e a preservação da natureza. Para isso será sugerido testar a utilização de um resíduo de uma Estação de Tratamento de Água em solo, produto que tem seu potencial desperdiçado, além de ser disposto inadequadamente no meio ambiente.

3. OBJETIVOS

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar a disposição de Resíduos de uma Estação de Tratamento de Água (RETA) em solo do cerrado para o crescimento de espécies com ocorrência no bioma. Com base nisso, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Comparar as propriedades físicas e químicas do solo com as do RETA utilizados no estudo.
- Avaliar as melhores dosagens de RETA para o desenvolvimento das espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.
- Definir se o RETA pode ser disposto no solo sem causar prejuízo nutricional aos indivíduos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Processos de tratamento de águas

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é o local onde acontece a retirada de substâncias presentes na água captada, de forma a torná-la potável à população. No Brasil, a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011a).

Dentro das etapas do tratamento são formados os RETAs (Resíduos de Estações de Tratamento de Água), resultantes, em sua maioria, da sedimentação dos flocos nos decantadores e das águas de lavagem dos filtros (Figura 1).

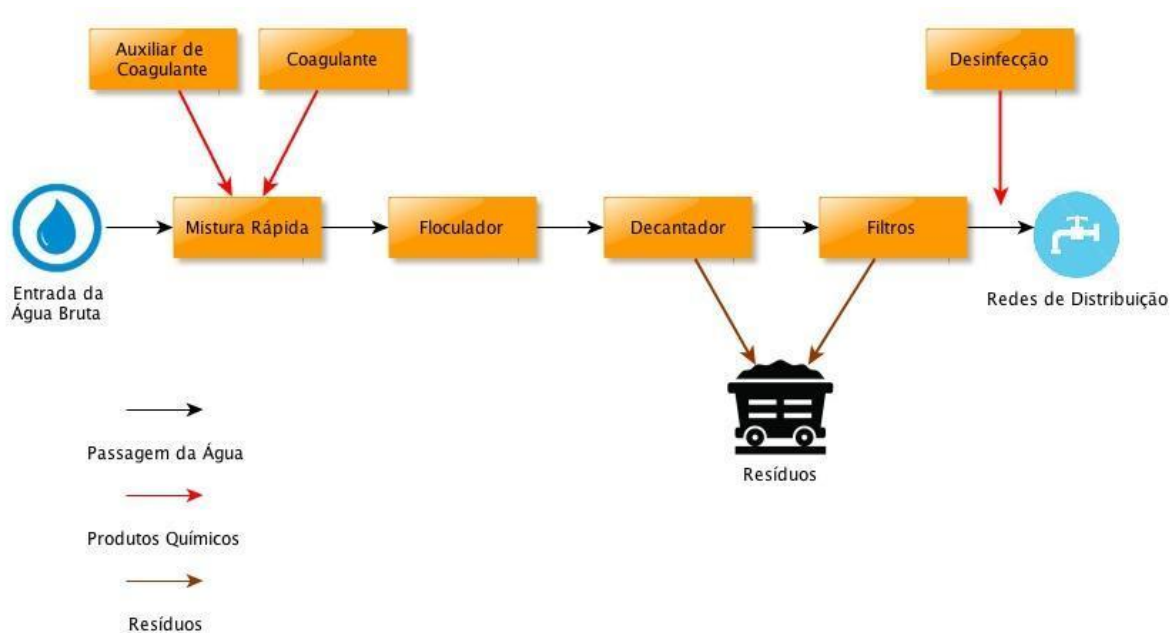


Figura 1. Esquema de uma Estação de Tratamento de Água Convencional e seus principais pontos de produção de Resíduos de Estações de Tratamento de Água (RETA).

4.2. Características do RETA

As características do RETA variam devido à constituição da água bruta, método de operação da ETA (tipo de ETA, periodicidade de limpeza e manutenção de equipamentos) e em razão dos acidificantes, adsorventes, alcalinizantes, polímeros e, principalmente, coagulantes adicionados no processo de tratamento (DI BERNARDO;

DANTAS; VOLTAN, 2011).

No Brasil, as categorias predominantes de ETAs são as de tratamento convencional ou de ciclo completo, que se caracterizam por um processo que inclui coagulação, floculação, decantação e filtração (CORDEIRO, 1999; ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2008).

Um dos principais coagulantes empregados é o sulfato de alumínio. Esse coagulante é um pó ou granulado, que apresenta fórmula química $Al_2O_3.nH_2O$, e sua dosagem está relacionada a turbidez, pH e temperatura da água bruta (SCALIZE et al., 2012). Quando um sal de alumínio é adicionado à água o íon de alumínio (Al^{+3}) hidrolisa com a água para produzir ácido (H^+):



Assim, o sulfato de alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) adicionado à água produz hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$) e os íons de hidrogênio resultantes (H^+) produzem uma quantidade equivalente de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Se a água contém fontes de alcalinidade (OH) que ofereçam uma capacidade suficiente de neutralizar a acidez, se forma um precipitado, o hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$). Ele é parte do RETA, que é um líquido gelatinoso, constituído de água e partes sólidas, partículas orgânicas e inorgânicas (BUGBEE; FRINK, 1985; RICHTER, 2009; DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

Estudos de Moreira et al. (2011) com resíduos de uma ETA com coagulante de sulfato de alumínio ferroso, em Ceilândia- DF, demonstraram que a composição do RETA tem grande quantidade dos elementos Si, Al, Fe, Ti e K, pequena quantidade de Ca e Mg e apenas traços de P, Be, Na, Mn, Co, Cu, Zn, Ba, Pb, Sr e Y. Para os autores do trabalho, essas composições estão bastante relacionadas ao tipo de solo onde o manancial se encontra.

Segundo Hsieh e Raghu (1997), o RETA pode ser classificado de acordo com as seguintes características:

- Ambientais: os parâmetros são importantes, principalmente relacionados à disposição no meio ambiente, como pH, sólidos, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, presença de pesticidas e fertilizantes, compostos orgânicos voláteis.

- Geotécnicas: esta caracterização é necessária para evidenciar possíveis formas de remoção de água e de futuras utilizações para os sólidos resultantes. Alguns desses parâmetros são o tamanho e distribuição das partículas, limite de plasticidade e

limite de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade.

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), esses resíduos podem ser classificados em resíduos classe I (perigosos) ou classe II (não perigosos), podendo essa última ser enquadrado em não inertes ou inertes. Dessa forma, os RETAs são considerados resíduos classe II, não inerte (ABOY, 1999). Estudos de Silva et al. (2012) evidenciaram que ambos RETA provenientes de tratamentos com coagulante químico (PAC- Policloreto de Alumínio) e natural (*Moringa oleifera*) se enquadraram como resíduos classe II A – não inertes. Embora se esperasse uma melhor classificação para o resíduo proveniente de um tratamento com o coagulante natural em relação ao resíduo com PAC, os autores justificaram o resultado devido à elevada concentração de metais pesados na água bruta.

4.3. Aspectos normativos

A história do Brasil no que se refere a preservação ambiental e descarte de resíduos sólidos, se iniciou na década de 90, principalmente com a promulgação da Lei nº 9.605 de 1998 que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de atividades lesivas ao meio ambiente. Por meio dessa lei, em seu artigo 54, tornou-se crime ambiental causar poluição de qualquer natureza que possa resultar em danos à saúde humana, fauna ou flora (BRASIL, 1998).

Nesse mesmo período, por meio da Lei 9.433 de 1997 a Política Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu que o despejo de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, em corpos d'água alterando o regime, quantidade ou qualidade do recurso hídrico está sujeito à outorga de direitos de uso da água (BRASIL, 1997).

Posteriormente, os resíduos sólidos foram destacados mediante a caracterização dos mesmos pela NBR10004 (ABNT, 2004). De acordo com essa norma, pode-se caracterizar em resíduos sólidos aqueles que se encontram nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição e inclusive os resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água e de Efluentes.

Recentemente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305, de 2010, estabeleceu princípios, objetivos, diretrizes e ações, além de instrumentos como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, para instituir a gestão dos resíduos sólidos no Brasil.

Essa lei atribui responsabilidades para todas as esferas da nação, União, Estados e Municípios, além dos setores empresariais e aos cidadãos (BRASIL, 2010; 2011b).

Apesar desse arcabouço jurídico-legal e da urgência para a implantação das leis vigentes, pouco ainda é efetivamente feito em relação à gestão de RETA. Isso ocorre devido a problemas de planejamento e divergências na interlocução entre os entes federados – União, Estados e Municípios e os setores da sociedade (BRASIL, 2011b).

Um desses problemas seria a forma de remoção do RETA em algumas Estações de Tratamento, visto que no Brasil, a remoção do resíduo dos decantadores pode ocorrer em intervalos de até 6 meses. Isso acarretaria o acúmulo do resíduo com elevada concentração de compostos tóxicos e dificultaria a sua remoção (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

Enfatizando a disposição do RETA em solo, no Brasil, não há normas que regulamentem essa prática. No entanto, existe a resolução nº 375 do Conama (CONAMA, 2006), que define concentrações máximas de substâncias inorgânica e patógenos do resíduo gerado das Estações de Tratamento de Esgoto para a disposição em solos (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Concentrações máximas de substâncias inorgânicas permitida em resíduo de ETE para sua disposição em solo.

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida (mg kg ⁻¹)
As	41
Ba	1300
Cd	39
Pb	300
Cu	1500
Cr	1000
Hg	17
Mo	50
Ni	420
Se	100
Zn	2800

Tabela 2. Concentração máxima de patógenos permitida em lodo de ETE para sua disposição em solo.

Concentração de patógenos	Tipo de resíduo de esgoto ou produto derivado	
	Tipo A	Tipo B
Coliformes Termotolerantes	$<10^3$ NMP g ⁻¹ de ST	$<10^6$ NMP g ⁻¹ de ST
Ovos viáveis de helmintos	$< 0,25$ ovo g ⁻¹ de ST	< 10 ovo g ⁻¹ de ST
Salmonella	Ausência em 10 g de ST	SR
Vírus	$< 0,25$ UFP ou UFF g ⁻¹ de ST	SR

ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa; SR: Sem Regulamentação

Fonte: Conama (2006)

Os produtos derivados de resíduos de esgoto podem ser de dois Tipos: A e B, de acordo com as concentrações de organismos patogênicos presentes nestes materiais. O Tipo A é um material com maior segurança sanitária e, desta forma, com menores restrições de uso (TEIXEIRA, 2012).

Dessa maneira, embora não existam leis específicas para a disposição do RETA em solo, esse resíduo deve ao menos possuir quantidades de metais pesados e organismos patogênicos inferiores ao que é preconizado como limite pelo Conama 375.

Enquanto em países desenvolvidos como Estados Unidos e Reino Unido menos de 12% de todo o RETA produzido é disposto em corpos d'água (CORNWELL et al., 2000; SIMPSON; BURGESS; COLEMAN, 2002) no Brasil, em estados como Minas Gerais e Goiás cerca de 82% desse resíduo ainda é disposto nos recursos hídricos (IBGE, 2010).

No que diz respeito à legislação ao redor do mundo, leis bastante específicas já são bem difundidas e, em alguns países são aplicadas. Em 1972 os Estados Unidos da América promulgaram a primeira lei federal, a Clean Water Act - CWA, que regula a poluição das águas. Nessa lei, o RETA é classificado como resíduo que deve ter uma disposição adequada (U.S., 1972). Nos últimos anos, nesse país foi publicado o Federal Water Pollution Control Act, conjunto de leis que estabelece políticas de metas para o controle de poluentes na água, subsídios para obras de despoluição de recursos hídricos e também dispõe as penalidades criminais no descumprimento dessas normas (U.S., 2002).

No cenário da legislação Sul-Africana, a responsabilidade pela regulação da

disposição final de resíduos é atribuída ao Department of Water Affairs and Forestry – DWAF (DWAF, 2003). Pela Environment Conservation Act 73 -ECA, lei de 1989, nenhuma pessoa pode dispor de resíduos a menos que seja permitida pela ECA (ÁFRICA DO SUL, 1989).

Em Portugal há um amplo quadro legal aplicável para a gestão de resíduos sólidos. Por meio do Decreto-Lei n° 178 de 2006, há instrumentos de incentivo à reciclagem e valorização de RETA, com disposição no solo, aterros e como uma das matérias primas para cimenteiras (PORTUGAL, 2006). Portugal está inserido no contexto da União Europeia, que possui a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, que estabelece um quadro jurídico para o tratamento de resíduos na Comunidade Europeia, visando proteger o ambiente e a saúde humana através da prevenção dos impactos adversos da produção e da gestão de resíduos (E.U., 2008).

Em nível mundial tem-se o advento da norma ISO 24512 (ISO, 2007) que recomenda o uso de indicadores de performance para o acesso a serviços de água tratada, a fim de avaliá-lo e propor melhorias. No caso dos resíduos, é utilizada a porcentagem do RETA reutilizado ou reciclado após tratamento e a porcentagem de água de lavagem de filtros reutilizada ou reciclada após tratamento.

Achon, Barroso e Cordeiro (2013) avaliaram 5 (cinco) ETAs brasileiras mediante ao preconizado pela ISO 24512 e verificaram três delas não dimensionam a quantidade de resíduos gerados ou avalia suas características. Além disso, há a ausência de dados relacionados ao setor, o que impossibilita o uso de indicadores como ferramentas para otimização da gestão.

4.4. Diferentes usos do RETA

Em vista do impacto ambiental gerado pela disposição inadequada desse resíduo, tem-se a necessidade de aplicações e reusos alternativos. Caniani et al. (2013) propuseram aplicações geoambientais do resíduo, tais como a construção de camadas de barreira para aterro e para a formação de bio-solos, quando misturado com compostos orgânicos de resíduos urbanos.

Outros autores analisaram o RETA em substituição da areia ou solo para a fabricação de artefatos, blocos, pavimentos em concreto de cimento e cerâmica vermelha (HOPPEN et al., 2005; HOPPEN et al., 2006; RODRIGUES; HOLANDA, 2013). Para esse fim, a quantidade segura de resíduo adicionada nas misturas é variável, dependendo

da origem e componentes do resíduo.

O resíduo pode ainda ser empregado na remoção de fósforo (P) em águas poluídas, visto que esse elemento tem sido o principal responsável pela aceleração da eutrofização de ambientes aquáticos (ANDERSON et al., 1995). Devido a composição principal do RETA ser o alumínio ou hidróxidos de ferro, que são utilizados como coagulantes no processo de tratamento, os íons desses elementos aumentam a adsorção e precipitação química do fósforo (RAZALI; ZHAO; BRUEN, 2007). O alumínio do RETA pode remover até 80% de fósforo condensado (BABATUNDE et al., 2008).

Além disso, o resíduo de ETA pode adsorver outros compostos químicos, dentre eles o arsênio, sulfeto de hidrogênio, boro, mercúrio e selênio (HOVSEPYAN; BONZONGO, 2009; IPPOLITO; SCHECKEL; BARBARICK, 2009; GIBBONS; GAGNON, 2010; IRAWAN; LIU; WU, 2011; WANG; PEI, 2012).

Embora haja a eficiência de remoção de fósforo pelo RETA em águas contaminadas, essa característica pode dificultar a eficiência de uso do resíduo no solo para o plantio em vista que em alguns níveis o Al no solo pode ser prejudicial a animais e plantas (MOREIRA et al., 2011).

Em contrapartida, muitas plantas, como as nativas do Cerrado, utilizam as estratégias de exclusão ou de absorção do alumínio, resultando sem nenhum efeito prejudicial para seu crescimento vegetativo, reprodução ou suas funções metabólicas (HARIDASAN, 2006). Isso ocorre, pois, solos desse bioma são naturalmente ácidos, com valores de pH que permitem a ocorrência natural do íon trivalente Al^{+++} , sendo que as plantas com ocorrência no Cerrado evoluíram para não só apenas sobreviver nessas condições, mas também, em algumas espécies, necessitarem desses ambientes (HARIDASAN, 2006).

4.4.1. RETA para o uso agrícola

A disposição do RETA como substituto do solo tem se tornado uma eficaz alternativa de reuso. Diversos autores avaliaram o RETA em relação a características de solo (Tabela 3):

Tabela 3. Características de RETAs em relação a parâmetros do solo.

Parâmetros	Cox; Camberato; Smith (1997)	Codling; Chaney; Mulchi (2000)	Haustein et al. (2000)	Dayton; Basta (2001)	Elliott et al. (2002)	Agyin-Birikorang; O'Connor (2007)		
						ETA 1	ETA 2	ETA 3
Areia (%)	-	-	1	-	-	72,5	76	80,4
Silte (%)	-	-	1	-	-	12,7	11,8	11,5
Argila (%)	-	-	98	-	-	14,8	12,2	8,13
pH	5,1	8,0	5,8	5,3 a 7,8	5,25	6,5	7,1	6,8
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)	-	0,43	0,04	0,22 a 1,1	-	1,49	1,21	,02
Carbono Total (g kg ⁻¹)	-	-	-	17 a 149	191	102 ± 12,1	168 ± 42,4	182 ± 63,1
Nitrogênio Total (g kg ⁻¹)	-	-	-	1,3 a 18,4	7,3	7,72 ± 1,32	3,61 ± 0,91	7,21 ± 0,83
Fósforo Total (g kg ⁻¹)	2,4	11,6	-	-	2,79	3,42 ± 0,2	1,84 ± 0,2	0,83 ± 0,1
Alumínio Total (g kg ⁻¹)	-	-	46,7	-	-	90,1 ± 12,2	68,2 ± 16,2	77,1 ± 18,1
Ferro Total (g kg ⁻¹)	-	-	-	-	-	6,24 ± 0,6	8,71 ± 0,4	10,7 ± 2,6
Oxalato de Fósforo (g kg ⁻¹)	-	-	-	-	2,56	2,98 ± 0,1	1,66 ± 0,1	0,74 ± 0,1
Oxalato de Alumínio (g kg ⁻¹)	-	-	-	-	71,9	79,1 ± 12,1	54,3 ± 6,2	68,2 ± 8,4
Oxalato de Ferro (g kg ⁻¹)	-	-	-	-	1,66	5,24 ± 1,1	7,22 ± 0,8	16,8 ± 1,3
Fósforo Solúvel em Água (g kg ⁻¹)	-	<0,05	-	-	-	-	-	-
Alumínio Extraível (cmol kg ⁻¹)	0,30	-	-	-	-	-	-	-
P Mehlich (1 mg hg ⁻¹)	37,2	-	-	-	-	-	-	-
Densidade (g cm ⁻³)	-	-	-	0,56 a 1,3	-	-	-	-
Água disponível para plantas (g kg ⁻¹)	-	-	-	26 a 416	-	-	-	-
Materia Orgânica (%)	-	-	3,75	-	-	-	-	-

Dayton e Basta (2001) caracterizaram o resíduo de 17 estações de tratamento de água nos Estados Unidos em razão das suas propriedades para o plantio. Os resultados demonstraram que todos RETAs estudados foram adequados para o plantio com bases nos níveis de nutrientes disponíveis.

Em relação às características físicas, Park et al. (2010) avaliaram a possibilidade de utilizar o RETA como material alternativo à areia. Eles verificaram propriedades físicas, tais como curva de retenção de água, difusividade relativa de gás (D/D_0), condutividade hidráulica saturada, porosidade, capacidade disponível de retenção de água e densidade do solo. Em suma, os resultados foram melhores para o RETA do que para a areia. Isto foi atribuído à criação de poros agregados através da ligação de partículas de silte e argila no processo de floculação do resíduo na ETA.

Bugbee e Frink (1985) também sugeriram o RETA como material que pode aumentar a aeração e capacidade de retenção de umidade em comparação à solos contendo partes iguais de terra, perlita e turfa que eram muito utilizados para crescimento de espécies em estufas nos Estados Unidos. Eles avaliaram essa propriedade física do resíduo em tomates e margaridas, que obtiveram melhor desenvolvimento devido à essa característica.

Um dos maiores problemas observados na disposição do RETA no solo são as baixas taxas de P disponível para a planta. Diferentes autores já relataram a dinâmica do fósforo no solo com RETA (BASTA; ZUPANIC; DAYTON, 2000; CODLING; CHANEY; MULCHI, 2000; DAYTON et al., 2003; AGYIN-BIRIKORANG, 2006; AGYIN-BIRIKORANG; O'CONNOR, 2007).

As baixas taxas acontecem devido à presença elevada de elementos potencialmente tóxicos, principalmente o cobre e o alumínio, que se ligam fortemente ao fósforo (BUGBEE; FRINK, 1985; DAYTON; BASTA, 2001). Bugbee e Frink (1985) observaram que o crescimento restrito das plantas pode estar relacionado na dificuldade da conversão do fósforo presente em formas disponíveis para as espécies. Embora a presença do RETA resultou em redução dos teores de P no solo, não houve a indução de outras deficiências de nutrientes ou toxicidades.

Para evitar esse problema, a utilização de alcalinizantes e a própria natureza alcalina do RETA de algumas estações pode ser uma solução para solos ácidos e pobres em fósforo (LOMBI; STEVENS; MCLAUGHLIN, 2010), visto que a absorção do alumínio está intimamente relacionada ao pH do solo. A espécie dominante de alumínio disponível no solo para a absorção de plantas é o íon Al^{+++} , que se encontra estável a um

pH inferior a 4,4 (DONG; RAMSEY; THORNTON, 1995). Adições de resíduos orgânicos (substâncias húmicas e ácidos orgânicos) em solos ácidos também podem reduzir a toxicidade de Al (diminuindo assim a necessidade de calagem) e melhorar a disponibilidade de P (HAYNES; MOKOLOBATE, 2001).

Além disso, estudos de Agyin-Birikorang e O'Connor (2009) investigaram as propriedades químicas do RETA ao longo do tempo. Análises de alumínio de RETAs gerados recentemente eram potencialmente mais reativas do que aquelas armazenadas por mais de 6 meses. Assim, os RETAs mais antigos possuem baixa disponibilidade de Al^{3+} livre, diminuindo a toxidez para o uso no plantio.

Simultaneamente, é relevante mencionar que em solos impactados onde há concentrações excessivas de P solúvel, o RETA pode ser utilizado no controle desses níveis, convertendo terras improdutivas em ecossistemas saudáveis capazes de suportar ambas as comunidades vegetais e animais (BASTA; ZUPANCIC; DAYTON, 2000; AGYIN-BIRIKORANG; O'CONNOR, 2007).

A contaminação do solo com P tem origem especialmente em solos carregados de estrume encontrados adjacente a celeiros, currais e pastagens (ANDERSON et al., 1995). Codling, Chaney e Mulchi (2000) testaram resíduos ricos em alumínio e ferro em solos degradados com grandes quantidades de P solúvel de granjas nos Estados Unidos. Esses autores observaram que os resíduos diminuíram substancialmente o excesso de P solúvel dos solos.

Bittencourt et al. (2012) por sua vez, observaram o efeito da aplicação de RETA em solo degradado, na presença e ausência de resíduo de esgoto, na produtividade de milho e nas características de fertilidade do solo. Nesse estudo, a aplicação de RETA não alterou as características do solo quanto às variáveis analisadas. Porém, o RETA quando associado com o resíduo de esgoto foi favorável à dinâmica do N no solo até a dose de 37 mg ha^{-1} . Por fim essa associação neutralizou o Al e alterou pH, Ca, C e P do solo.

Diante disso, o RETA em solo pode ter sua eficiência relacionada ao tipo de solo utilizado no plantio. Recomenda-se o uso em solos deficientes de matéria orgânica, como um substituto agrícola e um fertilizante de baixo nível ou como um substituto do solo para recuperação de áreas degradadas (OH et al., 2010).

Figueiredo-Neto (2011) realizou experimentos utilizando o RETA como substituto de um latossolo Vermelho-Amarelo proveniente do Cerrado na produção de mudas de espécies nativas de Pau-de-óleo (*Copaifera langsdorffii*) Gonçalo Alves

(*Astronium fraxinifolium*), Canafístula (*Peltophorum dubium*) e Ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba*). O tratamento com 56% de RETA em substituição ao solo foi o que apresentou o melhor desenvolvimento das espécies, demonstrando que o RETA pode contribuir para nutrição do solo e, conseqüentemente, crescimentos das mudas.

Ademais, outro possível problema na aplicação do RETA em plantio é a absorção de metais pela planta. Alguns autores relataram os principais elementos, inclusive metais pesados, encontrados no RETA que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante primário (Tabela 4).

Tabela 4. Características do RETA em relação aos principais elementos químicos encontrados.

Elementos (mg kg ⁻¹)	Heil; Barbarick (1989)	Elliott; Dempsey; Maille (1990)	Cox; Camberato; Smith (1997)	Barbosa <i>et al.</i> (2000)		Codling; Chaney; Mulchi (2000)	Elliott et al.(2002)
				Estação Chuvosa	Estação Seca		
Al	77.000,0	-	47.900,0	171.769,0	57.730,0	62.000,0	89.100,0
Ca	1.200,0	-	400,0	-	-	9,0	15,2
Cd	2,8	1,0-2,0	-	-	-	-	-
Cr	-	40,0-64,0	-	34,5	38,5	5,0	-
Cu	32,0	135,0-230,0	-	70,0	24,0	1,0	-
Fe	23.000,0	-	12.800,0	130.500,0	392.500,0	204.000,0	3660,0
Hg	-	-	-	-	-	-	-
K	2.700,0	-	-	-	-	-	-
Mg	1.900,0	-	-	-	-	400,0	117,0
Mn	400,0	-	-	1.485,0	1.415,0	2100,0	-
Mo	11,0	-	-	-	-	-	-
N	7.700,0	-	-	19,9	6,9	-	-
Na	200,0	-	-	-	-	121,0	-
Ni	9,0	26,0-65,0	-	50,0	79,5	0,69	-
P	1.300,0	-	-	75.220,0	54.060,0	-	-
Pb	149,0	47,0-439,0	-	56,0	75,0	<1	-
Zn	72,0	195,0-815,0	-	64,0	29,0	19,0	-

Quando o resíduo é proveniente de uma ETA que utiliza o sulfato de alumínio com coagulante, apresenta o elemento alumínio em maior quantidade devido à composição do coagulante. Demais metais podem estar relacionados a características naturais da água e solo do corpo hídrico captado ou ao aporte de efluentes domésticos e industriais nos mananciais onde a água é captada (BOTERO et al., 2009).

Um estudo na África do Sul avaliou que diferentes RETAs têm potencial para aplicação no solo, embora haja preocupações relacionadas à liberação de metais pesados (TITSHALL; HUGHES, 2005).

Elliott, Dempsey e Maille (1990), em suas pesquisas, observaram que os níveis totais médios de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb e Zn nos RETA são geralmente de 10% a 35% dos valores correspondentes em resíduo de esgoto, que são muito mais aplicados em solos. Nas oito ETAs estudadas, apenas duas tinham níveis totais de Ni perto dos níveis máximos recomendados nos Estados Unidos para aplicação de resíduos no solo. Apesar disso, se as condições do solo forem muito ácidas ($\text{pH} < 5$) pode aumentar a disponibilidade de Cd no solo em 28%.

4.5. Cerrado

O Cerrado é a principal região de savana na América e em sua área original ocupava cerca de 2 milhões de km^2 , sendo considerado o segundo maior bioma brasileiro. O número de espécies vegetais supera 6.000 e sua região central de distribuição é o Planalto Central Brasileiro, sob clima sazonal, com verões úmidos e invernos secos (RATTER; RIBEIRO; BRIDGEWATER, 1997; SANO et al., 2008).

Esse bioma se encontra em estados como Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins (SANO et al., 2010). Até os anos 70, o uso do solo em áreas de Cerrado nesses estados era baseado na pecuária utilizando a própria vegetação natural, após essa década houve mudanças com a expansão agropecuária (KLINK; MACHADO, 2005).

Dessa forma, em poucos anos, mais de 40% da vegetação nativa do Cerrado se transformou em áreas de agricultura, pastagem e urbanização (SANO et al., 2010). Na Figura 2 pode-se observar a expansão agropecuária no bioma, que atinge principalmente os estados do Mato Grosso do Sul e de São Paulo, cujas áreas remanescentes estão praticamente extintas.

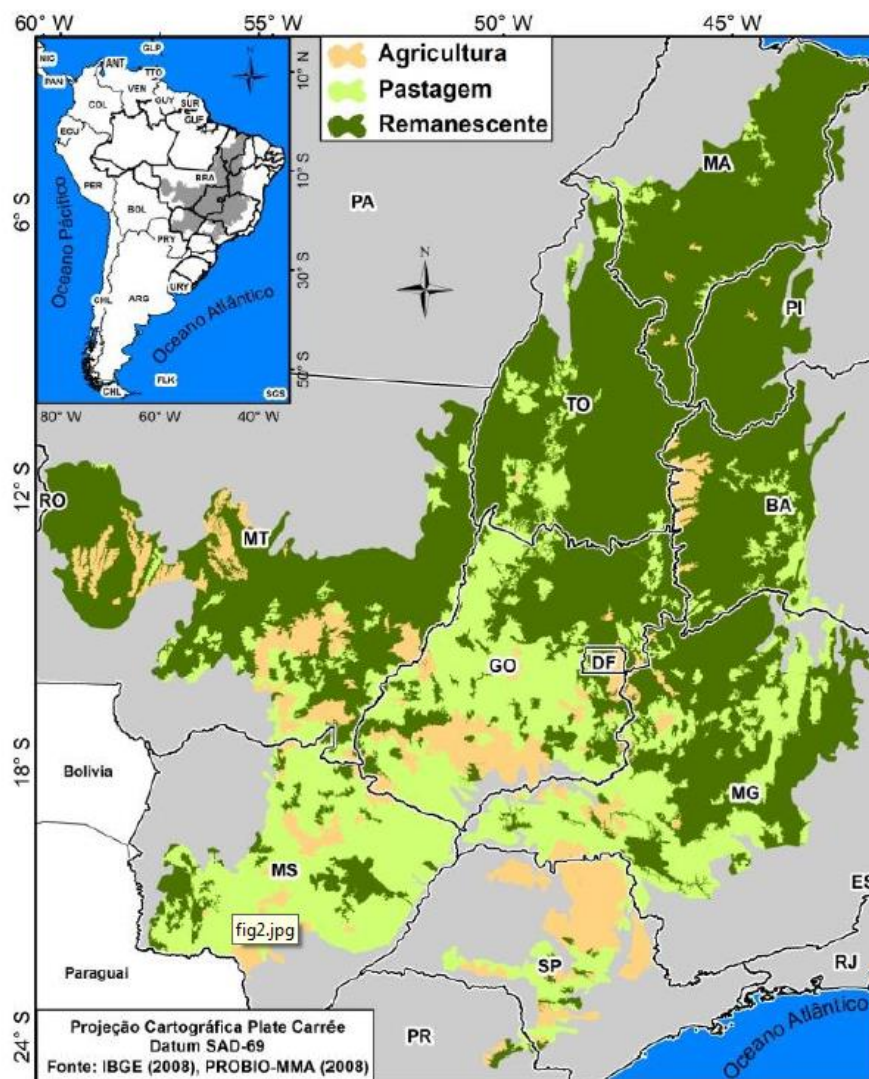


Figura 2. Mapa das áreas remanescentes, de agricultura e de pastagem do Cerrado em 2008. Fonte: Sano et al. (2008).

Em Goiás há cerca de 5 milhões de hectares de cultivo de soja, milho, e, mais recentemente, algodão e cana de açúcar, que são produzidos com alto emprego de máquinas (SANO et al., 2010). Esse estado ainda é reconhecido como um dos principais produtores de carne no Brasil, com cerca de 9% do mercado do país (BRASIL, 2013).

Em vista dessa expansão agropecuária, que em larga escala gera grandes modificações de paisagens e ameaça espécies, há o interesse de diferentes setores na conservação do bioma. Para isso, deve acontecer o fortalecimento e ampliação de áreas protegidas e melhoria de práticas agropecuárias (KLINK; MACHADO, 2005). Visando essa preservação, existe o intuito de desenvolver tecnologias para a revegetação nativa e melhoria das condições do solo em áreas degradadas.

Solos do Cerrado são naturalmente ácidos, antigos, profundos, de baixa fertilidade e possui altos níveis de alumínio e ferro (SANO; ALMEIDA, 1998). Cerca de 90% dos solos do Cerrado são distróficos, de cor vermelha ou vermelha amarelada, porosos, permeáveis, bem drenados e bastante lixiviados. Devido a características desse bioma, dependendo de como o solo é manejado, há recorrentemente degradação em que o mesmo fica muito exposto, facilmente erodido e frequentemente sujeito à formação de voçorocas (COUTINHO, 2013).

4.6. Espécies com ocorrência no bioma

4.6.1. Jatobá

O Jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*) é uma árvore de 15-20m de altura, com tronco de até 200 cm de diâmetro pertencente à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae. Ela pode ser classificada como espécie climáx (secudária tardia) na sucessão florestal, semidecídua e pouco exigente em relação à fertilidade do solo (LEE; LANGENHEIM, 1975; KAGEYAMA; BIELLA; PALERMO, 1990). O fruto é um legume indeiscente, marrom, com 2-4 sementes, muito procurado por várias espécies da fauna, que dispersam as sementes e por isso o Jatobá é indicado para reflorestamento; as folhas são compostas de dois folíolos brilhantes e as flores estão dispostas em panículas terminais contendo 4 sépalas verde-creme e 5 pétalas brancas a creme-alaranjada (LORENZI, 2014). Ocorre em Floresta Estacional Semi Decidual e Floresta Ombrófila Densa até zonas subtropicais secas e úmidas, tolerando precipitação entre 600 e 4200 mm, temperatura média anual entre 22 e 28 ° C e solos com pH entre 4 e 7,5 (LEE; LANGENHEIM, 1975).

4.6.2. Caroba

A Caroba (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.) é uma árvore de médio porte com altura de 3-10 m, pertencente à família Bignoniaceae, apícola, utilizada principalmente na arborização e ornamentação urbana. A planta é decídua, heliófita, pioneira e xerófita, características de encostas rochosas da floresta latifoliada e transição para o cerrado. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis, amplamente dispersas pelo

vento, e floresce durante os meses de setembro/dezembro com as plantas totalmente despidas de sua folhagem velha (POTT; POTT, 1994; LORENZI, 2014).

4.6.3. Pau-de-óleo

Pau-de-óleo (*Copaifera langsdorffii*) é uma árvore pertencente à família das fabáceas e à subfamília Caesalpinioideae, ela atinge até 35 m de altura, e ocorre em todo o território brasileiro (LORENZI, 2014). Aparece comumente em solos bem drenados e, de maneira geral, em solos de matas ciliares e matas semi-decíduas (Machado 1990). As folhas são alternas, compostas paripinadas, com 3 a 5 jugos, folíolos opostos ou alternos, glabros e as folhas novas são avermelhadas. As flores são brancas, pequenas, hermafroditas, reunidas em panículas terminais. Os frutos são do tipo folículo com uma semente preta envolvida por um arilo de cor laranja (FREITAS; OLIVEIRA, 2002).

4.6.4. Canafístula

Canafístula (*Peltophorum dubium*) é uma árvore pertencente à família Fabaceae, subfamília Caesalpinioideae, decídua, heliófita, comum na Floresta Estacional Semidecidual. É uma planta de rápido crescimento, comumente encontrada colonizando pastagens, ocupando clareiras e bordas de matas, sendo também utilizada para a composição de áreas de reflorestamentos. Possui flores amarelas, com panículas terminais. A espécie apresenta extensa distribuição natural, desde a Bahia, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul até o Paraná. A dispersão das sementes é anemocórica (LORENZI, 2014; DURIGAN ET AL., 1997 E MARCHIORI, 1997).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de coleta dos resíduos

O RETA foi coletado na Estação de Tratamento de Água Eng. Rodolfo José da Costa que está localizada em Goiânia, Goiás (16°34'53.48"S; 49°19'44.19"O) adjacente ao Rio Meia Ponte. A ETA produz 4.500.000 m³/mês de água tratada, sendo responsável pelo abastecimento de 50% de Goiânia (GO), incluindo bairros de Aparecida de Goiânia e Trindade. Ela trata água bruta no Rio Meia Ponte que tangencia as regiões Nordeste, Leste e Sudeste da Capital. Estima-se que sejam produzidas 10 toneladas ano⁻¹ de massa seca de RETA na Estação.

A ETA é do tipo ciclo completo e utiliza o sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) como coagulante primário. A Estação possui Calha Parshall com medição ultrassônica da vazão, doze flocculadores mecânicos, três decantadores convencionais com raspadores mecanizados e descarga de fundo automatizada, seis filtros com duas células cada, com dupla camada (areia e antracito) e câmara de desinfecção.

A ETA possui duas lagoas de secagem para recebimento dos resíduos provenientes dos decantadores e a água de lavagem dos filtros, onde acontece a sua desidratação. As lagoas recebem o RETA de maneira alternada, enquanto uma lagoa recebe o mesmo a outra espera a secagem por aproximadamente 1 ano. Quando o material é seco, ele é lançado em outras áreas dentro da propriedade da ETA. Na Figura 3 observa-se a área onde está localizada a ETA, bem como as Lagoas de secagem e a disposição do RETA ao lado das lagoas.

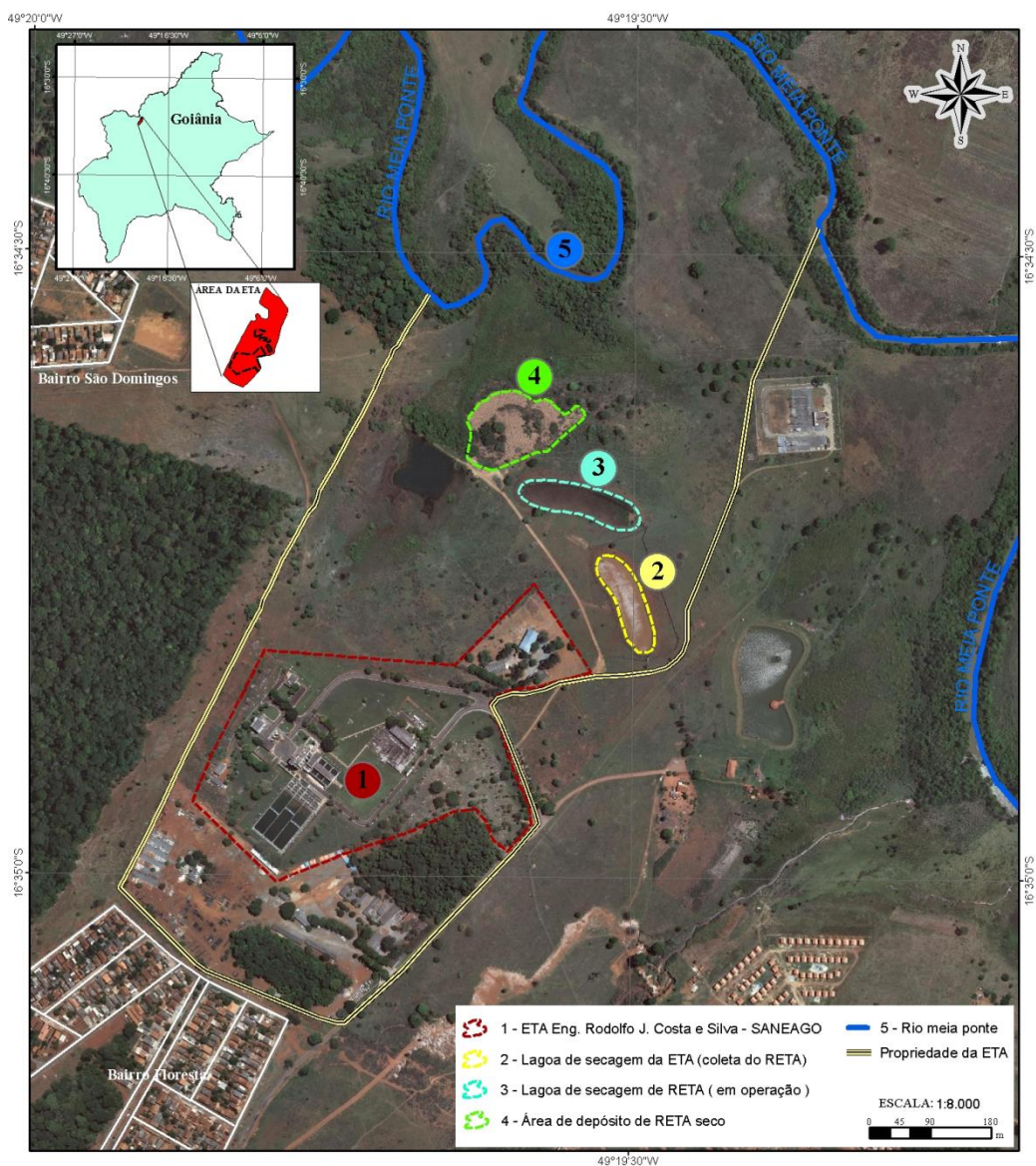


Figura 3. Localização de Goiânia e do Rio Meia Ponte com a ETA Meia Ponte e suas lagoas de secagem e área de disposição do resíduo. Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

5.2. Coleta e preparo do RETA

O RETA foi coletado em outubro de 2013 (Figura 4), esse resíduo foi triturado em máquina de trituração compacta do tipo triturador de pedra moinho formando um material com granulometria inferior ou igual a 2,4 mm.



Figura 4. RETA em lagoa de secagem (a), após a coleta (b) e após a trituração (c).

5.3. Coleta e preparo do solo

Para o plantio, foi coletado na camada de 0-20 centímetros de solo latossolo vermelho-amarelo proveniente da propriedade em que ocorreu o experimento, que foi destorroado e passado por peneira de 4 mm. Após a coleta, o solo foi ensacado e armazenado até o dia do início do experimento.

5.4. Área do experimento

O experimento foi conduzido no Viveiro Madeira Real, localizado na Fazenda Santo Antônio, estrada de Aparecida de Goiânia ao Vilarejo Vale das Pombas, Aparecida de Goiânia, Estado de Goiás.

5.5. Procedimento Experimental

Na Figura 5 é ilustrado por meio de um fluxograma as fases do procedimento experimental.

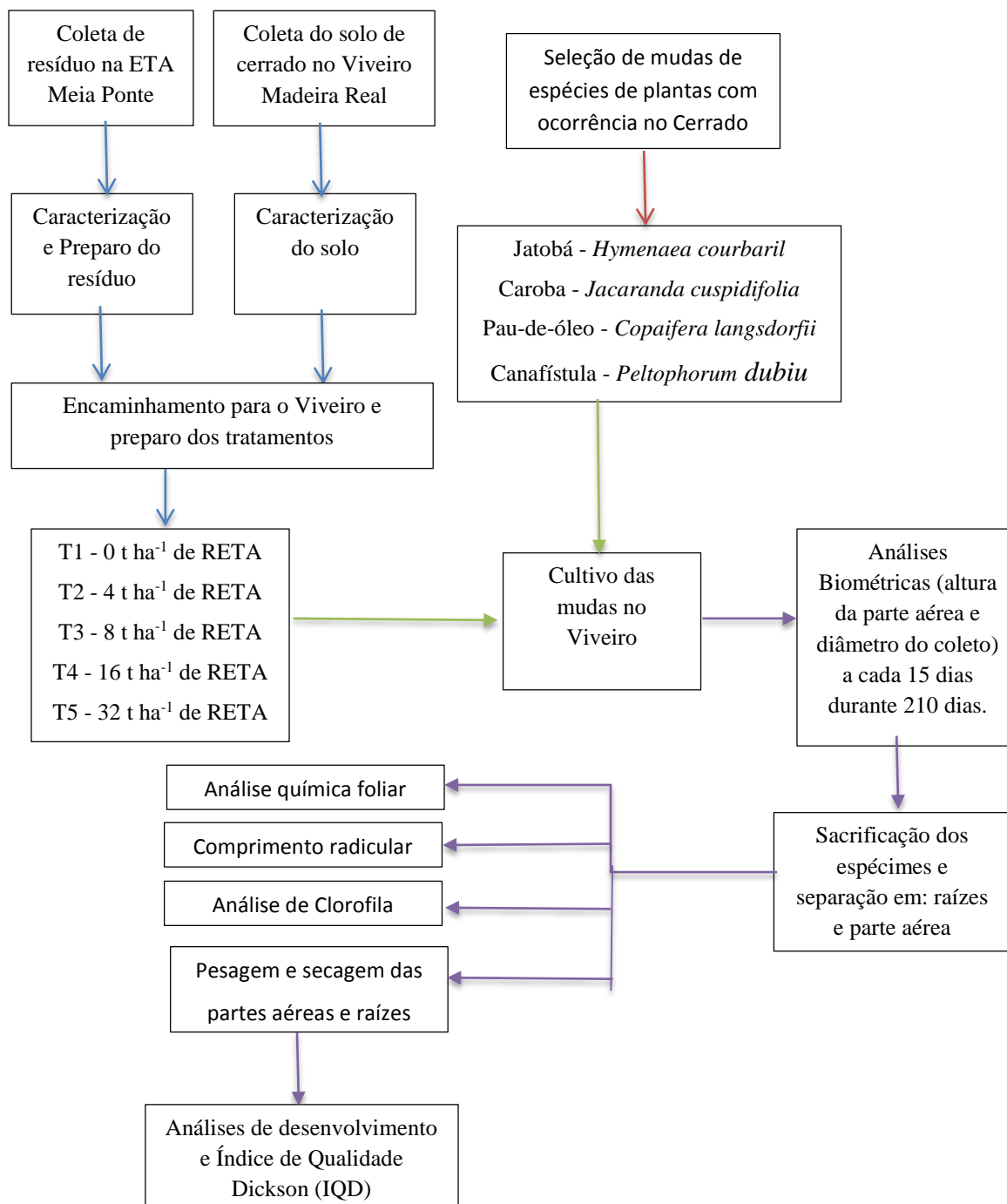


Figura 5. Fluxograma do procedimento experimental realizado para caracterização de solo, RETA e cultivo das plantas.

5.6. Cultivo das mudas de Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula

Foram utilizados vasos de 30 litros, com furos de 10 mm no fundo. (PREVITALI, 2007). Duas semanas antes do plantio foi realizada a mistura do solo (27 kg), 10 gramas de NPK (0-18-10) e diferentes dosagens do RETA 0; 4; 8; 16 e 32 t ha⁻¹. As misturas ocorreram com o auxílio de uma betoneira, em seguida foram conduzidas aos vasos e irrigadas até sua capacidade de campo ser atingida (SILVA; MAIA; BIANCHINI, 2006).

Após o preparo dos vasos, no dia 8 de julho de 2014 foi realizado o plantio de 4 espécies de plantas com ocorrência no Cerrado que possuem potencial para reflorestamento Caroba (*Jacaranda cuspidifolia*), Canafístula (*Peltophorum dubiu*), Jatobá (*Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa*) e Pau-de-óleo (*Copaifera langsdorfii*) com aproximadamente 20 centímetros de altura, retiradas manualmente de tubetes de 175 cm³.

Os vasos foram espaçados, afim de evitar competição por luz. Detalhes do cultivo dos espécimes podem ser observados nas fotografias a seguir (Figura 6).



Figura 6. Detalhes do cultivo dos espécimes, A – Sacos contendo o solo utilizado para o plantio; B- Betoneira para mistura dos tratamentos; C – Primeiro dia de experimento; D – Casualização dos indivíduos; E – Visão geral do viveiro no último mês de crescimento.

5.7. Temperatura e Umidade

Durante o experimento as plantas foram irrigadas por microaspersão duas vezes por dia e a variação da temperatura e umidade foi acompanhada com um registrador eletrônico modelo LogBox-RHT-LCD, que registrou a cada dois minutos esses dados ambientais do viveiro (Tabela 5).

Tabela 5. Temperatura e Umidade durante o experimento no Viveiro Madeira Real.

	Mínima	Máxima	Média
Temperatura (°C)	14,1	44	25,2
Umidade (%)	15,1	100	73,6

5.8. Análises Mineralógicas do RETA

As amostras do RETA foram peneiradas até atingir granulometria $<600\mu\text{m}$, e inseridas no Difratorômetro de Raios-X modelo SHIMADZU, LabX, XRD-6000, da Central Analítica do Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás, com radiação de $\text{CuK}\alpha$, velocidade de varredura de $2^\circ/\text{min}$, intervalo de medida de 0,020, sendo a varredura de 10 a $80^\circ 2\theta$. As interpretações dos difratogramas e identificações dos minerais foram feitas com o software JADE 6.5 para Windows, XRD Pattern Processing for the PC, 2002 Materials Data, Inc.

Para a análise da micro estrutura do material realizou-se ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), modelo Jeol, JSM – 6610, equipado com microsonda (EDS) no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução do Instituto de Física da UFG.

5.9. Análises microbiológicas, bacteriológicas e parasitológicas do RETA

Foram realizadas análises bacteriológicas (coliformes totais e termotolerantes, *Escherichia coli* e salmonela sp), parasitológica (ovos de helmintos).

5.10. Análises físico-químicas do solo e do RETA

Foram realizadas análises físicas (série de sólidos e granulometria) e de fertilidade (pH (CaCl_2), pH (H_2O), Ca, Mg, Ca+Mg, H+Al, Capacidade de troca de cátions, P, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, saturação de bases, matéria orgânica, Al total) e metais pesados (Cd, Ni, Pb e Cr).

Essas análises foram realizadas de acordo com Método de Análises do solo sugerido pela Embrapa (1997), já empregado por SILVA et al. (2003), Ruiz (2005), Mazurana et al. (2011) e Bono, Macedo e Tormena (2013).

5.11. Análise de crescimento das plantas

A altura total das plantas e diâmetro do coleto foram medidas, com régua graduada e paquímetro digital a 5 centímetros do solo, respectivamente, no momento do plantio e em intervalos de 15 dias totalizando 16 medições em 210 dias de experimento.

Após esse período, os indivíduos foram separados em parte aérea e sistema radicular, que foram medidos e embalados em sacos de papel etiquetados com o número dos respectivos tratamentos. As raízes foram lavadas em água destilada, para a limpeza de seu sistema radicular, posteriormente ambos os materiais foram colocados em estufa de circulação forçada a 65 ° C até atingir peso constante segundo metodologia de Bataglia et al. (1983) aplicados por Lacerda, Freitas e Silva (2009), Paiva et al. (2009) e Vilela (2011). Após o esfriamento do material, as pesagens foram efetuadas em balança semianalítica com duas casas decimais.

5.12. Taxa de Crescimento

A taxa de crescimento pode ser um indicador da velocidade média de crescimento (g dia^{-1} ou g semana^{-1}) de uma espécie ao longo de um período de tempo avaliado (BENINCASA, 2003).

Por meio das médias da altura total das mudas e diâmetro do coleto foram aplicadas as Equações 1 e 2 para taxa de crescimento durante todo o experimento:

$$TcH = \frac{H - Hi}{t} \quad (\text{Eq. 01})$$

$$TcD = \frac{D - Di}{t} \quad (\text{Eq. 02})$$

Em que:

TcH = Taxa de crescimento da altura da parte aérea (cm dia^{-1})

H = Altura da parte aérea (cm)

Hi = Altura inicial da parte aérea (cm)

TcD = Taxa de crescimento do diâmetro do coleto (mm dia^{-1})

D = Diâmetro do coleto (mm)

Di = Diâmetro inicial do coleto (mm)

t = Tempo após o plantio (dias)

5.13. Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

Embora seja importante uma avaliação quantitativa do crescimento dos indivíduos, há a necessidade de se utilizar meios que forneçam dados qualitativos dos espécimes. Índices de qualidade são fundamentais para evitar distorções nos resultados, como por exemplo excesso do crescimento foliar em detrimento do sistema radicular (MARANA et al., 2008).

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) é um dos principais índices, que através das relações entre os parâmetros de crescimento, fornece um resultado mais robusto das saúde, qualidade e potencial futuro dos indivíduos.

Dessa forma, além de avaliar quantitativamente o crescimento dos espécimes por meio do crescimento total, foi verificado ao final do experimento o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) (DICKSON; HOSNER; LEAF, 1960) das mudas aplicando a seguinte equação:

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

Em que:

PMST = Peso da matéria seca total (g)

H = Altura da parte aérea (cm)

D = Diâmetro do coleto (mm)

PMSPA = Peso da matéria seca da parte aérea (g)

PMSR = Peso da matéria seca das raízes (g)

5.14. Análise foliar

Para as análises de absorção de elementos, foram sorteadas 5 folhas de 3 plantas por tratamento (DIAS et al., 2011). Essas folhas ainda verdes, no mesmo dia da coleta, foram lavadas com água destilada, posteriormente com detergente neutro, na concentração de 1,0 mL L⁻¹, e novamente com água destilada. O material foi seco ao ar, sobre superfície plástica limpa e à sombra.

Em seguida, os indivíduos foram embalados em sacos de papel etiquetados e colocado para secar em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de 65 °C

até atingir peso constante. Por fim, as amostras foram moídas em moinhos tipo Willey, com facas e câmara de aço inoxidável e com peneiras de 0,5 ou 1 mm de diâmetro (20-40 mesh).

No material preparado, foi verificada a concentração dos seguintes elementos químicos nas plantas após os tratamentos: P, K, Ca, Mg, S, Cu, Cu, Mn, Zn, Al e metais pesados (Cd, Cr, Pb e Ni). Essas análises foram realizadas de acordo com Métodos de Análise de Tecidos Vegetais (EMBRAPA, 2000), utilizados por Szabo (2003), Buosi e Felfili (2004) e Figueiredo-Neto (2011).

Já para as análises de clorofila, foram coletadas aleatoriamente 5 folhas de 3 plantas por tratamento para análise segundo método descrito por Linder (1974) e Whitham et al. (1971) utilizadas por Engel e Poggiani (1991), Costa, Maluf e Gomes (1999) e Grigio (2013). A extração da clorofila foi feita em acetona 80% e a quantificação em espectrofotometria. Os teores de clorofila nesse trabalho foram divididos entre clorofila a, b, total e a razão a/b. A partir das Equações 1, 2 e 3 foi calculada a quantidade (mg) de clorofila a, b e total por grama de peso fresco de tecido foliar:

$$\text{Clorofila a} = \frac{(12,7XA_{663} - 2,69XA_{645})V}{1000w} \quad (\text{Eq. 01})$$

$$\text{Clorofila b} = \frac{(22,9XA_{645} - 4,68XA_{663})V}{1000w} \quad (\text{Eq. 02})$$

$$\text{Clorofila total} = \frac{A_{652} \times 1000 \times \frac{V}{1000w}}{34,5} \quad (\text{Eq. 03})$$

Em que:

A = Absorbância no comprimento de onda indicado

V = Volume final do extrato clorofila/acetona (ml)

W = Matéria fresca material vegetal utilizado (g)

5.15. Delineamento experimental e análise dos dados

Nesse estudo foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado. Esse tipo de delineamento é muito utilizado em ensaios de casas de vegetação e técnicas de

trabalho de laboratório (GOMES, 1990; DUARTE, 1996; BLANCO; VELINI; BATISTA-FILHO, 2010; OLIVEIRA et al., 2010; ROTILI et al., 2010). Para sua aplicação é necessário assegurar a uniformidade em todas as unidades experimentais de e que estas sejam facilmente identificadas para receber o tratamento (GOTELLI, 2011).

Em relação ao número de repetições por parcela, de forma geral, quanto maior o número de repetições mais precisas são as estimativas dos efeitos dos tratamentos. Porém, elevado número de repetições pode inviabilizar a execução do trabalho. Estudos semelhantes a este trabalho utilizaram entre 2 e 5 plantas por parcela (ERNANI; BAYER; FONTOURA, 2001; PRALON; MARTINS 2001; ACCIOLY et al., 2004; HOLANDA et al., 2007). Dessa forma, foi utilizado nessa pesquisa 5 espécimes por tratamento.

O Delineamento Experimental Inteiramente Casualizado desse trabalho pode ser observado na Tabela 6. A unidade amostral foi de 100 indivíduos de quatro espécies de árvores nativas, as variáveis de interesse foram as relacionadas ao desenvolvimento das mudas, o tratamento teve 1 fator (dosagens de RETA) e cada nível possuiu 5 réplicas.

Os vasos foram dispostos em uma área de forma casualizada no local do experimento com o intuito de diminuir a influência de sua posição nos resultados. Por fim, foi feita uma experimentação cega, onde cada vaso de muda recebeu um número, o qual correspondeu a uma determinada dosagem de RETA.

Tabela 6. Quantidade de espécies e repetições para cada tratamento utilizadas no experimento, juntamente com a quantidade de RETA empregado.

Tratamentos		Número de indivíduos			
t (RETA) ha ⁻¹ (solo)*	g (RETA) kg ⁻¹ (solo)*	Caroba (<i>Jacaranda cuspidifolia</i>)	Canafístula (<i>Peltophorum dubium</i>)	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril var. stilbocarpa</i>)	Pau-de-óleo (<i>Copaifera langsdorffii</i>)
0	0	5	5	5	5
4	2,04	5	5	5	5
8	4,08	5	5	5	5
16	8,16	5	5	5	5
32	16,32	5	5	5	5
Total por espécie		25	25	25	25
Total geral		100			

*Considerando os 20 primeiros centímetros de profundidade do solo e densidade de 1,02 g cm⁻³.

Após a computação dos dados foi utilizada uma análise de variância

(ANOVA) para verificar a existência de diferença significativa em qualquer, ou quaisquer, dos grupos em relação aos demais pertencentes.

Os dados que se encontraram com diferenças significativas foram submetidos a um teste Tukey com 5% de significância para concluir qual diferença houve entre eles. As análises foram realizadas no programa Assistat 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009) para ANOVA e Tukey.

6. RESULTADOS

6.1. Caracterização do RETA

A Tabela 7 representa os valores referentes a porcentagem de sólidos totais, totais voláteis e totais fixos presentes no RETA úmido (proveniente da saída do decantador e água de lavagem dos filtros) e seco (proveniente da lagoa de secagem). Essas determinações são importantes para a caracterização do resíduo, uma vez que ela oferece um quadro semiquantitativo com relação ao tamanho de suas partículas (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à sua natureza química (fixos ou inorgânicos e voláteis ou orgânicos).

Tabela 7. Resultados das análises das séries de sólidos feitas nas amostras do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO.

Porcentagem de sólidos (%)		
	RETA Úmido	RETA Seco
Sólidos Totais	18,3	67,7
Sólidos Totais Voláteis	17,2	17,1
Sólidos Totais Fixos	82,8	82,9

Comparando os resultados aqui obtidos com os trabalhos de Richter (2009), percebe-se uma similaridade no que se refere a proporção de sólidos fixos e voláteis presentes no RETA. O autor prevê que ETAs produzam um teor de sólidos totais que varia entre 1.000 e 40.000 mg L⁻¹, sendo 75 a 90% de sólidos fixos e 20 a 35% de compostos voláteis apresentando, logo, pequena porção biodegradável que se torna rapidamente oxidável. Outra característica importante de se avaliar no RETA é análise da presença de contaminantes como bactérias e parasitas (Tabela 8).

Tabela 8. Resultados das análises bacteriológicas e parasitológicas feitas nas amostras do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO.

Parâmetros	Resultados		Unidade	Valor Máximo Permitido Para Resíduo de Esgoto	
	RETA Úmido	RETA Seco		Tipo A	Tipo B
Coliformes Totais	$6,1 \times 10^5$	$1,1 \times 10^3$	NMP g ⁻¹ de ST	SR	SR
<i>Escherichia coli</i>	$2,2 \times 10^4$	$5,5 \times 10^2$	NMP g ⁻¹ de ST	SR	SR
Salmonela sp	Presença	Presença	Em 10 g de ST	Ausência em 10 g de ST	SR
Ovos viáveis de helmintos	ND	ND	Ovo g ⁻¹ de ST	< 0,25 ovo g ⁻¹ de ST	< 10 ovo g ⁻¹ de ST

ND: Não Detectado; SR: Sem Regulamentação; ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável (Conama,2006).

A avaliação dos riscos existentes na aplicação do RETA em solo para plantio deve estar em concordância com o preconizado pelo Conama 375 (Conama, 2006). Tendo em vista que o resíduo de esgoto Tipo A é um material com maior segurança sanitária e menores restrições de uso, os níveis de Salmonela sp divergentes aos da legislação presume que haja um monitoramento do agente patógeno no solo em que ele foi aplicado.

Em relação às essas condições sanitárias, o RETA possui baixas taxas de agentes patogênicos em comparação ao lodo de esgoto, podendo-se inferir que ele possui baixo risco de contaminação ambiental (ANDREOLI et al., 2006).

Bittencourt et al. (2012) realizaram uma caracterização sanitária de um RETA de uma estação que utiliza sulfato de alumínio como coagulante no Paraná para aplicação em solo. Os resultados de análises de ovos viáveis de helmintos e coliformes termotolerantes apresentaram-se compatíveis com a legislação vigente (CONAMA 375/06). Porém, o atributo *Salmonella* sp também teve níveis divergentes ao preconizado, que estabelece ausência em 10 g de ST.

Na Figura 7 tem-se o difratograma de raios-X do lodo de ETA, nele é possível observar a composição dos picos cristalinos do resíduo. O resíduo tem composição amorfa com picos dos mineirais Halosita, Caulinita, Quartzo e Muscovita. Oliveria e Holanda (2009) verificaram picos semelhantes de um RETA da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ, apresentando os picos caulinita, sílica e gibsita, com indícios da presença da mica moscovita. Deve-se enfatizar que a presença desses minerais está fortemente relacionada às características do solo do leito do rio de captação para a ETA.

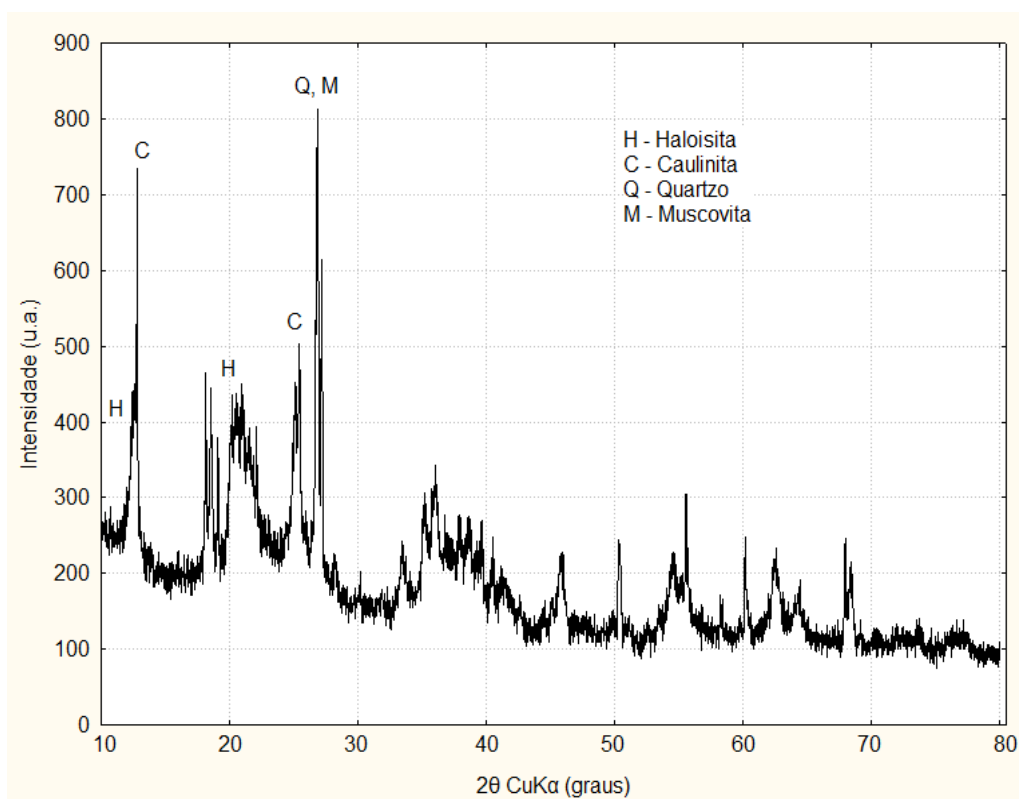


Figura 7. Difratoograma de raios-X do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO.

A micrografia do MEV com o dispositivo EDS está apresentada na Figura 8, onde pode ser observado os principais elementos químicos presentes no RETA, que possui em maior quantidade os elementos Al (devido ao coagulante sulfato de alumínio), Mg, Fe, C e Si.

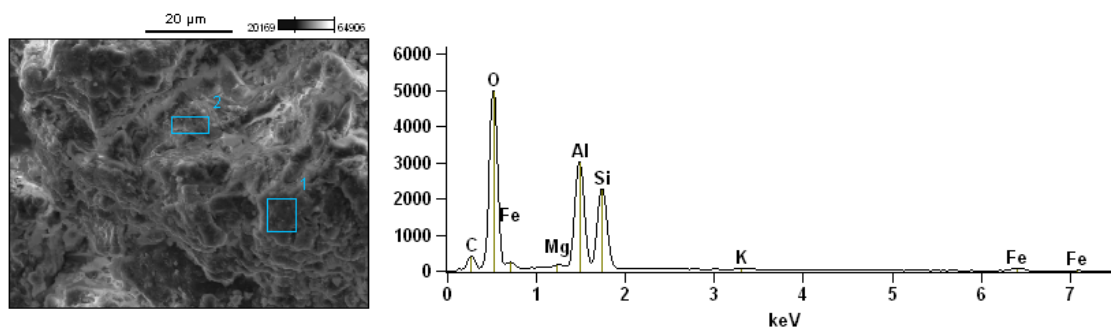


Figura 8. Micrografia do MEV com o dispositivo EDS do resíduo de ETA- Meia Ponte-GO

As curvas de distribuição granulométricas do material são apresentadas na

Figura 9, onde pode-se observar a curva via ensaio tradicional (peneiramento e sedimentação) e outras duas obtidas via ensaio com Granulômetro a Laser sem e com a aplicação de ultrassom. O RETA apresentou aproximadamente 40% de areia, 33% de silte e 27% de argila.

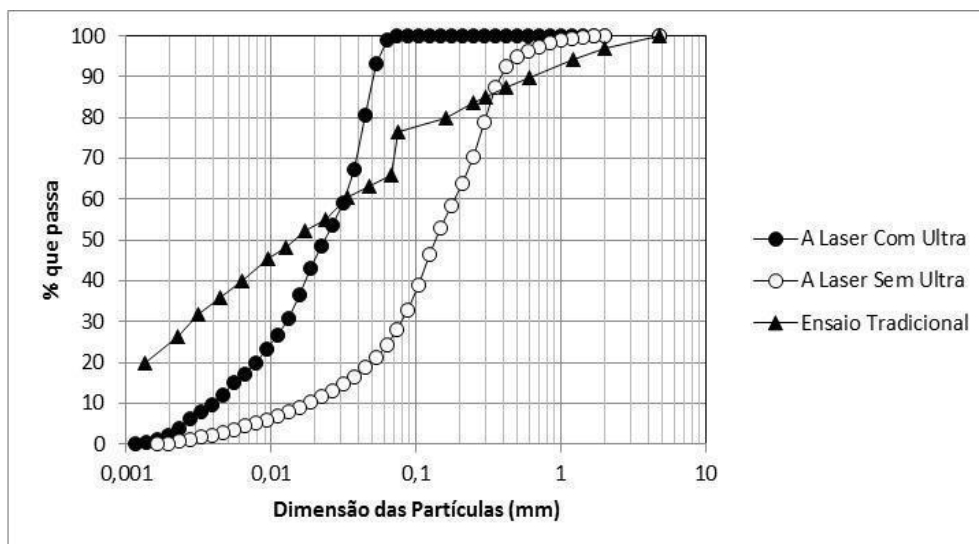


Figura 9. Curvas de distribuição granulométrica do RETA.

6.2. Comparação solo e RETA

No presente trabalho foram encontrados na amostra de resíduo 40% de areia, 33% de silte e 27% de argila, enquanto o solo apresentou 77% de areia, 8% de silte e 15% de argila. Agyin-Birikorang (2006) também encontrou em sua pesquisa maiores concentrações de areia em resíduos de três ETAs, tendo a porcentagem de areia entre elas variado de 72,5 a 80,4%, de silte de 11,5 a 12,7% e de argila de 8,13 a 14,8%.

As estruturas dos solos são umas das características mais importantes do ponto de vista da relação solo-planta, elas têm origem na pedogênese influenciando as diferentes composições de matéria granulométrica, mineralógica e orgânica (CENTURION; BEUTLER; SOUZA, 2004). Já as texturas dos resíduos têm direta relação com a constituição da água bruta (dada pela turbidez ou concentração de sólidos), textura do solo do manancial de captação, método de operação da ETA (tipo de ETA, periodicidade de limpeza e manutenção de equipamentos) e em razão aos tipos de reagentes químicos adicionados no processo de tratamento (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

Os resultados de fertilidade se encontram na tabela 9. A matéria orgânica encontrada nas amostras foi relativamente superior no resíduo (2,3%) em relação ao solo (1,6%). Apesar disso, essas concentrações foram baixas se comparado a outras ETAs brasileiras (20 a 32%) (BOTERO et al., 2009).

Tabela 9. Resultados das análises para fins de fertilidade feitas nas amostras de resíduo de ETA- Meia Ponte-GO e solo do Cerrado-GO.

Parâmetro	Unidade	RETA	Solo
pH (CaCl ₂)	-	5,5	4,9
pH (H ₂ O)	-	6,7	5,8
CE	mS cm ⁻¹	220,7	165,6
Ca	mEq 100 cm ⁻³	5,7	3,1
Mg	mEq 100 cm ⁻³	0,5	1
Ca+Mg	mEq 100 cm ⁻³	6,2	4,1
H+Al	mEq 100 cm ⁻³	1,9	3,7
CTC	mEq 100 cm ⁻³	8,4	8,2
P	mg dm ⁻³	3	2
K	mg dm ⁻³	132	160
Na	mg dm ⁻³	2	2
Cu	mg dm ⁻³	0,8	2,6
Fe	mg dm ⁻³	132	414
Mn	mg dm ⁻³	79	50
Zn	mg dm ⁻³	0,9	3,9
S.B.	%	78	55
M.O.	%	2,3	1,6
Al Total	%	0,46	0,37

S.B: Saturação de bases; M.O: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca de cátions.

Botero et al. (2009) estudaram o RETA de uma estação que utiliza o sulfato de alumínio como coagulante primário em Manaus-AM. O resíduo tinha elevadas concentrações de matéria orgânica (68%). Essas altas quantidades de matéria orgânica ocorrem principalmente devido à característica do Rio Negro, que é utilizado no abastecimento público da cidade.

Assim, pode-se concluir que o corpo hídrico exerce influência nas características do resíduo. Rios com atributos semelhantes ao rio Negro, utilizados na produção de água potável, geram resíduos com características próprias que podem ser úteis para a agricultura. Estudos de OH et al. (2010) recomendam-se o uso desse tipo de resíduo em solos deficientes de matéria orgânica como substituto agrícola e um

fertilizante de baixo nível ou, como um substituto do solo para recuperação de áreas degradadas. Dessa forma, a caracterização e os ensaios de laboratório ou escala piloto são importantes para definir a possibilidade de utilização de um determinado RETA.

Os índices de saturação de bases encontrados nas amostras foram mais altos no RETA do que no solo (Tabela 9). Botero et al. (2009) e Teixeira, Melo e Silva (2007) indicam a utilização do resíduo com altos índices de saturação de bases para fins agrícolas em vista da correlação direta com a fertilidade.

Maiores pH, teores de Ca, Mg e altas taxas de condutividade elétricas nos resíduos em comparação ao solo (Tabela 9) também podem ser positivos para a aplicação do RETA na agricultura ou em solos degradados. De acordo com Teixeira, Melo e Silva (2005), esses fatores interferem amplamente nos processos de adsorção e solubilização de íons responsáveis pela concentração de nutrientes no solo.

O Alumínio total teve concentração maior no RETA em relação ao solo. Isso ocorreu devido à natureza do resíduo, proveniente de uma ETA em que se utiliza o sulfato de alumínio como coagulante primário. Em contrapartida, a amostra de solo apresentou concentração próxima ao do RETA, evidenciando as características de solos do Cerrado, que são naturalmente ácidos, com valores de pH que permitem a ocorrência natural íon trivalente Al^{+++} .

Em relação aos demais nutrientes, o solo apresentou maiores concentrações de K, Cu, Fe e Zn, sendo que havia mais que o triplo de Fe, Cu e Zn que no RETA (Tabela 9). Essas características são compatíveis aos solos do Cerrado que são naturalmente ácidos, antigos, profundos, de baixa fertilidade e possuem altos níveis de desses elementos (SANO; ALMEIDA, 1998).

Na Tabela 10 pode-se observar as quantidades de metais pesados nas amostras. O RETA possuiu altas concentrações desses elementos, enquanto no solo todas as análises foram abaixo da leitura do equipamento. Esses metais podem estar relacionados a características naturais da água e solo do corpo hídrico captado ou ao aporte de efluentes domésticos e industriais nos mananciais onde a água é captada (BOTERO et al., 2009).

Tabela 10. Concentração de metais pesados nas amostras de resíduo de ETA- Meia Ponte-GO e solo do Cerrado-GO.

Amostra	Parâmetro (mg kg ⁻¹)			
	Cd	Cr	Ni	Pb
RETA	53	52	34	1
Solo	< 5	< 5	< 5	< 1

Não há normas que regulamentam a disposição do RETA em solo. Porém, existe a resolução Conama 375 (CONAMA, 2006), a qual normatiza as concentrações máximas de metais pesados permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg⁻¹) para a aplicação em solo. Dessa forma, comparando-se com o Conama 375, o resíduo estudado nesse trabalho encontra-se adequado em relação às concentrações de três elementos (Cr, Ni e Pb) e inadequado para o Cd. O resíduo apresentou 13 mg kg⁻¹ a mais do que o permitido desse elemento. Portanto, nesse caso, a necessidade de testes e experimentos preliminares com o objetivo de prever uma possível toxidez que o solo pode apresentar após a aplicação desse resíduo.

6.3. Evolução morfológica das espécies

Análises do crescimento de mudas são utilizadas para predizer o grau de tolerância das diferentes espécies a diferentes tratamentos. A taxa de crescimento é a medida da rapidez do crescimento de uma planta quando comparada com o seu tamanho inicial (BENINCASA, 2003).

6.3.1. Jatobá

A taxa de crescimento da altura da parte aérea de Jatobá (Figura 10) foi maior no tratamento 4, chegando à média de 0,42 cm dia⁻¹ ao final do experimento. É possível observar que o gráfico se assemelha à uma curva exponencial crescente, onde os indivíduos tiveram o maior crescimento a partir do centésimo dia de plantio. Entre o 105º dia e o 120º dia as médias saltaram de 0,13 a 0,22 cm dia⁻¹ no tratamento 4.

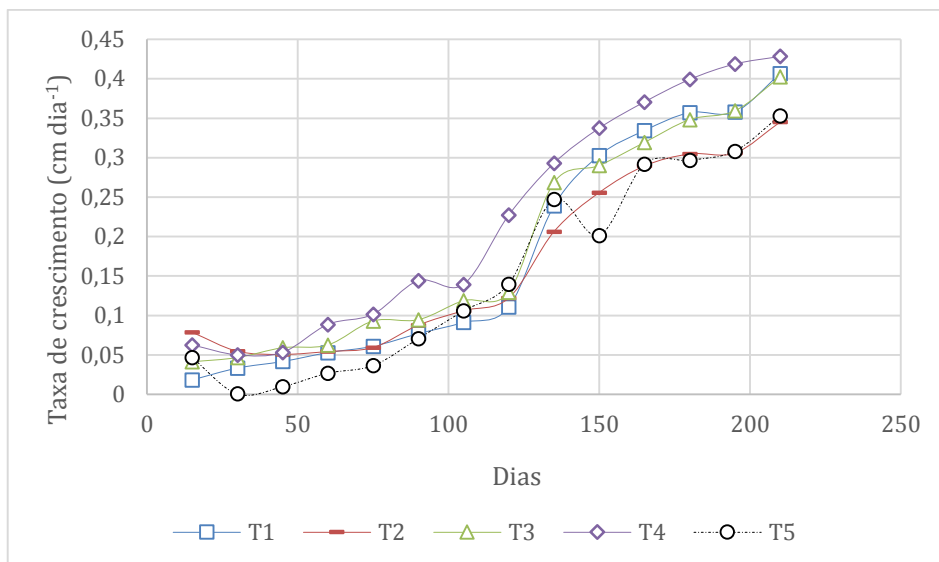


Figura 10. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Jatobá.

Quanto ao crescimento do diâmetro do coleto (Figura 11), a espécie teve pequena variação desde o início do experimento até seu último dia. Os indivíduos dos cinco tratamentos tiveram um comportamento semelhante. A espécie possui um crescimento lento e é pouco responsiva, sendo menos sensível às mudanças no ambiente nutricional (DUBOC et al., 1996; CARVALHO, 2003).

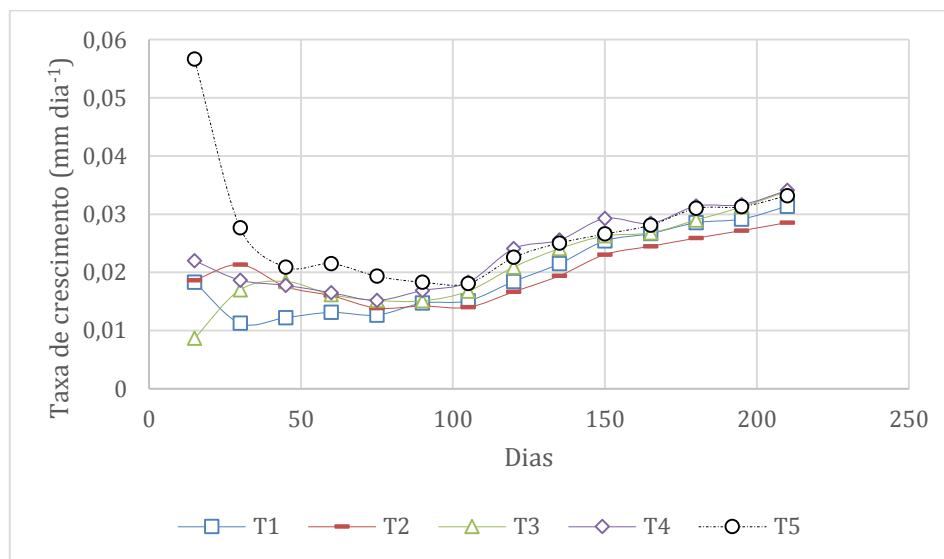


Figura 11. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Jatobá.

O tratamento que houve um maior crescimento da altura (Figura 12), com média de 110,4 cm no final do experimento, foi o T4. Apesar disso, esse tratamento não foi significativamente maior do que os outros com o teste Tukey a 5% de probabilidade.

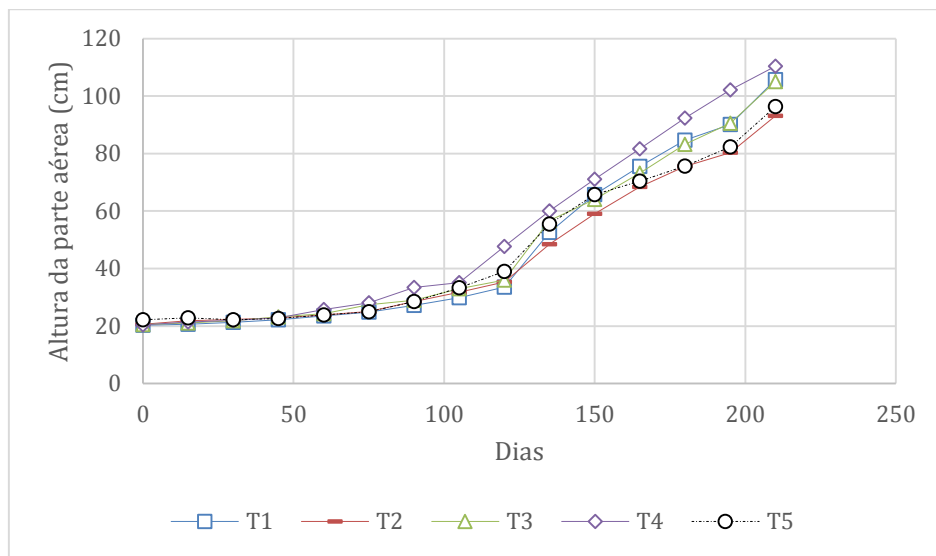


Figura 12. Altura da parte aérea na espécie Jatobá.

Assim como a altura, o diâmetro dos espécimes que obteve maior incremento foi do tratamento 4 (Figura 13), com média de 10,69 mm. No entanto, também não houve diferença significativa entre os tratamentos.

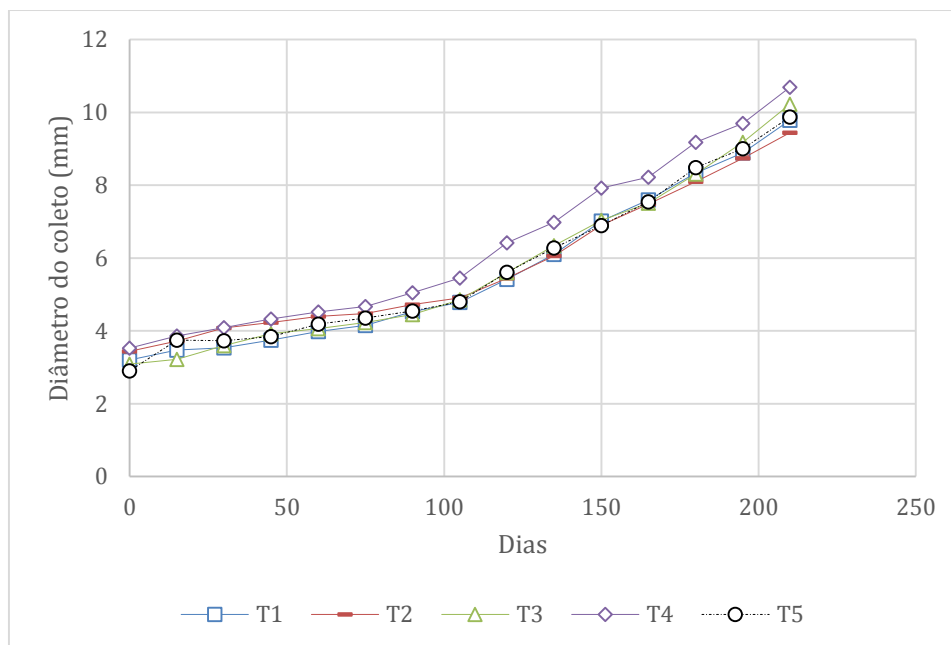


Figura 13. Diâmetro do coleto na espécie Jatobá.

6.3.2. Caroba

Os indivíduos da espécie Caroba tiveram a maiores taxas de crescimento da altura nos tratamentos 1 e 5 (Figura 14). As médias no último dia de experimento foram de $0,83 \text{ cm dia}^{-1}$ e $0,80 \text{ cm dia}^{-1}$ no tratamento 1 e 5. Os espécimes cresceram progressivamente até o centésimo dia até que as taxas diminuíram até o 210º dia.

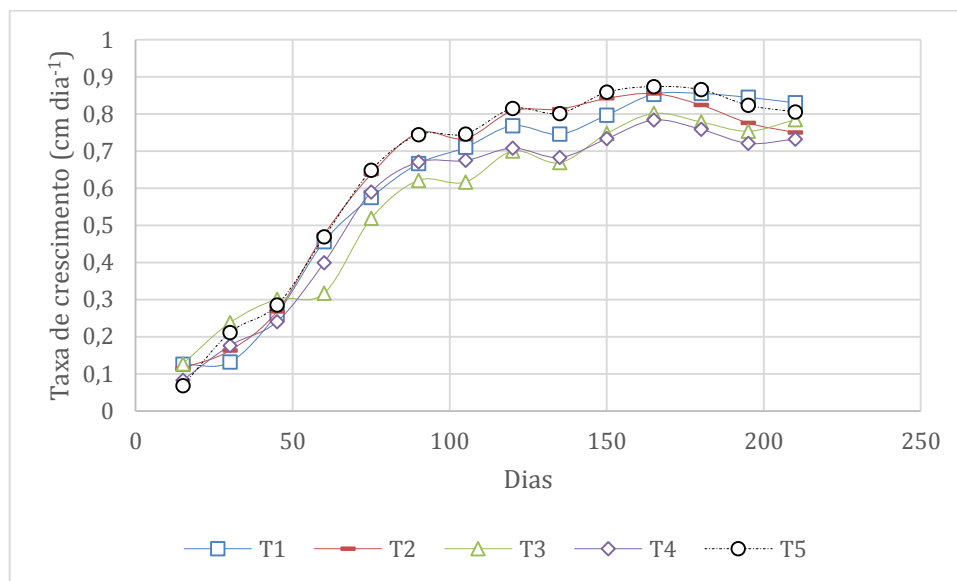


Figura 14. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Caroba.

A curva da taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos indivíduos de Caroba (Figura 15) foi bem semelhante ao gráfico do crescimento de sua altura. A espécie possui crescimento rápido e a diminuição no ritmo de crescimento a partir do centésimo dia pode estar relacionada ao espaço delimitado nos vasos (MARTINS et al, 2008). A maior taxa foi observada no tratamento 1 com média de $0,12 \text{ mm dia}^{-1}$.

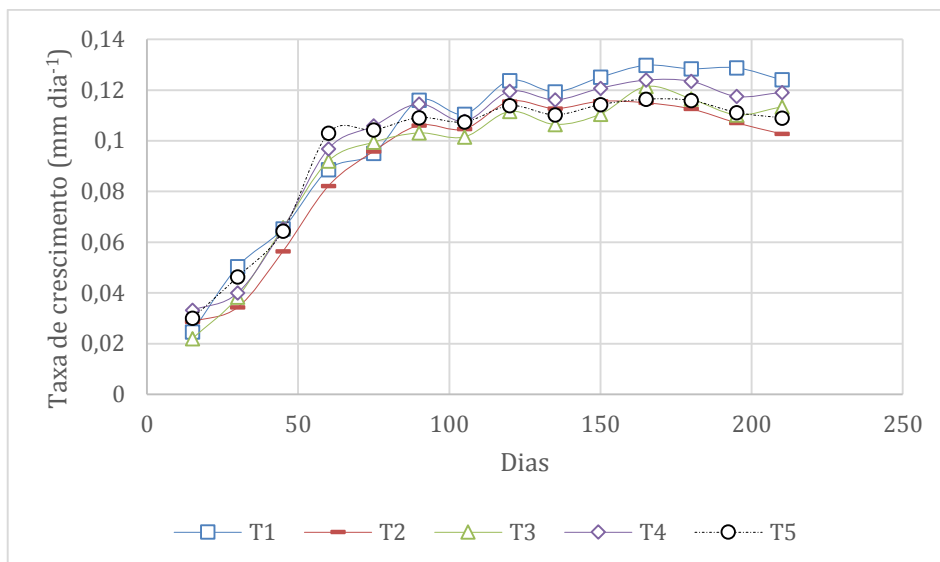


Figura 15. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Caroba.

Os indivíduos que mais cresceram em altura na espécie Caroba (Figura 16) foram os do tratamento 1, com média de 185,2 cm no último dia de coleta. Não houve diferença significativa entre os tratamentos.

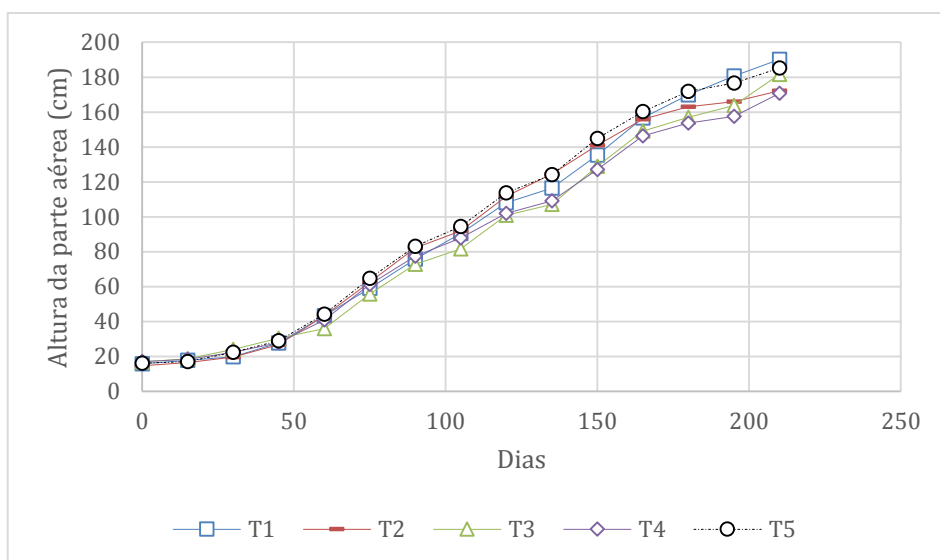


Figura 16. Altura da parte aérea na espécie Caroba nos dias decorridos de experimento.

Nessa espécie, o diâmetro do coleto (Figura 17) chegou a suas maiores larguras no tratamento 1, com média de 29,3 mm. Contudo, também não houve diferença significativa entre os tratamentos.

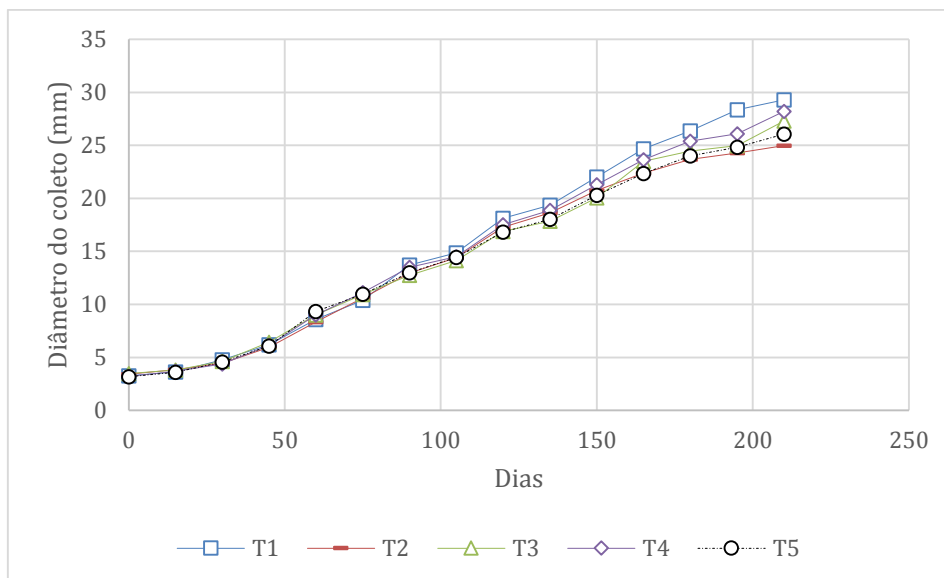


Figura 17. Diâmetro do coleto na espécie Caroba.

6.3.3. Pau-de-óleo

Os indivíduos da espécie Pau-de-óleo tiveram baixas taxas de crescimento da altura da parte aérea (Figura 18). As maiores médias foram no tratamento 1 e 2 com $0,14 \text{ cm dia}^{-1}$ e $0,12 \text{ cm dia}^{-1}$ respectivamente. Para Lorenzi (2014) o crescimento da espécie é bastante lento, em campo ela dificilmente chega aos 2 metros com 2 anos de idade.

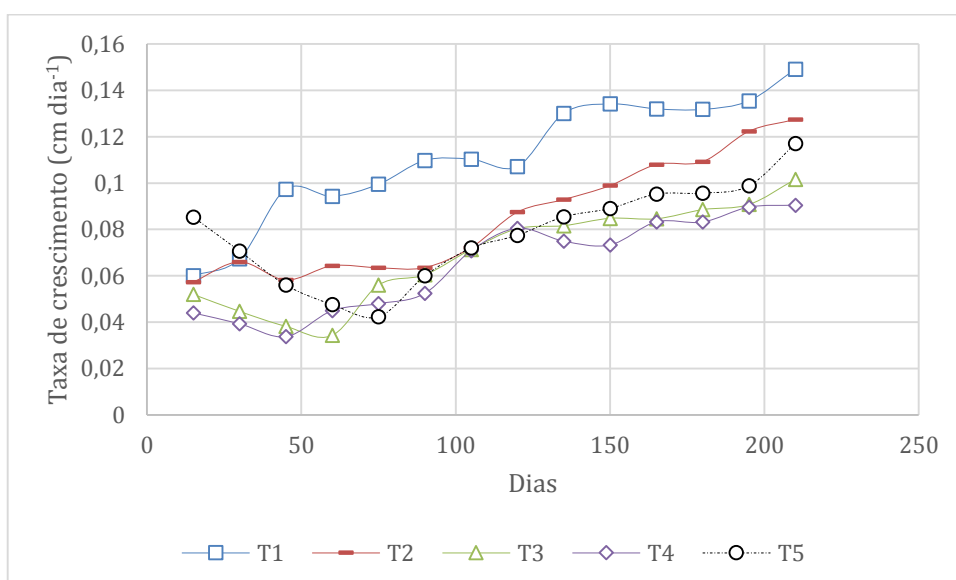


Figura 18. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Pau-de-óleo.

Já no crescimento do diâmetro do coleto da espécie Pau-de-óleo (Figura 19) os espécimes tiveram um maior crescimento entre o 45º dia e 60º dia e mantiveram estáveis após esse período. A maior taxa ocorreu no tratamento 1 com média de 0,02 mm dia⁻¹.

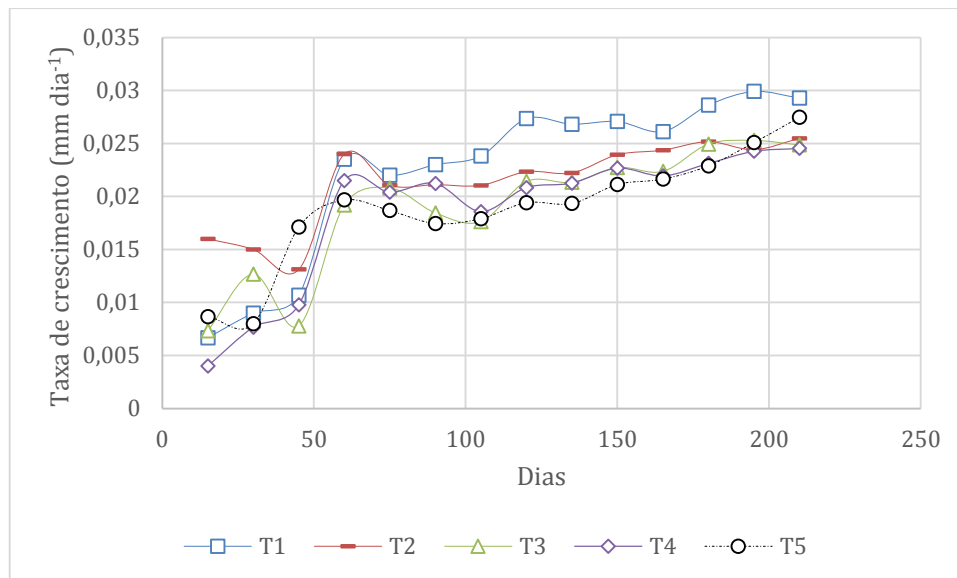


Figura 19. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Pau-de-óleo.

Os espécimes que tiveram maior incremento da altura no decorrer do experimento (Figura 20) foram os pertencentes ao tratamento 1, com média final de 47,6 cm. Aos 90 dias de experimento houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o tratamento 1 apresentou maior altura.

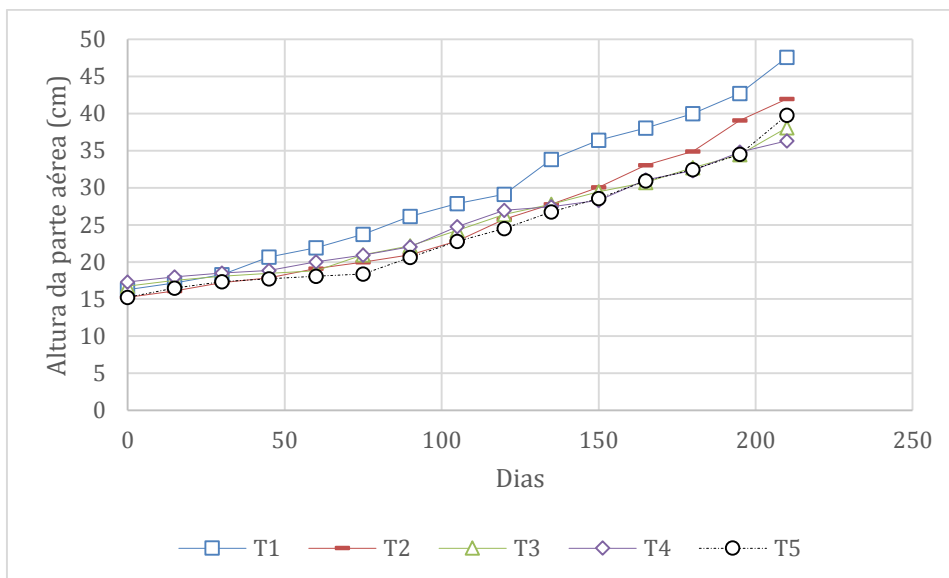


Figura 20. Altura da parte aérea na espécie Pau-de-óleo nos dias decorridos de experimento.

O diâmetro dos indivíduos de Pau-de-óleo (Figura 21) cresceu até a média de 8,41 mm no tratamento 5 ao final do experimento. Todavia, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

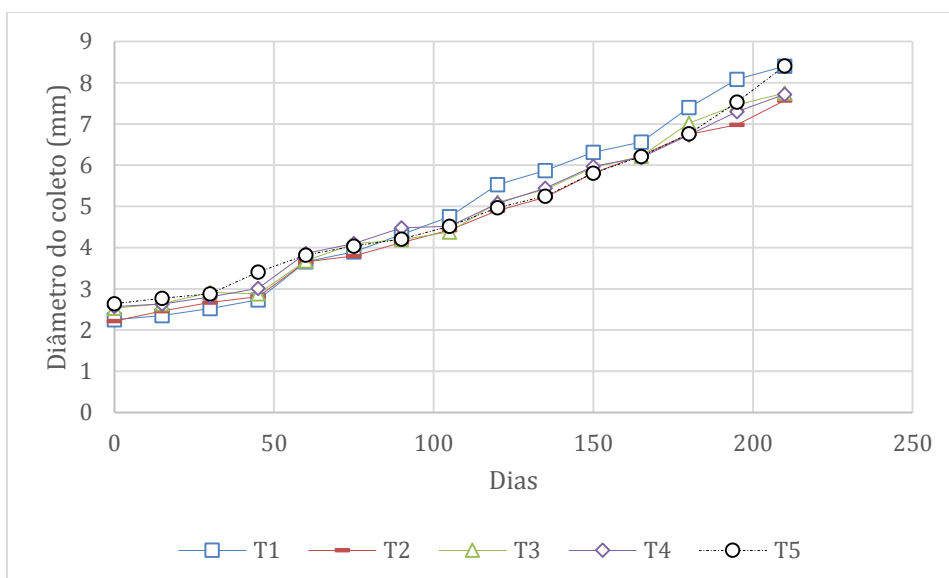


Figura 21. Diâmetro do coleto na espécie Pau-de-óleo nos dias decorridos de experimento.

6.3.4. Canafístula

Canafístula foi a espécie que apresentou maior taxa de crescimento da altura da parte aérea (Figura 22). Diferente das outras espécies, essa taxa cresceu até o 75º dia com média de 1 cm dia^{-1} no tratamento 1 e decaiu no período posterior progressivamente. Assim como os indivíduos da Caroba, a queda no crescimento pode estar relacionada ao espaço delimitado nos vasos.

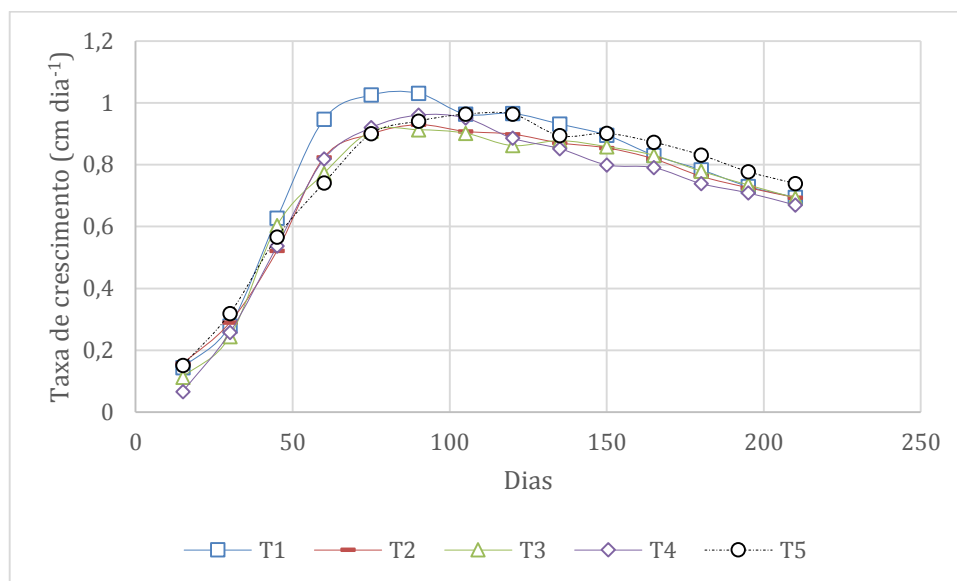


Figura 22. Taxa de crescimento da altura da parte aérea dos espécimes de Canafístula.

Em relação à taxa de crescimento do diâmetro do coleto (Figura 23), o comportamento do gráfico é semelhante ao do crescimento da altura. Apesar disso, o decaimento das taxas ocorreu apenas ao 120º dia.

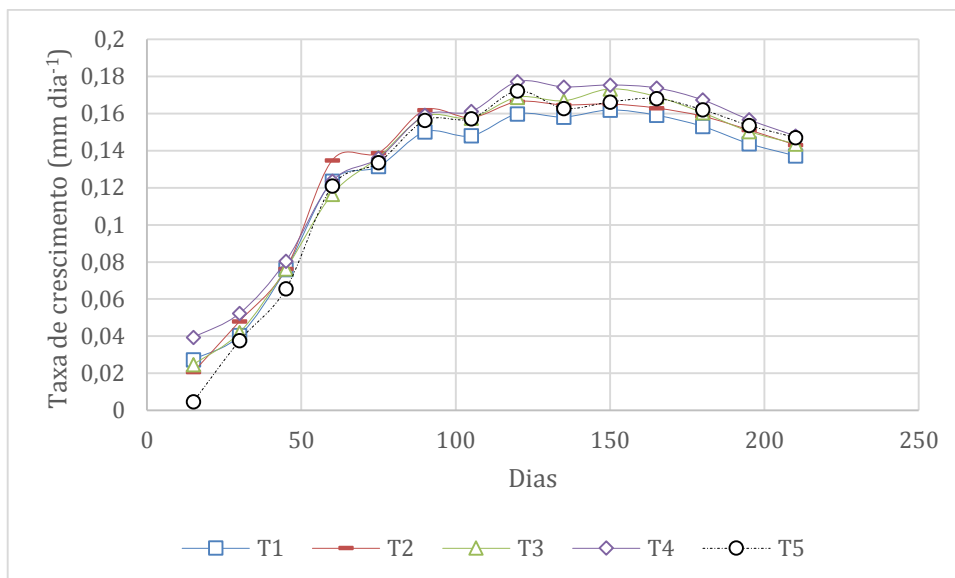


Figura 23. Taxa de crescimento do diâmetro do coleto dos espécimes de Canafístula.

A maior média da altura da parte aérea da espécie Canafístula (Figura 24) foi no tratamento 5 com 171,6 cm. Os tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si.

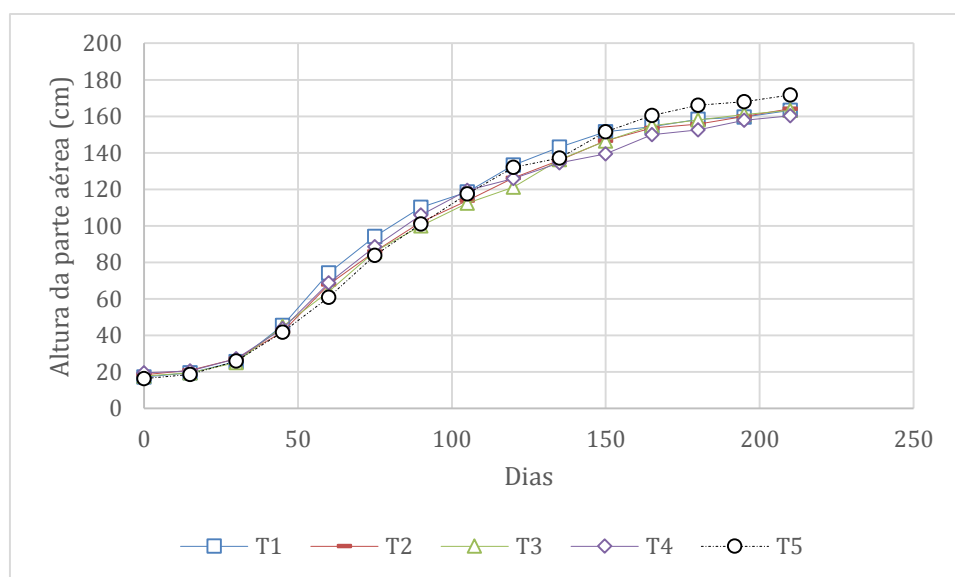


Figura 24. Altura da parte aérea na espécie Canafístula nos dias decorridos de experimento.

Os diâmetros que tiveram maior incremento durante os 210 dias de experimento (Figura 25) foram os dos tratamentos 4 e 5, com médias de 34,76 cm e 34,27 cm respectivamente. Os tratamentos não diferiram significativamente entre si.

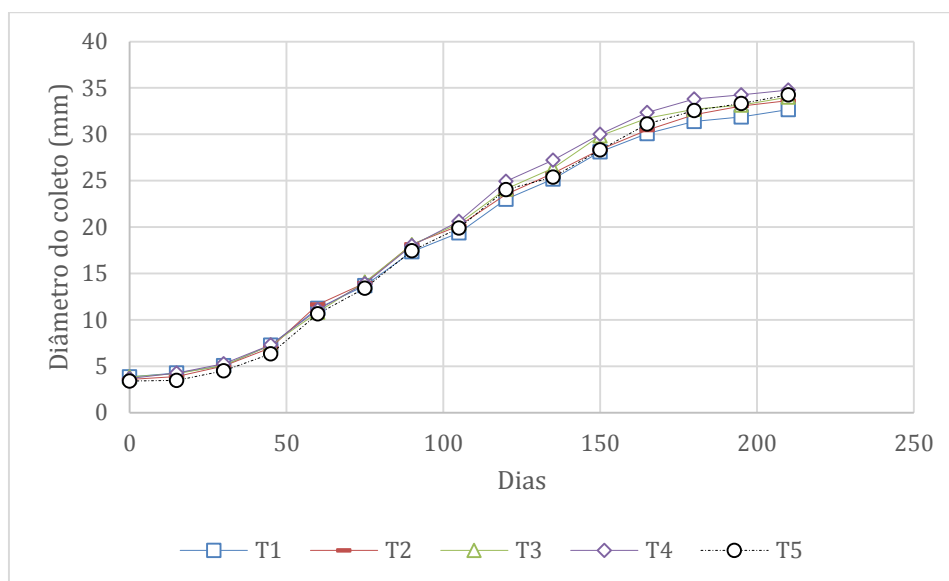


Figura 25. Diâmetro do coleto na espécie Canafístula nos dias decorridos de experimento.

Nesse trabalho as dosagens de RETA utilizadas não alteraram significativamente o crescimento da altura e do diâmetro do coleto dos espécimes, com exceção da altura da espécie de Pau-de-óleo aos 90 dias de experimento. Possivelmente, as concentrações do resíduo aplicada não foram grandes suficiente ou o solo do Cerrado se mostrou com maior potencial para o crescimento dos indivíduos.

Geralmente, o RETA tem eficiência em sua aplicação quando os solos são pobres nutricionalmente. Park, Kurosawa e Yahata (2009) caracterizaram o crescimento de árvores em diferentes taxas de RETA. Os autores pretendiam utilizar o resíduo como substituto de um solo pobre bastante comum no Japão. Altura da árvore, diâmetro do coleto, área da copa, biomassa foram significativamente melhores com o RETA do que com o solo. Desse modo, o RETA mostrou-se adequado para o crescimento de árvores nessas circunstâncias.

6.4. Análise foliar

A análise foliar é uma ferramenta de baixo custo usada amplamente para o manejo nutricional de diversas culturas e para o planejamento e predição de projetos de fertilização. Nesse trabalho foi utilizada para diagnosticar os possíveis efeitos das diferentes dosagens de RETA nas espécies.

6.4.1. Clorofila

Um dos principais fatores relacionados a eficiência fotossintética são os teores de clorofila presentes nos vegetais verdes. Clorofila é o pigmento fotossintético responsável pela captura e conversão de energia solar e posteriormente atribuição do carbono reduzido em processos necessários para o crescimento e reprodução. Dessa forma, a partir de dados do pigmento em plantas podemos inferir o sucesso no crescimento do espécime e a adaptabilidade do indivíduo no meio (ENGEL; POGGIANI, 1991; ATTARAN et al., 2014).

Os conteúdos médios de clorofila a (Figura 26) variaram de 0,82 mg g⁻¹MS no T3 a 0,9 mg g⁻¹MS no T5 para o Jatobá, de 0,64 mg g⁻¹MS no T5 a 0,84 mg g⁻¹MS no T4 para a Caroba, de 0,36 mg g⁻¹MS no T2 a 0,65 mg g⁻¹MS no T1 para o Pau-de-óleo e de 0,28 mg g⁻¹MS no T2 a 0,51 mg g⁻¹MS no T1 para Canafístula. Em vista disso, os dados não permitem inferir nenhuma tendência relacionada aos tratamentos na quantidade de clorofila. Os tratamentos não foram diferentes significativamente entre si utilizando análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

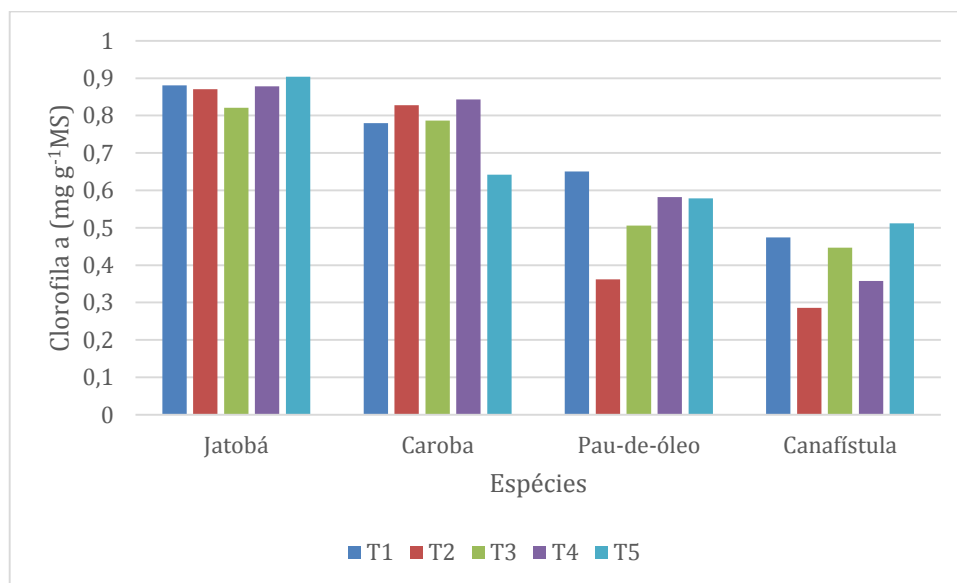


Figura 26. Teores de clorofila a (mg g⁻¹ de massa seca) nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.

Já os teores médios de clorofila b (Figura 27) variaram de 0,48 mg g⁻¹MS no T3 a 1,03 mg g⁻¹MS no T5 para o Jatobá, de 0,67 mg g⁻¹MS no T5 a 1,23 mg g⁻¹MS no T3 para a Caroba, de 0,31 mg g⁻¹MS no T5 a 1,03 mg g⁻¹MS no T1 para o Pau-de-óleo e de 0,19 mg g⁻¹MS no T2 a 0,31 mg g⁻¹MS no T1 para Canafístula. Os resultados não

apresentaram diferenças significativas pela análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

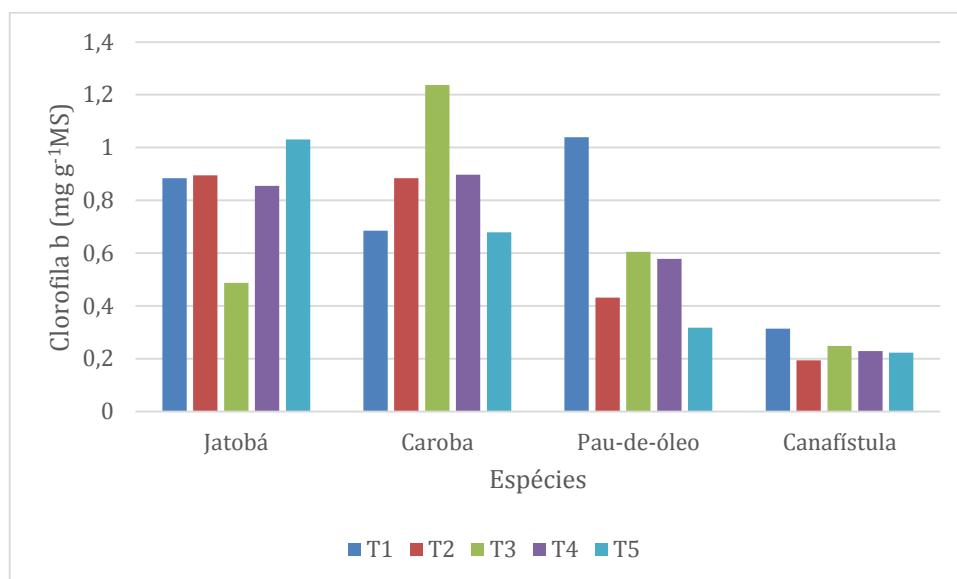


Figura 27. Teores de clorofila b (mg g⁻¹ de massa seca) nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.

Os teores médios de clorofila total (Figura 28) variaram de 1,5 mg g⁻¹MS no T3 a 2,2 mg g⁻¹MS no T5 para o Jatobá, de 1,54 mg g⁻¹MS no T5 a 2,26 mg g⁻¹MS no T3 para a Caroba, de 0,82 mg g⁻¹MS no T2 a 1,87 mg g⁻¹MS no T1 para o Pau-de-óleo e de 0,49 mg g⁻¹MS no T2 a 0,89 mg g⁻¹MS no T1 para Canafístula. Os resultados não apresentaram diferenças significativas pela análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

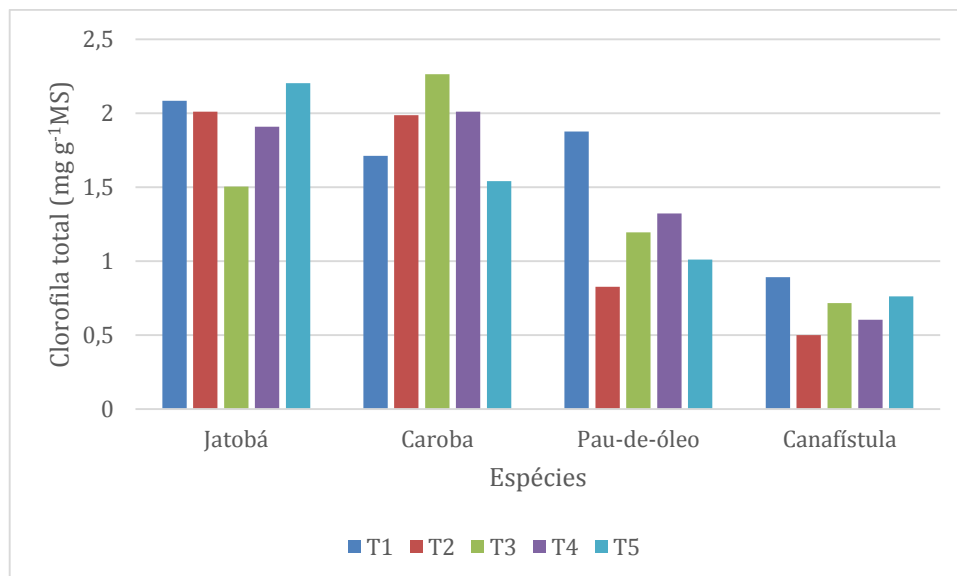


Figura 28. Teores de clorofila total (mg g^{-1} de massa seca) nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.

As razões médias entre clorofila a e b (Figura 29) variaram de $0,87 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T5 a $1,68 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T3 para o Jatobá, de $0,63 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T3 a $1,13 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T1 para a Caroba, de $0,62 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T1 a $1,81 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T5 para o Pau-de-óleo e de $1,47 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T2 a $2,29 \text{ mg g}^{-1}\text{MS}$ no T5 para Canafístula. Os resultados também não foram diferentes significativamente pela análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade.

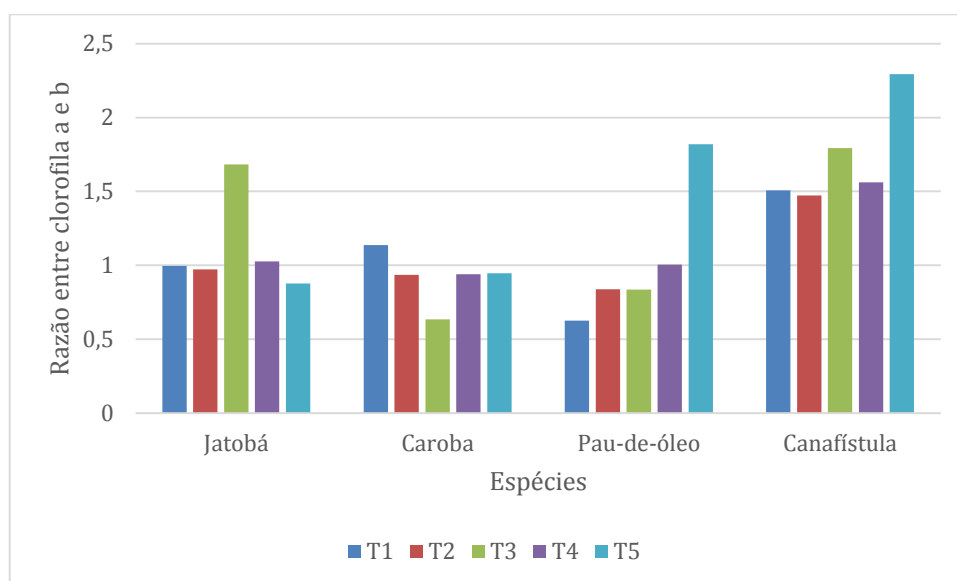


Figura 29. Razão entre clorofila a e b nos cinco tratamentos entre as espécies Jatobá, Caroba, Pau-de-óleo e Canafístula.

Embora Fletcher (1990) aponte que podem ocorrer mudanças no teor de clorofila em folhas de plantas expostas a substâncias tóxicas, a constituição do resíduo e sua dosagem aplicada não foram fatores consideráveis para que essas alterações ocorressem. Estudos de Figueiredo-Neto (2011) também não encontraram diferenças significativas nas quantidades de clorofila em plantas com diferentes porcentagens de RETA.

6.4.2. Análise nutricional

As análises dos metais pesados Cd, Cr, Pb e Ni (mg kg^{-1}) nas amostras das espécies em todos os tratamentos apresentaram valores menores que os níveis de detecção do aparelho. As concentrações de metais pesados presentes no RETA - aplicado nas proporções estudadas nesse trabalho - não influenciaram no desenvolvimento das espécies.

Dentre todas as deficiências nutricionais que podem ocorrer em uma planta, o baixo conteúdo de P é um dos principais entraves químicos relacionados à aplicação de resíduos ricos em Al, assim como o resíduo estudado nesse trabalho. Nas Figuras 30, 31, 32 e 33 temos as concentrações desses dois elementos no material foliar das espécies.

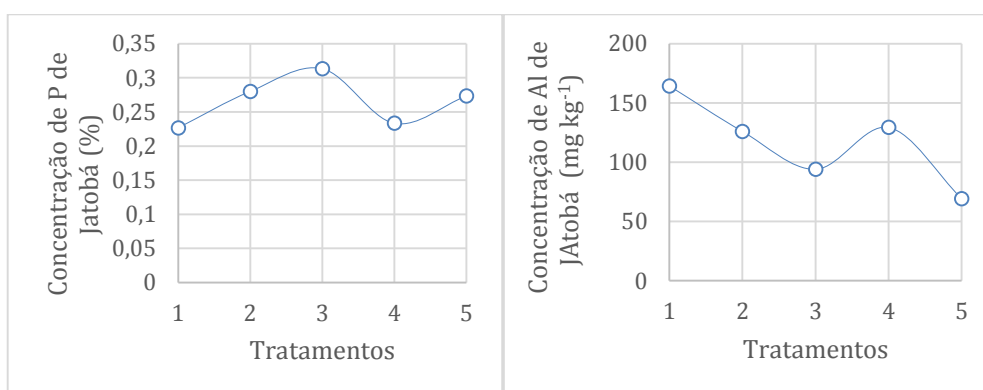


Figura 30. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Jatobá.

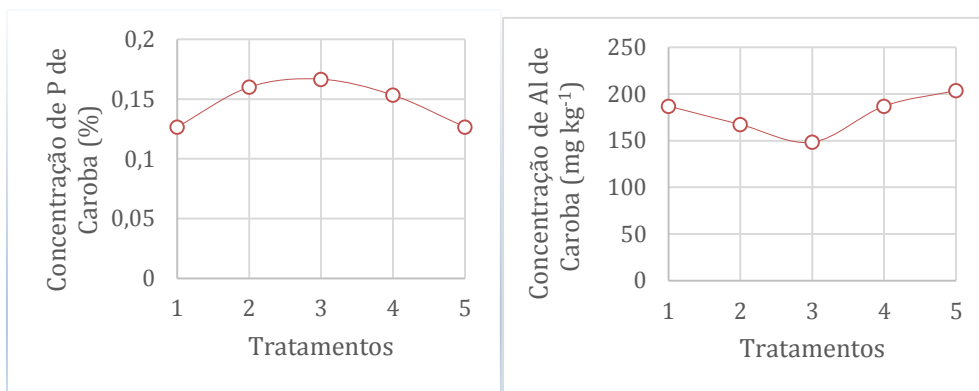


Figura 31. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Caroba.

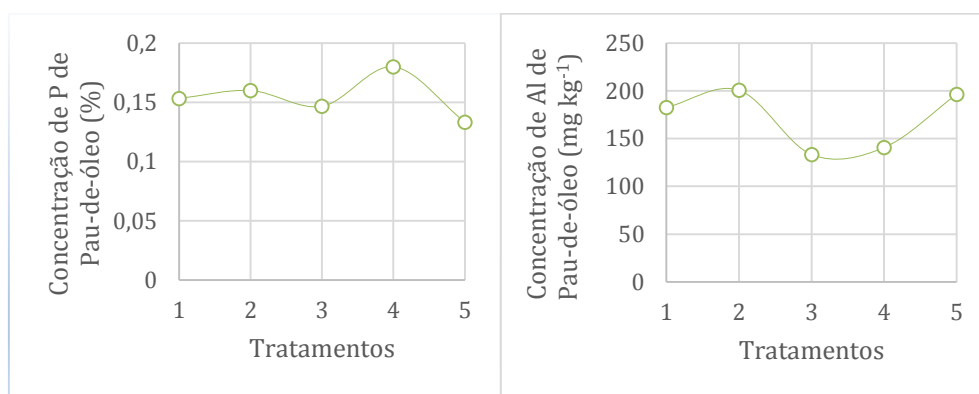


Figura 32. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Pau-de-óleo.

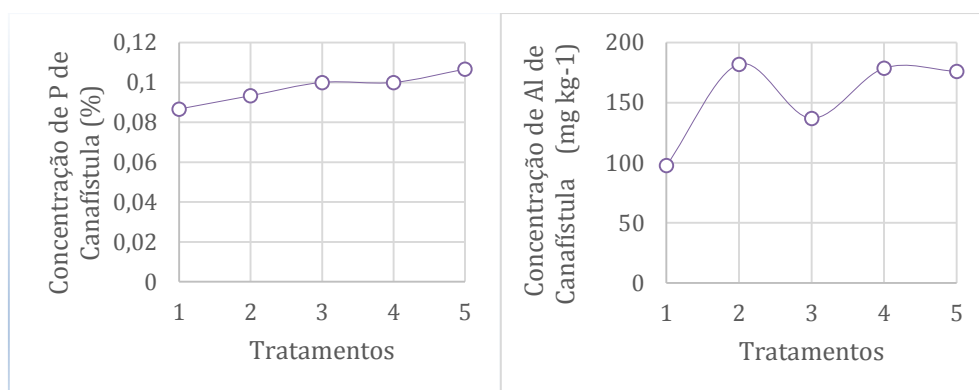


Figura 33. Concentração de fósforo (P) e alumínio (Al) no material foliar da espécie Canafístula.

As concentrações de fósforo e alumínio presentes no resíduo não foram suficientes para alterar significativamente as proporções desses elementos no material foliar das espécies. Apesar de maiores concentrações de alumínio no RETA do que no solo, em vista de se tratar de plantas com ocorrência no bioma Cerrado, muitos espécimes

utilizam as estratégias de exclusão ou de absorção do alumínio, resultando sem nenhum efeito prejudicial para seu crescimento vegetativo, reprodução ou suas funções metabólicas.

Dessa forma, muitas espécies com ocorrência no Cerrado evoluíram para não só apenas sobreviver nessas condições, mas também, em algumas espécies, necessitarem desses ambientes (HARIDASAN, 2006). Assim, o resíduo é um produto que, nas concentrações aqui estudadas, não causa deficiências nutricionais de fósforo nem toxicidade de alumínio.

O comportamento dos macronutrientes K, Ca, S e Mg estão apresentados nas Figuras 34, 35, 36 e 37.

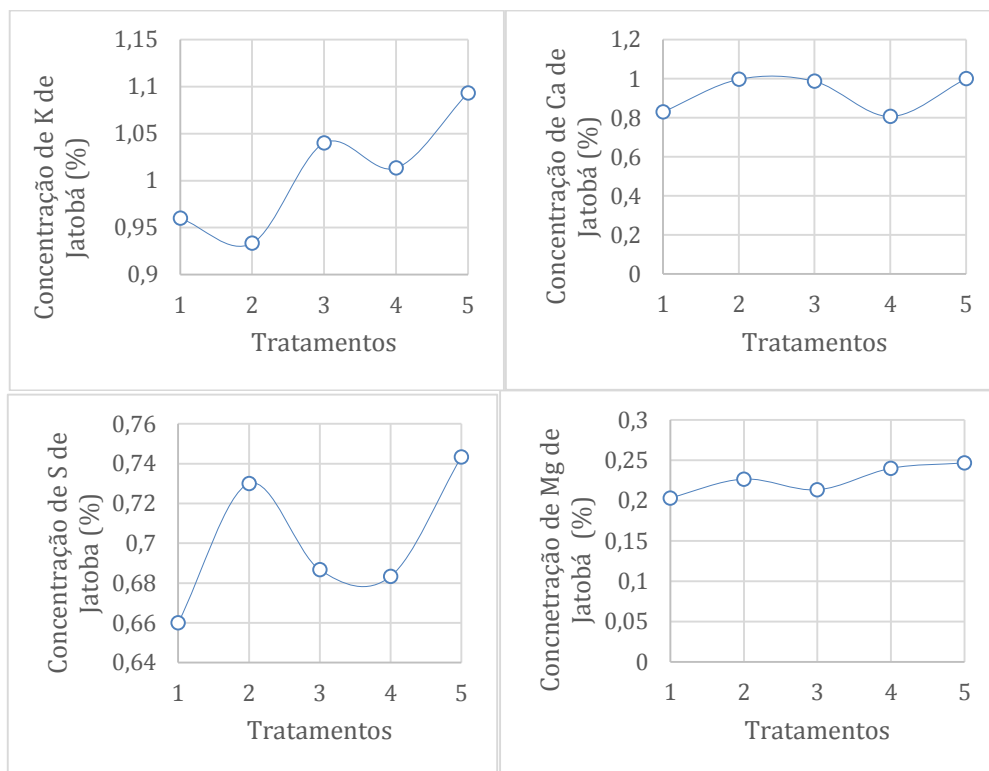


Figura 34. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Jatobá.

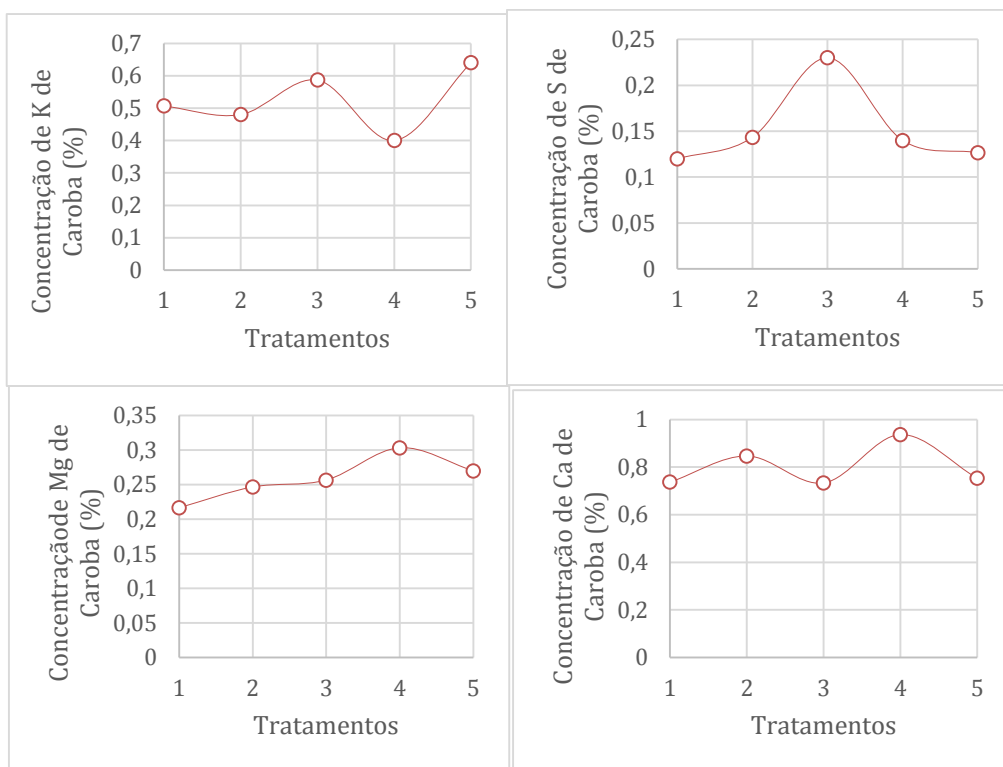


Figura 35. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Caroba.

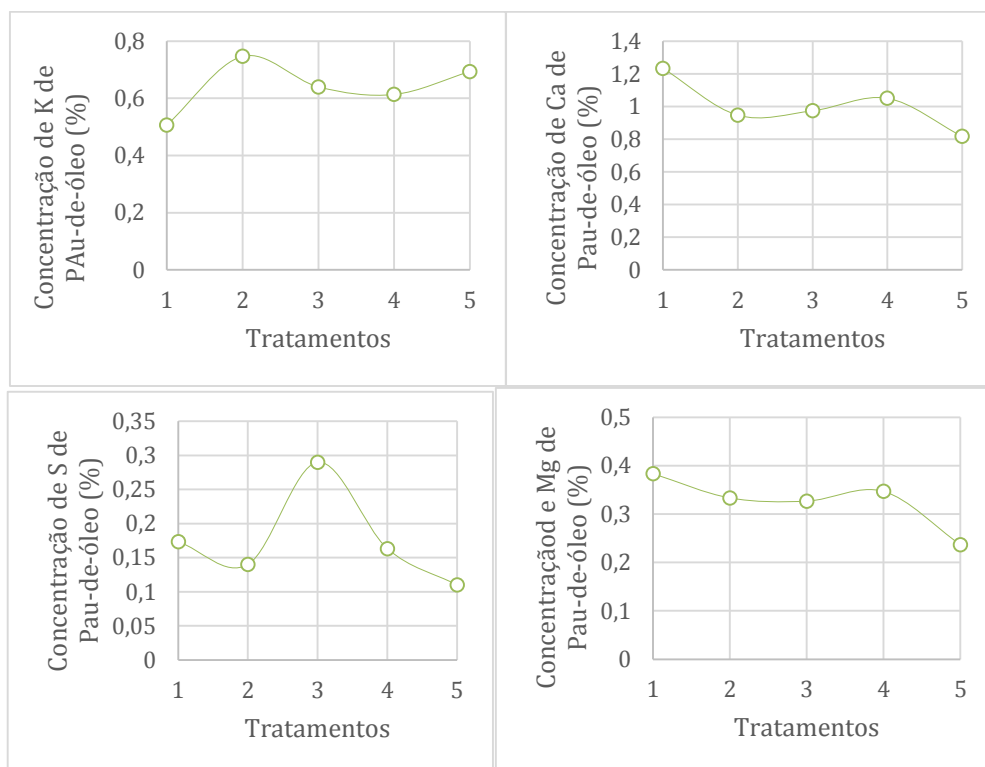


Figura 36. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Pau-de-óleo.

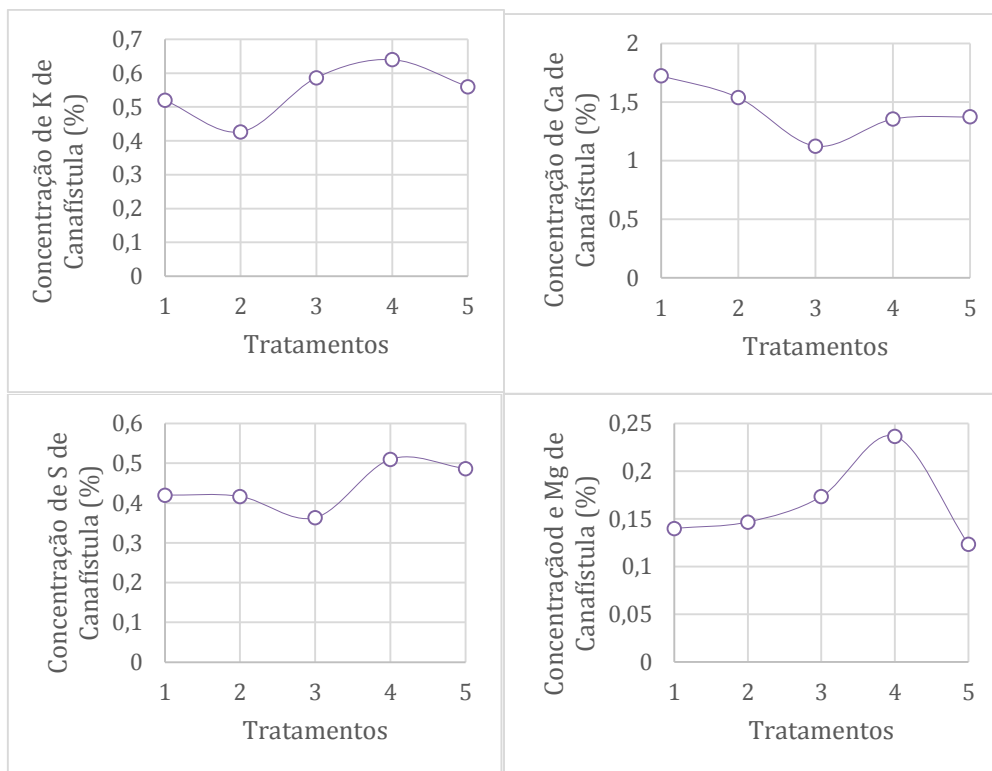


Figura 37. Concentração de potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg) no material foliar da espécie Canafístula.

Na espécie Jatobá houve uma acentuada concentração desses elementos no tratamento 5. Entretanto, não foi observado diferenças significativas entre os 5 tratamentos. Segundo Duboc e colaboradores (1996), o Jatobá apresenta pequeno requerimento nutricional para o K, Ca, S e Mg indicando ser uma planta típica de regiões menos férteis.

Nas outras três espécies não ocorreu nenhuma tendência de incremento de algum elemento químico relacionado aos tratamentos. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos com exceção da Caroba. Nessa espécie as concentrações de zinco foram maiores significativamente no tratamento 2

As concentrações dos micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) no material vegetal pode ser observada nas Figuras 38, 39, 40 e 41. Os micronutrientes de plantas são utilizados por elas em concentrações baixas para adequado crescimento e reprodução. Todavia, esses elementos possuem mesma importância dos macronutrientes para a nutrição delas (KIRKBY; RÖMHELD, 2004).

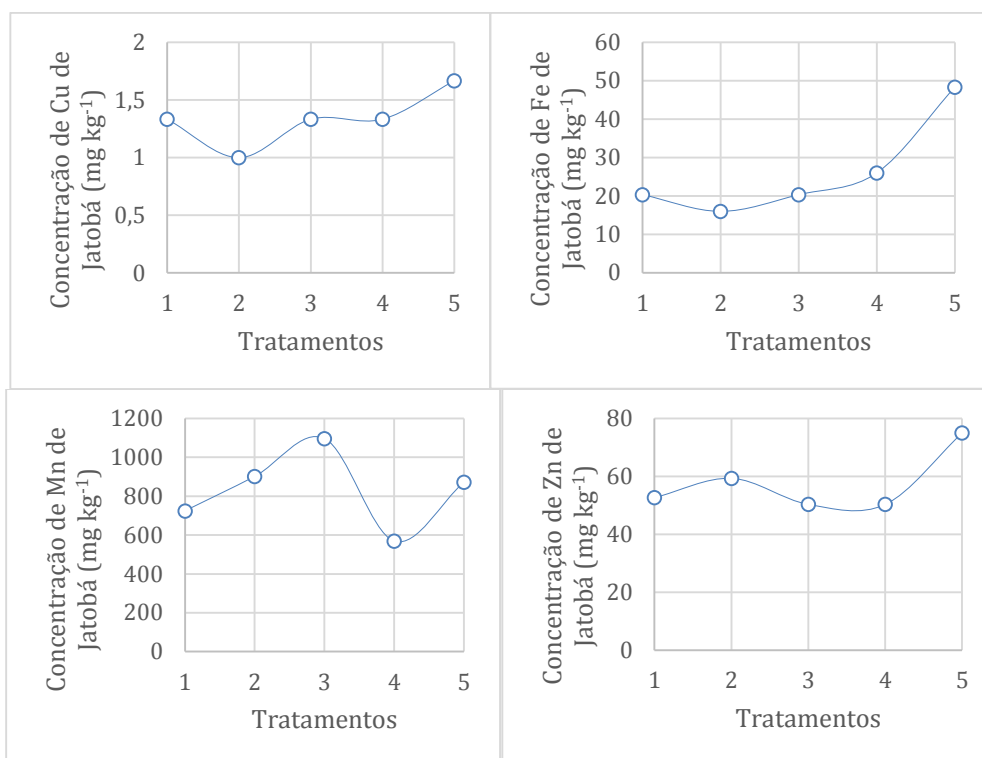


Figura 38. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Jatobá.

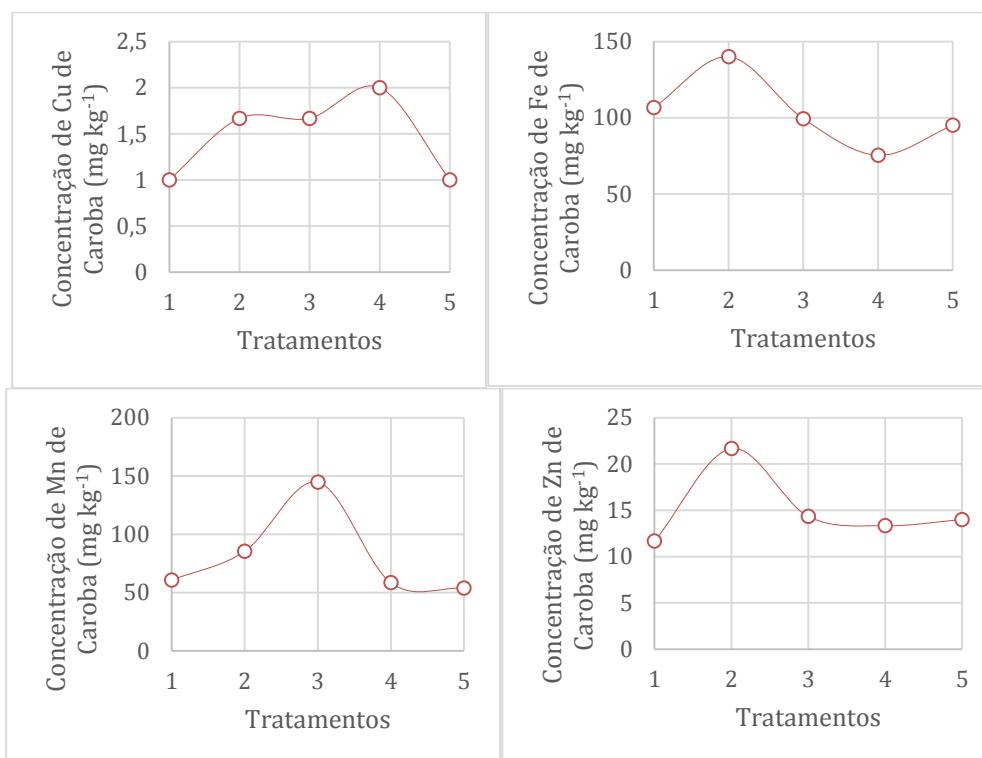


Figura 39. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Caroba.

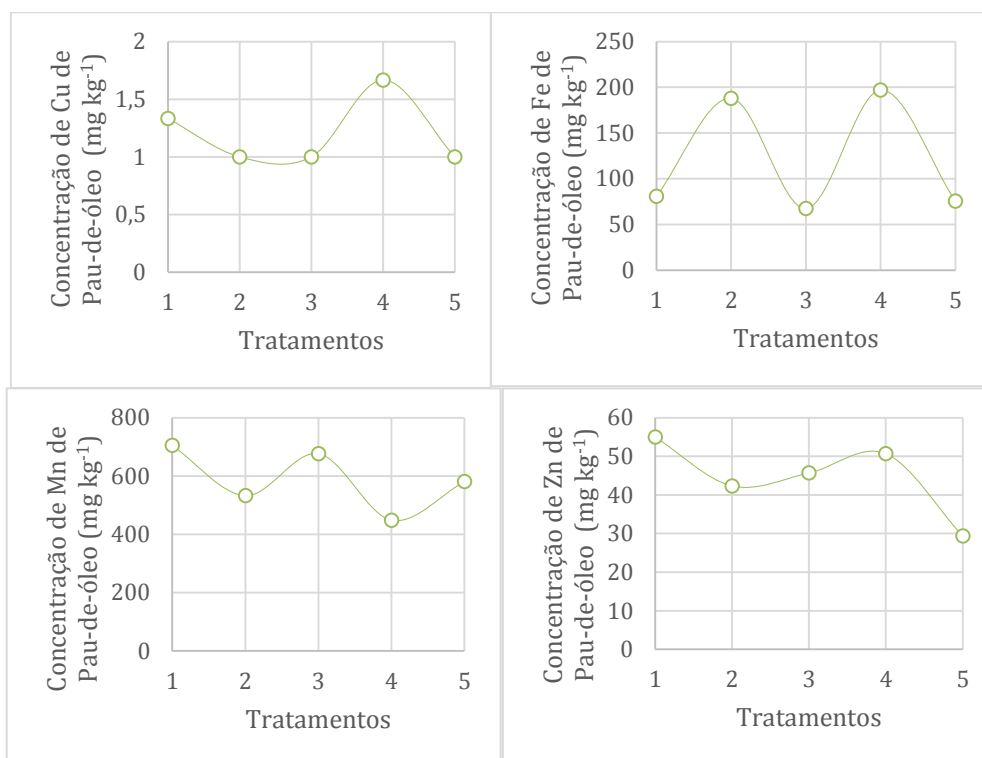


Figura 40. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Pau-de-óleo.

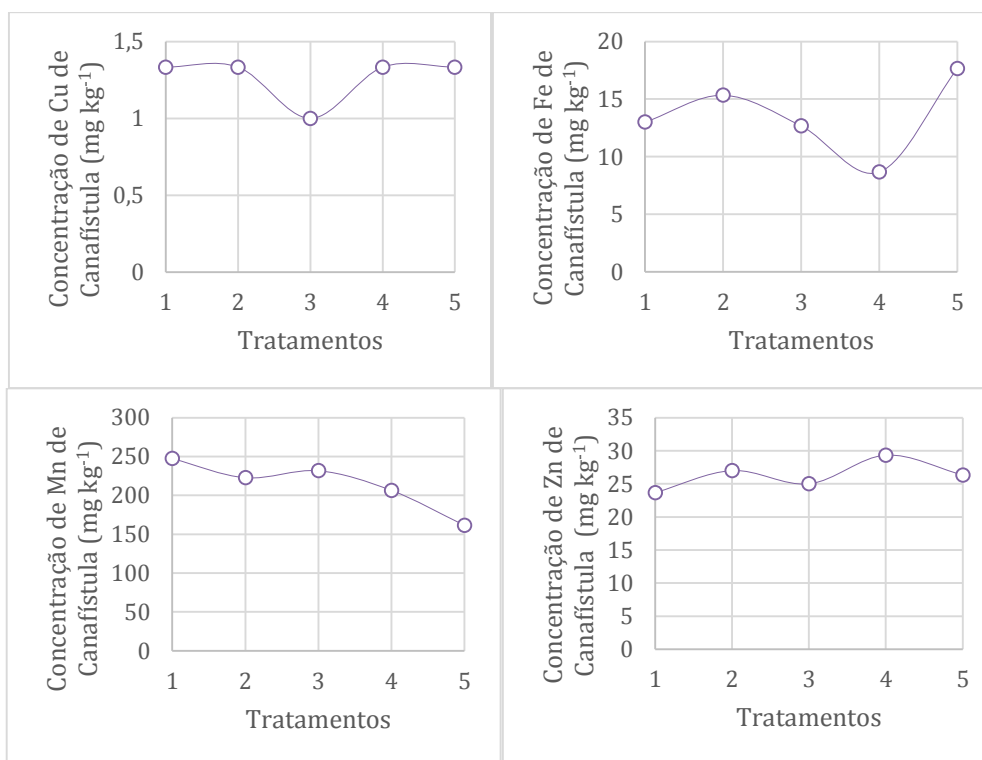


Figura 41. Concentração de cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) no material foliar da espécie Canafístula.

As maiores concentrações de cobre foram no tratamento 4 para as espécies Caroba e Pau-de-óleo e no tratamento 5 para a espécies Canafístula e Jatobá. Apesar disso, as concentrações de cobre não variaram significativamente entre os tratamentos.

O ferro é um elemento ricamente presente no resíduo, e nas plantas está relacionado à produção de clorofila e de outros pigmentos que captam luz (KIRKBY; RÖMHELD, 2004). Nas espécies Jatobá e Canafístula esse elemento teve um ligeiro aumento no tratamento 5, nos espécimes de Caroba a maior concentração foi no tratamento 2, enquanto nos indivíduos de Pau-de-óleo foi no tratamento 4. Não houve diferença significativa dos tratamentos.

Os elementos manganês e zinco tiveram pequena variação nas espécies Caroba e Canafístula. As outras espécies foram mais sensíveis aos tratamentos. No Pau-de-óleo as maiores concentrações de manganês e zinco se encontram no tratamento 1. Já na espécie Jatobá as maiores concentrações de zinco apareceram no tratamento 5 e de manganês no tratamento 3. Os tratamentos não variaram significativamente entre si.

6.5. Desenvolvimento final das espécies

Após 210 dias de experimento foram avaliados os pesos frescos, e secos da parte aérea e da raiz e comprimento das raízes. Esses valores são fundamentais para a análise de crescimento e indicam a capacidade do sistema assimilatório das plantas em sintetizar e alocar a matéria orgânica nos diversos órgãos dependentes da fotossíntese, respiração e translocação.

Em suma, essas análises expressam as condições morfológicas dos espécimes e quantifica sua produção líquida (FONTES; DIAS; SILVA, 2005). Nas figuras 42, 43, 44, 45 e 46 podemos observar esses comportamentos nas diferentes espécies e tratamentos.

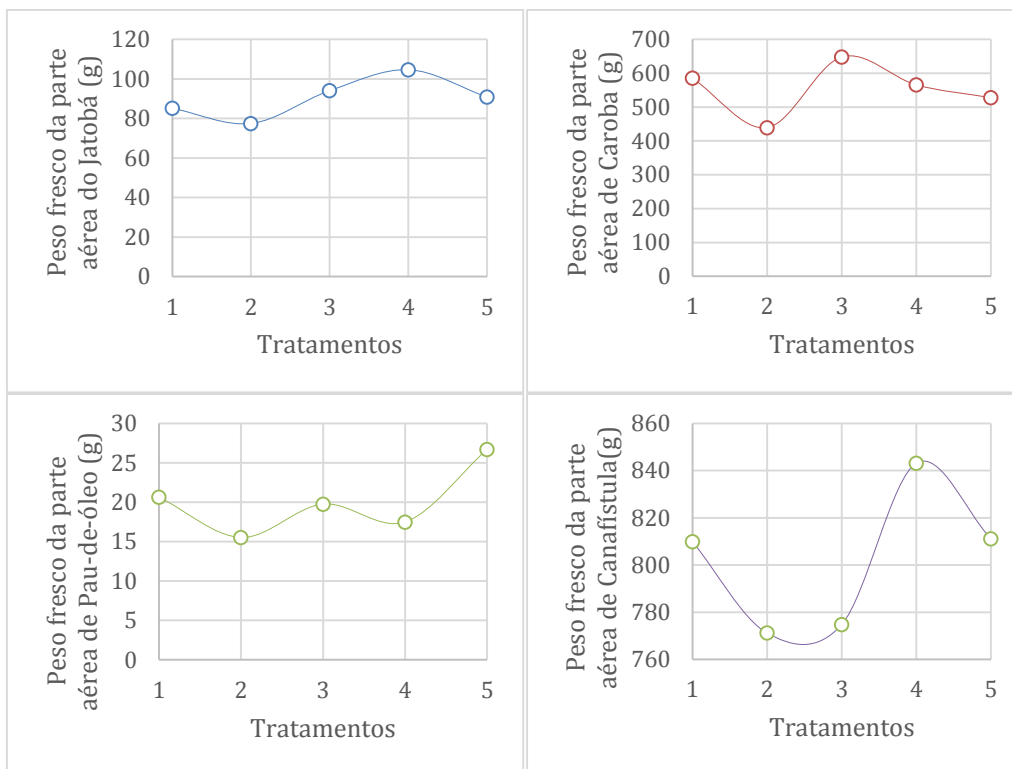


Figura 42. Peso fresco da parte aérea das espécies nos 5 tratamentos.

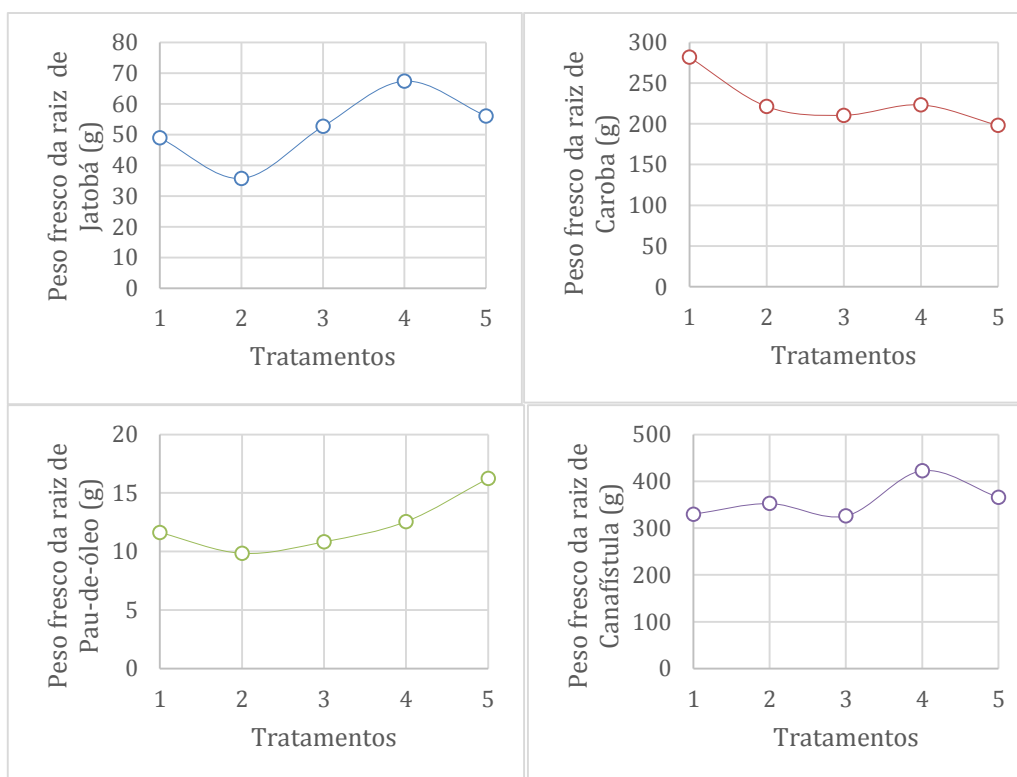


Figura 43. Peso fresco da raiz das espécies nos 5 tratamentos.

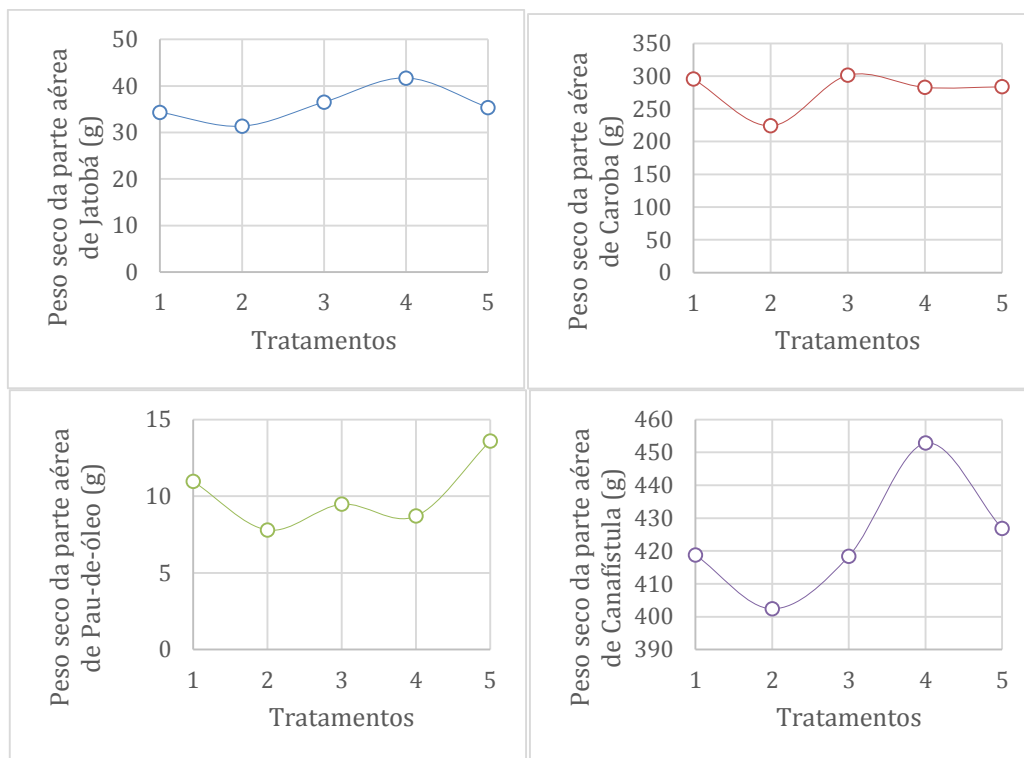


Figura 44. Peso seco da parte aérea das espécies nos 5 tratamentos.

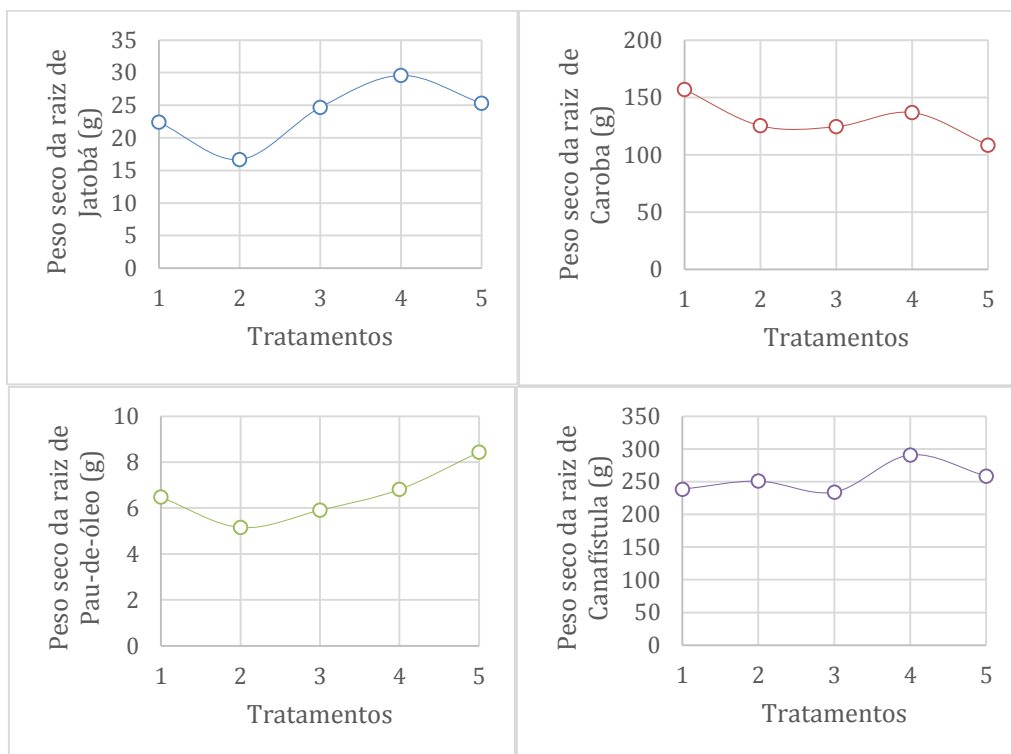


Figura 45. Peso seco da raiz das espécies nos 5 tratamentos.

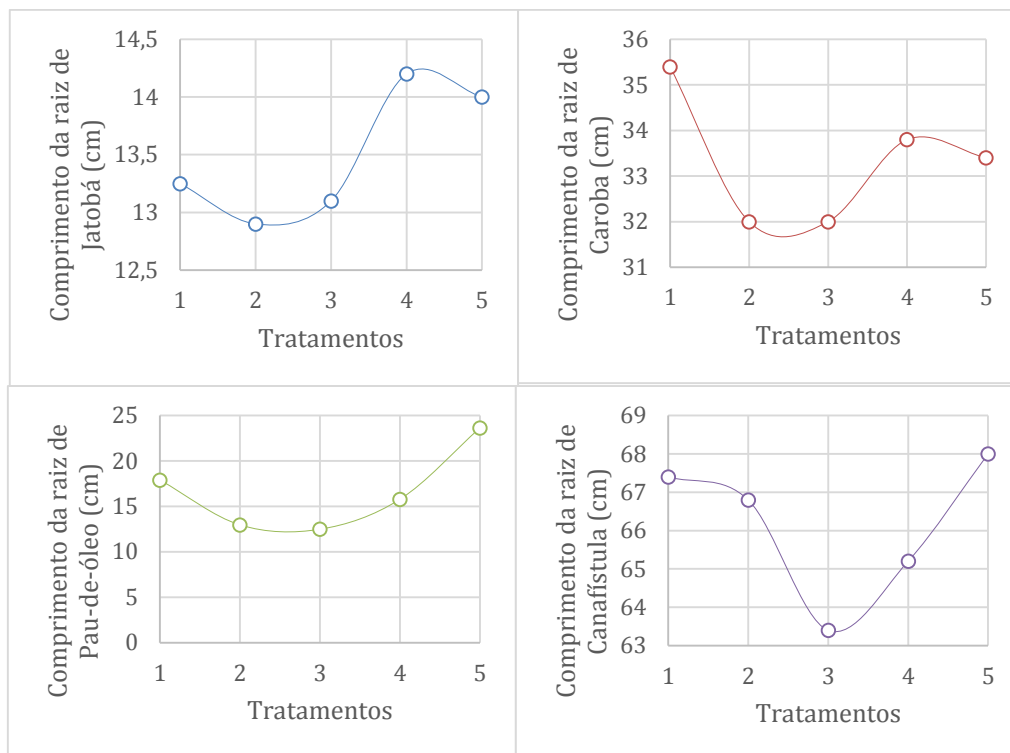


Figura 46. Comprimento da raiz das espécies nos 5 tratamentos.

Em todos os gráficos é possível observar que o tratamento 5 foi substancialmente maior em todas as análises na espécie Pau-de-óleo. Além disso, o comprimento da raiz dessa espécie foi significativamente maior no tratamento 5 utilizando o teste Tukey a 5% de probabilidade. Um sistema radicular desenvolvido aumenta a absorção de água, nutriente e, conseqüentemente, produtividade (SILVA et al., 2013). Já a espécie Jatobá teve melhores condições em todos os gráficos no tratamento 4. Contudo, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Assim como a espécie Jatobá, a espécie Canafístula também apresentou maiores resultados no tratamento 4. Porém, sem diferenças significativas. Por fim, a espécie Caroba apresentou maiores pesos fresco e seco da parte aérea no tratamento 3 e pesos fresco e seco e comprimentos das raízes no tratamento 1. Não foi verificada diferenças significativas entre eles. Na Tabela 11 há a redução do peso, porcentagem de raízes e peso da matéria seca total.

Tabela 11. Redução do peso, porcentagem de raízes e peso da matéria seca total das espécies nos 5 tratamentos.

Tratamentos	Redução de peso (%)		Porcentagem de raízes (%)	PMST (g)
	Parte aérea	Raiz		
Jatobá				
T1	40,3	45,8	39	56,6
T2	40,5	46,6	34,7	48
T3	38,8	46,8	40,3	61,2
T4	39,8	43,9	41,5	71,3
T5	38,9	45,1	41,7	60,7
Caroba				
T1	50,5	55,8	34,7	452,6
T2	51,0	56,6	35,9	349,2
T3	46,5	59,1	29,2	425,6
T4	50,0	61,3	32,6	419,6
T5	53,8	54,7	27,7	392,0
Pau-de-óleo				
T1	53,1	55,7	37,1	17,4
T2	50,2	52,3	39,8	13,0
T3	47,9	54,6	38,4	15,4
T4	49,7	54,2	43,9	15,5
T5	50,9	51,9	38,3	22,0
Canafístula				
T1	51,7	72,3	36,3	657,2
T2	52,2	71,2	38,4	653,2
T3	54,0	71,8	35,9	652,4
T4	53,7	68,8	39,1	743,6
T5	52,6	70,7	37,7	685,2

Para que espécies florestais tenham sucesso no crescimento a porcentagem das raízes deve ser entre 1/4 a 1/3 do seu peso total (CARNEIRO, 1987). O tratamento 4 apresentou maiores porcentagem nas espécies Pau-de-óleo e Canafístula. Já para o Jatobá o melhor tratamento foi o 5 e para a Caroba o 2.

O maior peso da massa seca foi encontrado no tratamento 4 para as espécies Jatobá e Canafístula, no tratamento 1 para a espécie Caroba e no tratamento 4 para o Pau-de-óleo.

6.6. Índice de Qualidade de Dickson (IQD)

O IQD geralmente é aplicado em mudas no início do crescimento vegetativo, no entanto alguns autores avaliaram o índice em mudas com estágios mais avançados de

desenvolvimento (CHAVES; PAIVA, 2004; AGUIAR et al., 2011). É possível observar os valores do Índice de Qualidade de Dickson nas diferentes espécies nos 5 tratamentos na Figura 47.

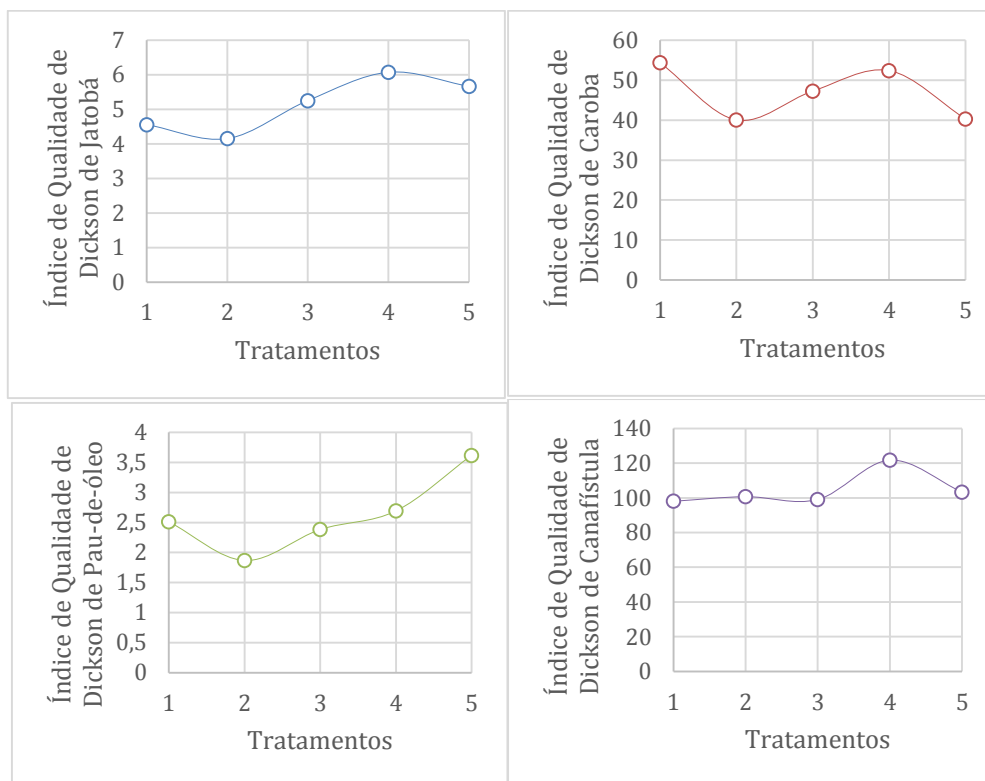


Figura 47. Índice de Qualidade de Dickson (IQD) das espécies nos 5 tratamentos.

Os maiores índices se encontraram no tratamento 4 para duas espécies: Jatobá e Canafístula. O gráfico para a espécie Pau-de-óleo apresentou os melhores valores no tratamento 5, com uma tendência em que maiores concentrações de RETA equivalem a maiores IQDs. Já na espécie Caroba, os maiores índices apareceram nos espécimes do tratamento 1.

7. CONCLUSÕES

1. Na espécie Pau-de-óleo a altura da parte aérea foi significativamente maior no tratamento 1 aos 90 dias de experimento. No entanto, ao final dos 210 dias o comprimento de suas raízes foram significativamente maiores no tratamento 5 utilizando o teste Tukey a 5% de probabilidade. O IQD também foi maior no tratamento 5 para essa espécie. O tratamento 5, nesse sentido, é o que ofereceu melhores condições para o crescimento de Pau-de-óleo

2. As concentrações de zinco da espécie Caroba foram significativamente maiores no tratamento 2.

3. O RETA aplicado nesse estudo possui propriedades físicas e químicas bastante semelhantes ao solo do Cerrado. Talvez por conta disso as dosagens aplicadas nos tratamentos não influenciaram significativamente, em sua maioria, no crescimento dos indivíduos. Outra hipótese que pode explicar a baixa diferença significativa entre si dos indivíduos é a dosagem de RETA aplicado no solo, que ter sido insuficiente para causar problemas nutricionais às plantas ou melhorar o desenvolvimento das mesmas.

4. De toda maneira o RETA, utilizado nas dosagens aqui consideradas, pode ser aplicado no solo como uma alternativa de disposição ecologicamente adequada. Além do RETA ter sido um produto de baixo risco de contaminação ambiental para o solo, os indivíduos, mesmo com as maiores dosagens aplicadas, não apresentaram nenhum déficit nutricional ou morfológico.

8. REFERÊNCIAS

ABOY, N. **Secagem natural e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. S. Amenização do calcário na toxidez de zinco e cádmio para mudas de *Eucalyptus camaldulensis* cultivadas em solo contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, 2004.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S.. Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água. **Eng. Sanit. Ambient**, v. 13, n. 1, p. 54-62, 2008.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Eng Sanit Ambient**, v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013.

ÁFRICA DO SUL. Environment Conservation Act nº. 73 de 1989. Disponível em: http://www.rubbersa.com/files/environment_conservation_act.pdf. Acesso em: 20 jan. 2014.

AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R.; ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p. 729-734, 2011.

AGYIN-BIRIKORANG, Sampson. **Lability of drinking-water treatment residuals (WTR) immobilized phosphorus: implications for long-term stability**. 2006. Tese de Doutorado. University of Florida.

AGYIN-BIRIKORANG, S.; O'CONNOR, G. A. Lability of Drinking Water Treatment Residuals (WTR) Immobilized Phosphorus. **Journal of environmental quality**, v. 36, n. 4, p. 1076-1085, 2007.

AGYIN-BIRIKORANG, S.; O'CONNOR, G. A. Aging effects on reactivity of an aluminum-based drinking-water treatment residual as a soil amendment. **Science of the total environment**, v. 407, n. 2, p. 826-834, 2009.

ANDERSON, D. L.; TUOVINEN, O. H.; FABER, A.; OSTROKOWSKI, I. Use of soil amendments to reduce soluble phosphorus in dairy soils. **Ecological Engineering**, v. 5, n. 2, p. 229-246, 1995.

ANDREOLI, C. V. (Coord.), Alternativas de uso de resíduos do saneamento. Projeto PROSAB vol. 4 Biossólidos, **ABES, RJ**, Brazil. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, p.71, 2004.

ATTARAN, E.; MAJOR, I. T.; CRUZ, J. A.; ROSA, B. A.; KOO, A. J. K.; CHEN, J.; KRAMER, D. M.; HE, S. Y.; HOWE, G. A. Temporal Dynamics of Growth and Photosynthesis Suppression in Response to Jasmonate Signaling. **Plant Physiology**, V. 165, pp. 1302–1314, 2014.

BABATUNDE, A.O.; ZHAO, Y.Q.; YANG, Y.; KEARNEY, P. Reuse of dewatered aluminium-coagulated water treatment residual to immobilize phosphorus: Batch and column trials using a condensed phosphate. **Chemical Engineering Journal**, v. 136, n. 2, p. 108-115, 2008.

BARBOSA, R. M.; POVINELLI, J.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. L.G. A toxicidade de despejos (lodos) de estações de tratamento de água à *Daphnia similis* (cladocera, crustacea). In: 27.º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000, Porto Alegre-RS.

BASTA, N. T.; ZUPANCIC, R. J.; DAYTON, E. A. Evaluating soil tests to predict bermudagrass growth in drinking water treatment residuals with phosphorus fertilizer. **Journal of environmental quality**, v. 29, n. 6, p. 2007-2012, 2000.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Funep, 1988.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; MARIN, L. M. K. S.; SIMÃO, C. C. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Eng Sanit Ambient**, v. 17, n. 3, p. 315-324, 2012.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D.; BATISTA FILHO, A.. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, 2010.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.37, n.3, pp. 743-753, 2013.

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, p. 2018-2022, 2009.

BRASIL. Lei nº **9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. Lei nº **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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria nº- 2.914, de 12 de dezembro de 2011a. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, setembro de 2011b. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em: 19 jan. 2014.

BRASIL. Projeções do agronegócio no Brasil 2012/13 a 2022/23. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Assessoria de Gestão Estratégica, 2013.

BUGBEE, G. J.; FRINK, C. R. Alum sludge as a soil amendment: Effects on soil properties and plant growth. **Bulletin-Connecticut Agricultural Experiment Station**, New Haven (USA), 1985.

BUOSI, D.; FELFILI, J. M.. Recuperação de áreas contaminadas por pesticidas organoclorados na Cidade dos Meninos, município de Duque de Caxias, RJ. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 465-470, 2004.

CARNEIRO, J. G. A. 1987. Influência de recipientes e de estações de semeadura sobre o comportamento do sistema radicular e dos parâmetros morfológicos de mudas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* L. Curitiba: Ed. EFP. 81 p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

CANIANI, D.; MASI, S; MANCINI, I. M.; TRULLI, E. Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications. **Waste management**, v. 33, n. 6, p. 1461-1468, 2013.

CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z.; M.. Physical attributes of kaolinitic and oxidic oxisols resulting from different usage systems. **Brazilian archives of biology and technology**, v. 47, n. 5, p. 725-732, 2004.

CHAVES, A. S.; PAIVA, H. N. 2004. Influência de diferentes períodos de sombreamento. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 22-29. 2004.

CODLING, E. E.; CHANEY, R. L.; MULCHI, C. L. Use of aluminum-and iron-rich residues to immobilize phosphorus in poultry litter and litter-amended soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 6, p. 1924-1931, 2000.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Ministério do Meio Ambiente (2006). Resolução nº 375 , de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

CORDEIRO, J. S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs.

In: REALI, M. A. P., coor. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos e Estações de Tratamento e Água. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CORNWELL, D.A.; MUTTER, R.N.; VANDERMEYDEN, C. **Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals**. Denver: American Water Works Association. 2000.

COSTA, M. R.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A. Estudo da herança e descrição de um mutante para coloração de frutos no tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 23, p. 578-588, 1999.

COUTINHO, L. M. **Aspectos do Cerrado**. Disponível em <<http://ecologia.ib.usp.br/cerrado>>. Acesso em: 20 mar. 2013.

COX, A. E.; CAMBERATO, J. J.; SMITH, B. R. Phosphate availability and inorganic transformation in an alum sludge-affected soil. **Journal of environmental quality**, v. 26, n. 5, p. 1393-1398, 1997.

DAYTON, E. A.; BASTA, N. T. Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. **Water Environment Research**, p. 52-57, 2001.

DAYTON, E. A.; BASTA, N. T.; JAKOBER, C. A.; HATTEY, J. A. Using treatment residuals to reduce phosphorus in agricultural runoff. **Journal-American Water Works Association**, v. 95, n. 4, p. 151-158, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. LDIBE, São Carlos, 2011.

DIAS, J. L. C. S.; PRADO, R. M.; ROCHA, L. C. M.; VIEIRA, D. S. T. Métodos de secagem de amostras de folhas de café, manga e amora na determinação da matéria seca e nos teores de macronutrientes. **Nucleus**, v. 8, n. 2, 2011.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10-13, 1960.

DONG, D.; RAMSEY, M. H.; THORNTON, I. Effect of soil pH on Al availability in soils and its uptake by the soybean plant (*Glycine max*). **Journal of Geochemical Exploration**, v. 55, n. 1, p. 223-230, 1995.

DUBOC, E.; VENTORIM, N.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. Nutrição do jatobá (*Hymenaea courbaril* L. Lee et Lang.). **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 138-152, 1996.

DUARTE, J. B. **Princípios sobre delineamento em experimentação agrícola**. 66p. Monografia (Especialização). Universidade Federal de Goiás, 1996.

DURIGAN, G.; FIGLIOLIA, M. B.; KAWABATA, M.; GARRIDO, M. D. O.; BAITELLO, J. B. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. Instituto Florestal, Sao Paulo (Brasil). Japan International Cooperation Agency, Sao Paulo (Brasil), 1997.

DWAF. Department of Water Affairs and Forestry. 2003. Disponível em: <<http://www.dwaf.co.za>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

E.U. Directiva 2008/98/CE do parlamento europeu e do conselho de 19 de Novembro de 2008. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:pt:PDF>.

Acesso em: 20 jan. 2014.

ELLIOTT, H. A.; DEMPSEY, B. A.; MAILLE, P. J. Content and fractionation of heavy metals in water treatment sludges. **Journal of environmental quality**, v. 19, n. 2, p. 330-334, 1990.

ELLIOTT, H. A.; O'CONNOR, G. A.; LU, P.; BRINTON, S. Influence of water treatment residuals on phosphorus solubility and leaching. **Journal of Environmental Quality**, v. 31, n. 4, p. 1362-1369, 2002.

EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solo 2 a edição. revista e atualizada. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na EMBRAPA solos. Circular Técnica 6. Rio de Janeiro, 2000

ENGEL, V. L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 39-45, 1991.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. Influência da calagem no rendimento de matéria seca de plantas de cobertura e adubação verde, em casa de vegetação. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 25, n. 4, p. 897-904, 2001.

FIGUEIREDO-NETO, A. **Utilização de lodo de estação de tratamento de água na produção de mudas de árvores com ocorrência no Cerrado**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2011.

FLETCHER, J. Use of algae versus vascular plants to test for chemical toxicity. In: WANG, W.; GORSUCH, J.W.; LOWER, W.R. (Ed.). Plants for toxicity assessment. **Philadelphia: ASTM**, p.33- 39, 1990.

FONTES, P.C.R.; DIAS, E.N.; SILVA, D.J.H. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.94-99, 2005.

FREITAS, C. V.; OLIVEIRA, P. E. Biologia reprodutiva de *Copaifera langsdorffii* Desf.(leguminosae, Caesalpinioideae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 25, n. 3, p. 311-321, 2002.

GIBBONS, M. K.; GAGNON, G. A. Adsorption of arsenic from a Nova Scotia groundwater onto water treatment residual solids. **Water research**, v. 44, n. 19, p. 5740-5749, 2010.

- GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990.
- GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. Princípios de estatística em ecologia. **Porto Alegre: Artmed**, p. 528, 2011.
- GRIGIO, M. L. Título: Caracterização e conservação pós-colheita de camu-camu (*Myrciaria Dubia* (Kunth) Mc Vaugh). Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Roraima, 2013. 72 p. 2013.
- HARIDASAN, M. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Editora Manole, Barueri, SP, p. 466, 2006.
- HAUSTEIN, G. K. et al. Aluminum-containing residuals influence high-phosphorus soils and runoff water quality. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, n. 6, p. 1954-1959, 2000.
- HAYNES, R. J.; MOKOLOBATE, M. S. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 59, n. 1, p. 47-63, 2001.
- HEIL, D. M.; BARBARICK, K. A. Water treatment sludge influence on the growth of sorghum-sudangrass. **Journal of environmental quality**, v. 18, n. 3, p. 292-298, 1989.
- HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2007.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; TRINDADE, E. M.; ANDREÓLI, C. V. Uso de lodo de estacao de tratamento de agua centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 79, 2006.
- HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R., SALES, A. , ANDREOLI, C. V.; PAULON, V. A. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, v. 51, n. 318, p. 85-95, 2005.
- HOVSEPYAN, A.; BONZONGO. J. J. Aluminum drinking water treatment residuals (Al-WTRs) as sorbent for mercury: Implications for soil remediation. **Journal of hazardous materials**, v. 164, n. 1, p. 73-80, 2009.
- HSIEH, H. N; RAGHU, D. **Criteria development for water treatment plant residual monofills**. American Water Works Association, 199p. 1997.
- IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2014.

IPPOLITO, J. A.; SCHECKEL, K. G.; BARBARICK, K. A. Selenium adsorption to aluminum-based water treatment residuals. **Journal of colloid and interface science**, v. 338, n. 1, p. 48-55, 2009.

IRAWAN C.; LIU, J.C. WU, C.C. Removal of boron using aluminum-based water treatment residuals (Al-WTRs). **Desalination**, v. 276, n. 1, p. 322-327, 2011.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 24512**. 2007.

KAGEYAMA, P. Y.; BIELLA, L. C.; PALERMO JR, A. Plantações mistas com espécies nativas com fins de proteção a reservatórios. In: **Congresso florestal brasileiro**. Campos do Jordão: SBSSBEF, 1990.

KIRKBY, E. A.; & RÖMHELD, V. Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility. **The International Fertiliser Society**, P. O. Box 4, York, YO32 5YS, Reino Unido, 2004.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.

LACERDA, M.J.R.; FREITAS, K.R.; SILVA, J.W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**, v.25, n.3, p.185-190, 2009.

LEE, Yin-Tse; LANGENHEIM, Jean H. **Systematics of the genus Hymenaea L.(Leguminosae, Caesalpinioideae, Detarieae)**. Botany, 190p, University of California Press, 1975

LINDER, S. A proposal for the use of standradized methods for chlorophyll determinations in ecological and ecophysiological envestigations. **Physiologia Plantarum**, v.32, p.154-56, 1974.

LOMBI, E.; STEVENS, D. P.; MCLAUGHLIN, M. J. Effect of water treatment residuals on soil phosphorus, copper and aluminium availability and toxicity. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 6, p. 2110-2116, 2010.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.6º edição. **Nova Odessa: Editora Plantarum 352p.-col. illus.. Por Geog**, v. 4, 2014.

MACHADO, J. W. B. Relação origem/solo e tolerância à saturação hídrica de *Copaifera langsdorffii* Desf. **Campinas, 1990. Tese de doutorado, Universidade**, 1990.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZAI, E.; FONSECAII, E. P.; KAINUMAI, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.1, p.39-45, 2008.

MARCHIORI, J. N. C.. **Dendrologia das angiospermas. Leguminosas**. Ed. UFSM, 1997.

MARTINS, C. C.; BELISARIO, L.; TOMAZ, C. D. A.; ZUCARELI, C. Condições climáticas, características do fruto e sistema de colheita na qualidade fisiológica de sementes de jacarandá. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 627-632, 2008.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MOREIRA, R. C. A.; BOAVENTURA, G. R.; NUNES, S. A.; PINHEIRO, L. D. A.; DO NASCIMENTO, C. T. C., DA SILVA, D. R.; LIRA, C. D. P. Geochemical and geophysical study in a degraded area used for disposal of sludge from a water treatment plant. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2011, 2011.

OH, T.; NAKAJI, K.; CHIKUSHI, J.; PARK, S. Effect of application of water treatment sludge on growth of lettuce (*Lactuca sativa L.*) and changes in soil properties. **J. Fac. Agr. Kyushu Univ**, v. 55, n.1, p. 15-20. 2010.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 50, p. 324-330, 2004.

OLIVEIRA, E. M. S.; HOLANDA, J. N. F. Influência da adição de resíduo (lodo) de estação de tratamento de águas nas propriedades e microestrutura de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 54, p. 167-173, 2008.

OLIVEIRA, L. D.; PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G.; RIBEIRO, L.; ALMEIDA, V.; PEIXOTO, C. Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 121, p. 2604-2610, 2010.

PAIVA, A. D.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. D. M.; FERRAZ, A. D. V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 499-511, 2009.

PARK, S.; KUROSAWA, K.; YAHATA, H. Evaluation of water treatment residue as a soil substitute material compared to decomposed granite soil on the growth of greening trees. **Bulletin of the Institute of Tropical Agriculture, Kyushu University**, v. 32, p. 93-100, 2009.

PARK, S.; YAHATA, H.; CHIKUSHI, J.; OH, T. Possibility of reusing water treatment residue as a growing medium of turfgrass in view of physical properties. **Environmental Control in Biology**, v. 48, n. 1, p. 9-16, 2010.

PORTUGAL. Decreto-Lei nº 178 de 2006. Disponível em: <<http://dre.pt/pdf1s/2006/09/17100/65266545.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do pantanal**. Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, Serviço de Produção de Informação, 1994.

PRALON, A. Z.; MARTINS, M. A. Utilização do resíduo industrial ferkal na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*, em estéril de extração de argila, inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 55-63, 2001.

PREVITALI, R. V. Z. **Crescimento de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) em substrato compactado**. Dissertação (Mestrado). Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. .; BRIDGEWATER, S. The Brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223-230, 1997.

RAZALI, M.; ZHAO, Y.Q.; BRUEN, M. Effectiveness of a drinking-water treatment sludge in removing different phosphorus species from aqueous solution. **Separation and Purification Technology**, v. 55, n. 3, p. 300-306, 2007.

RICHTER, C. A. **Água métodos e tecnologias de tratamento**. Blucher, Ed. 1, São Paulo, 2009.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Cerâmica**, v. 59, p. 551-556, 2013.

ROTILI, E. A.; FIDELIS, R. R.; SANTOS, M. M.; BARROS, H. B.; PINTO, L. C. Eficiência do uso e resposta à aplicação de fósforo de cultivares de arroz em solos de terras altas. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 705-709, 2010.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+ argila). **Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO J. L.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1998.

SCALIZE, P. S.; NETO, A. F.; RIOS, F. P.; ALBUQUERQUE, A. Estudo da influência da temperatura da água bruta na eficiência do coagulante químico. **Sodebras**, v. 7, n. 80, 2012.

SILVA, C. A. D.; SILVEIRA, C.; SILVA, F. A. D.; KLEN, M. R. F.; BERGAMASCO, R. Classificação dos lodos formados durante o processo de coagulação/floculação da água com os coagulantes PAC e *Moringa oleifera*. **Engevista**, v. 14, n. 3, 2012.

SILVA, E. M. B.; SILVA, T. J. A.; OLIVEIRA, L. B.; MELO, R. F.; JACOMINE, P. K. T. Utilização de cera de abelhas na determinação da densidade do solo. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 27, p. 955-959, 2003.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: **World congress on computers in agriculture**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. p. 294-298.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas a irrigação subsuperficial ea diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 31-40, 2006.

SILVA, L. M.; CRUSCIOL, C. A. C.; CRUCIOL, J. H. VIEGAS, P. R. A.; PEDROTTI, A. Comprimento radicular e nutrição de cultivares de painço em resposta à calagem. **Científica**, Jaboticabal, v.41, n.1, p.64-72, 2013.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, S.J. **The Management of Potable Water Treatment Sludge: Present Situation in the UK**. In: Management of Wastes from Drinking Water Treatment. *Proceedings*. London: The Chartered Institution of Water and Environmental Management, p. 29-36. 2002.

SZABO, A. V.; DOMINGOS, M.; RINALDI, M. C.; DELITTI, W. B. Acúmulo foliar de enxofre e suas relações com alterações no crescimento de plantas jovens de *Tibouchina pulchra* Cogn.(Melastomataceae) expostas nas proximidades do polo industrial de Cubatão, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 379-390, 2003.

TARTARI, R.; DÍAZ-MORA, N.; MÓDENES, A. N.; PIANARO, S. A Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense. **Cerâmica**, v. 57, p. 288-293, 2011.

TEIXEIRA, C. **Higienização de lodo de estação de tratamento de esgoto por compostagem termofílica para uso agrícola**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina 2012.

TEIXEIRA, S. R.; SANTOS, G. T. A.; SOUZA, A. E.; ALESSIO, P.; SOUZA, S. A.; SOUZA, N. R. The effect of incorporation of a Brazilian water treatment plant sludge on the properties of ceramic materials. **Applied Clay Science**, v. 53, n. 4, p. 561-565, 2011.

TEIXEIRA, S. T.; MELO, W. J.; SILVA, E. T. Plant nutrients in a degraded soil treated with water treatment sludge and cultivated with grasses and leguminous plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 6, p. 1348-1354, 2007.

TITSHALL, L. W.; HUGHES, J. C. Characterisation of some South African water treatment residues and implications for land application. **Water SA**, v. 31, n. 3, p. p. 299-307, 2005.

U.S. Clean Water Act – CWA. 1972. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/smallsystems/residuals.html#liquid>. Acesso em: 25 jan. 2014.

U.S. Federal Water Pollution Control Act. 2002 Disponível em: <http://www.epw.senate.gov/water.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2014.

VILELA, G. D. **Uso do lodo de esgoto no cultivo de eucalipto (híbrido *urograndis*) em latossolo vermelho amarelo.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás, 2011.

WANG, C.; PEI, Y. The removal of hydrogen sulfide in solution by ferric and alum water treatment residuals. **Chemosphere**, v. 88, n. 10, p. 1178-1183, 2012.

WHITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R.M. **Experiments in plant physiology.** New York: D. Van Nostrand Company, p.55-58. 1971.

ANEXO A

Análises de variância significativas a 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) e seus respectivos resultados para o teste de Tukey (Tabelas 12, 13, 14, 15, 16 e 17).

Tabela 12. Análise de variância do zinco foliar dos espécimes de Caroba.

FV	GL	SQ	QM	F	p
Tratamentos	4	179.33333	44.83333	4.0512	0.0331
Resíduo	10	110.66667	11.06667		
Total	14	290.00000			

FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrado; QM: Quadrado médio; F: Estatística do teste F.

Tabela 13. Médias e medidas do teste Tukey do zinco foliar dos espécimes de Caroba.

Tratamento (t ha ⁻¹)	Médias
0	11.66667 b
4	21.66667 a
8	14.33333 ab
16	13.33333 ab
32	14.00000 ab

Tabela 14. Análise de variância do comprimento da raiz dos espécimes de Pau-de-óleo.

FV	GL	SQ	QM	F	p
Tratamentos	4	410.68240	102.67060	3.7619*	0.0193
Resíduo	20	545.84000	27.29200		
Total	24	956.52.240			

FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrado; QM: Quadrado médio; F: Estatística do teste F.

Tabela 15. Médias e medidas do teste Tukey do comprimento da raiz dos espécimes de Pau-de-óleo.

Tratamento (t ha ⁻¹)	Médias
0	17.90000 ab
4	12.96000 b
8	12.48000 b
16	15.78000 ab
32	23.64000 a

Tabela 16. Análise de variância da altura da parte aérea aos 90 dias de experimento dos espécimes de Pau-de-óleo.

FV	GL	SQ	QM	F	p
Tratamentos	4	97.74560	24.43640	3.1356*	0.0373
Resíduo	20	155.86400	7.79320		
Total	24	253.60600			

FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma de quadrado; QM: Quadrado médio; F: Estatística do teste F.

Tabela 17. Médias e medidas do teste Tukey da altura da parte aérea aos 90 dias de experimento dos espécimes de Pau-de-óleo.

Tratamento (t ha ⁻¹)	Médias
0	26.16000 a
4	20.96000 ab
8	22.20000 ab
16	22.04000 ab
32	20.62000 b

ANEXO B

Os valores utilizados para o cálculo do IQD se encontram nas Tabelas 18, 19, 20 e 21.

Tabela 18. Dados referente ao IQD dos espécimes de Jatobá.

Dosagens (t ha ⁻¹)	PMST	PMSPA	PMSR	H	D	IQD
0	22,68	15,55	7,13	80	7,15	1,69637
0	89,32	45,03	44,29	124,5	11,05	7,27144
0	60,34	40,95	19,39	111	10,5	4,75742
0	57,44	33,84	23,6	105,7	9,8	4,70064
0	53,98	36,41	17,57	107,3	10,45	4,37431
4	51,65	30,86	20,79	76,2	10,1	5,72051
4	31,93	22,04	9,89	82	8,05	2,57192
4	46,84	33,14	13,7	91	10,35	4,17795
4	60,9	37,34	23,56	107	10,3	5,08634
4	48,85	33,39	15,46	109,5	8,4	3,21477
8	46,69	32,38	14,31	116	9,15	3,12509
8	81,42	40,23	41,19	102,5	11,3	8,10352
8	52,01	35,91	16,1	97	10,5	4,53502
8	85,12	47,04	38,08	119,5	11,1	7,09271
8	40,74	27,03	13,71	90	9,05	3,41885
16	52,56	35,73	16,83	115,5	11,25	4,24225
16	77,22	42,28	34,94	101,5	10,95	7,36869
16	54,81	35,77	19,04	102	9,45	4,32517
16	84,57	48,62	35,95	129	11,95	6,96198
16	87,3	46,16	41,14	104	9,85	7,47406
32	87,1	40,8	46,3	83,5	11,1	10,3644
32	37,77	23,84	13,93	70	8,7	3,87091
32	80,16	50,09	30,07	111,5	11,05	6,81848
32	43	29,04	13,96	103	9,3	3,2686
32	55,32	33,07	22,25	113,5	9,2	4,00195

PMST: Peso massa seca total; PMSPA: Peso massa seca da parte aérea, PMSR: Peso massa seca da raiz.

H: Altura, D: Diâmetro, IQD: Índice de Qualidade de Dickson.

Tabela 19. Dados referente ao IQD dos espécimes de Caroba.

Dosagens (t ha ⁻¹)	PMST	PMSPA	PMSR	H	D	IQD
0	571	384	187	203	32,25	68,3992
0	524	330	194	181	31,2	69,8451
0	394	228	166	183	27,4	48,93
0	410	288	122	203	27,85	42,4883
0	364	248	116	181	27,85	42,1441
4	236	148	88	115	23,1	35,4345
4	272	170	102	158	23,7	32,64
4	466	314	152	185	25,85	50,5288
4	282	172	110	172	22,8	30,9635
4	490	316	174	231	29,45	50,7252
8	684	508	176	192	29,1	72,1192
8	412	286	126	200	28,45	44,3024
8	368	262	106	178	27,95	41,628
8	482	314	168	181	29,85	60,7612
8	182	136	46	157	21,15	17,5342
16	306	214	92	154	25,35	36,4241
16	552	370	182	160	29,75	74,4827
16	430	274	156	217	30,75	48,7898
16	410	290	120	184	26,65	43,9868
16	400	266	134	139	28,5	58,2898
32	530	406	124	222	27,5	46,7087
32	324	210	114	150	24,7	40,935
32	594	432	162	214	30,35	61,1253
32	182	120	62	167	21,4	18,6873
32	330	250	80	173	26,3	34,0103

PMST: Peso massa seca total; PMSPA: Peso massa seca da parte aérea, PMSR: Peso massa seca da raiz.

H: Altura, D: Diâmetro, IQD: Índice de Qualidade de Dickson.

Tabela 20. Dados referente ao IQD dos espécimes de Pau-de-óleo.

Dosagens (t ha ⁻¹)	PMST	PMSPA	PMSR	H	D	IQD
0	13,56	6,47	7,09	43	8,4	2,24816
0	13,2	9,91	3,29	61	7,3	1,16112
0	9,91	5,78	4,13	28	6,25	1,68551
0	11,85	7,78	4,07	47	7,15	1,39659
0	38,68	24,89	13,79	59	12,9	6,06405
4	9,12	5,51	3,61	44,5	6,9	1,14349
4	17,28	9,77	7,51	46	8,05	2,46322
4	10,61	5,51	5,1	29,5	7,3	2,07166
4	11,57	7,68	3,89	44	6,55	1,33113
4	16,17	10,51	5,66	46	9,05	2,33005
8	7,53	5,04	2,49	36	6,25	0,96736
8	9,93	5,15	4,78	28	7,5	2,06413
8	7,36	4,63	2,73	31	6,65	1,15767
8	29,9	17,3	12,6	45,5	9,8	4,97018
8	22,19	15,25	6,94	50	8,55	2,75811
16	10,77	5,01	5,76	30	7,4	2,18731
16	19,07	14,72	4,35	46	7,75	2,04627
16	30,29	14,4	15,89	38,5	10,35	6,54772
16	4,33	2,05	2,28	27,1	6,15	0,81611
16	13,08	7,31	5,77	40	6,95	1,86264
32	7,19	4,14	3,05	30	6,55	1,21094
32	18,74	10,47	8,27	42	9,7	3,34887
32	29,36	16,98	12,38	36	9,65	5,75445
32	44,55	30,56	13,99	47	10,35	6,62406
32	10,28	5,82	4,46	44	5,8	1,15621

PMST: Peso massa seca total; PMSPA: Peso massa seca da parte aérea, PMSR: Peso massa seca da raiz.

H: Altura, D: Diâmetro, IQD: Índice de Qualidade de Dickson.

Tabela 21. Dados referente ao IQD dos espécimes de Canafístula.

Dosagens (t ha ⁻¹)	PMST	PMSPA	PMSR	H	D	IQD
0	734	464	270	163	34,35	113,556
0	718	442	276	164	33,65	110,885
0	716	478	238	178	30,95	92,2726
0	738	460	278	168	38,25	122,047
0	380	250	130	143	26,1	51,3374
4	572	360	212	163	35,3	90,5683
4	746	442	304	172	34,75	116,497
4	566	338	228	133	31,9	100,146
4	612	366	246	160	33,2	97,0338
4	770	506	264	193	32,95	99,0478
8	824	600	224	194	36,55	103,176
8	730	430	300	153	37,4	132,145
8	460	294	166	122	32,4	83,0847
8	742	456	286	194	34,8	103,499
8	506	312	194	153	28,9	73,3082
16	662	426	236	163	32,5	97,0608
16	332	196	136	142	27,5	50,2664
16	1070	618	452	174	38,7	182,489
16	902	600	302	151	39,4	155,003
16	752	424	328	171	35,7	123,631
32	752	462	290	172	35,25	116,183
32	808	528	280	184	38,65	121,57
32	650	406	244	186	31,8	86,5168
32	592	364	228	163	30,35	84,97
32	624	374	250	153	35,3	107,027

PMST: Peso massa seca total; PMSPA: Peso massa seca da parte aérea, PMSR: Peso massa seca da raiz.

H: Altura, D: Diâmetro, IQD: Índice de Qualidade de Dickson.