

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

Alternativas para Produção de Mudanças Florestais
Utilizando Resíduo da Poda Urbana e Filmes
Biodegradáveis

Victória Maria Monteiro Mendonça

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
E FLORESTAIS**

**ALTERNATIVAS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS FLORESTAIS
UTILIZANDO RESÍDUO DA PODA URBANA E FILMES
BIODEGRADÁVEIS**

VICTÓRIA MARIA MONTEIRO MENDONÇA

Sob a orientação do Professor
Marcos Gervasio Pereira

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Ciências Ambientais e Florestais**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração Silvicultura e Manejo Florestal.

**Seropédica, RJ
Fevereiro de 2019**

M627a Monteiro Mendonça, Victória Maria, 1991-
Alternativas para Produção de Mudas Florestais
Utilizando Resíduo da Poda Urbana e Filmes
Biodegradáveis / Victória Maria Monteiro Mendonça. -
Rio de Janeiro, 2019.
120 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais, 2019.

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos sólidos urbanos. 3.
Mudas nativas. I. Gervasio Pereira, Marcos, 1965-,
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais e Florestais III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE
JANEIRO INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS

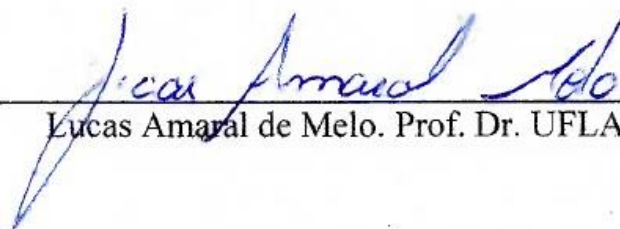
VICTÓRIA MARIA MONTEIRO MENDONÇA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Ciências Ambientais e Florestais** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 28/02/2019



Marcos Gervasio Pereira. Prof. Dr. UFRRJ
(Orientador)



Lucas Amara de Melo. Prof. Dr. UFLA



José Carlos Arthur Junior. Prof. Dr. UFRRJ

*À minha mãe Sueli,
À minha afilhada Helena e
A todos aqueles que acreditam que o mundo pode ser muito melhor.*

Dedico 

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, foco, resistência e sabedoria nos desafios da vida, além de proteção e saúde.

A minha mãe, Sueli da Silva Monteiro, por ser o pilar da minha existência, sem ela nunca teria alcançado mais essa etapa da minha vida.

Ao meu namorado e companheiro, José Henrique Camargo Pace, pelo carinho, amor, apoio fundamental em todos os momentos felizes, difíceis e pelo aprendizado e crescimento nessa jornada. Eu te amo.

Às minhas irmãs, Vanessa e Emmanuelli, ao meu sobrinho, Rafael, e ao meu cunhado, Mizinho, por todo suporte.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por mais essa experiência fantástica, pela oportunidade de estudo e toda estrutura oferecida para minha formação acadêmica.

Ao meu orientador, Marcos Gervasio Pereira, pela orientação, paciência, confiança, dedicação e pela amizade ao longo desses anos.

Ao meu co-orientador, Professor Dr. Paulo Jansen de Oliveira, pela paciência, atenção, amizade e orientação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

A CAPES pela concessão a bolsa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A AGEVAP pelo financiamento desse projeto.

Aos professores e técnicos da UFRuralRJ, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional.

Aos membros da banca, Lucas Amaral de Melo e José Carlos Arthur Junior, pela contribuição valiosa nesse trabalho.

A todos os membros do LGCS e LIEA pelo convívio, ajuda nos experimentos, análises, amizade, conversas e descontrações. Em especial ao meu “pai” Gilsonley e ao Sidinei pela parceria em todos os momentos, paciência louvável, dedicação e amizade.

A Danielle e Mariana, estagiárias no Laboratório de Tecnologia de Polímeros da UFRRJ, pela cooperação e apoio no desenvolvimento dos filmes biodegradáveis.

A todos os amigos e colegas da UFRRJ, pelos momentos de amizade, resenha e descontração.

A minha comadre e meu compadre, Marianna e Henos, pela amizade e apoio, independente da distância, e principalmente por me darem mais um motivo para sempre fazer e ser o melhor possível, a nossa Helena.

A todos do Condomínio Duzamigos pela amizade, convívio e risadas. Sem dúvidas vocês tornaram esses dois anos muito mais leves.

Ao Carlos Eduardo da Silveira por ser o meu super irmão, sempre.

Aos meus filhos de quatro patas, Saga e Shiva, pelo amor incondicional que vocês transbordam para essa humilde humana. ❀❀

E a todos que por falha da memória não foram citados, que contribuíram para minha formação acadêmica, realização desse trabalho.

Muito obrigada!



BIOGRAFIA

Victória Maria Monteiro Mendonça nasceu no dia 20 de Maio de 1991 na cidade do Rio de Janeiro, estado do Rio de Janeiro, filha de Sueli da Silva Monteiro e Tanagér Joaquim Mendonça. Ingressou na Universidade Federal Fluminense em julho de 2010, no curso de Licenciatura em Educação Física no qual permaneceu pelo período de um semestre, quando ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em fevereiro de 2011, no curso de Engenharia Florestal, sendo graduada Engenheira Florestal em fevereiro de 2017. Foi estagiária na Empresa Refloresta – Viveiro de Produção de Mudas durante abril de 2011 a maio de 2012. Diretora de Finanças da Empresa Júnior de Engenharia Florestal – Flora Jr. de novembro de 2012 a dezembro de 2014. Bolsista de iniciação científica no período de fevereiro de 2013 a março de 2015 no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo – Departamento de Solos da UFRRJ. Estagiária de iniciação científica voluntária de abril de 2015 a dezembro de 2016 no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo – Departamento de Solos da UFRRJ. Estagiária da Empresa Biovert – Florestal e Agrícola Ltda. no período de abril de 2015 a dezembro de 2016. Em março de 2017 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

“ O apreço pela jornada é uma questão de sobrevivência,
é preciso gostar do erro, topar se arrepender,
ver orgulho por si só.”

Mallu Magalhães

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Tereza De Calcutá

RESUMO GERAL

MENDONÇA, V. M. M. **Alternativas para produção de mudas florestais utilizando resíduo da poda urbana e filmes biodegradáveis**. 2019. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

A desenfreada geração de resíduos sólidos urbanos junto a necessidade de disposição final dos mesmos são classificadas entre os mais complexos problemas ambientais enfrentados no mundo pela sociedade contemporânea. Com isso, surge a necessidade da criação de novas técnicas e estratégias para mitigação desses impactos em diversas áreas, dentre elas, a produção de mudas florestais de espécies nativas. Diante disso, esse estudo teve por objetivo reaproveitar o resíduo da poda urbana para composição de substratos e o desenvolvimento de biopolímero a fim de possibilitar a elaboração de recipientes biodegradáveis para produção de mudas florestais. A condução experimental e análises foram realizadas no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo e no Laboratório de Tecnologia de Polímeros da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Realizou-se a compostagem aeróbia do resíduo da poda; determinação das características físicas e químicas do composto gerado; a produção de mudas de *Colubrina glandulosa* em diferentes formulações de substratos a base do composto produzido; e desenvolvimento de formulações de filmes biodegradáveis a base de amido, alginato de sódio, carboximetilcelulose e ágar ágar. O desenvolvimento do processo de compostagem aeróbia ocorreu sendo constatada as três fases (termófila, mesófila e de maturação). O composto orgânico de resíduo da poda urbana gerado apresentou características químicas e físicas parcialmente satisfatórias para ser utilizado como componente na formulação de substratos, segundo a legislação brasileira. Os substratos a base do composto produzido não propiciaram um bom desenvolvimento as mudas de *C. glandulosa* em altas concentrações do mesmo, entretando, o tratamento com 10% do composto conferiu características morfológicas classificadas como adequadas para plantio. Entre as formulações de biopolímeros (F1, F2, F3 e F4) propostas, todas formaram filmes biodegradáveis, apresentando taxa de biodegradabilidade de: F1: 55%, F2: 52%, F3: 50% e F4: 4%. O processamento do resíduo de poda através da compostagem de baixo custo se mostrou viável como forma de reaproveitamento do mesmo. O composto orgânico produzido não atingiu completa estabilização. As formulações de substratos com menor quantidade de composto orgânico proporcionaram melhor desenvolvimento para as mudas de *C. glandulosa*. Todos os filmes produzidos apresentaram potencial biodegradável para utilização na fabricação de embalagens para produção de mudas.

Palavras chave: Sustentabilidade; resíduos sólidos urbanos; mudas nativas.

GENERAL ABSTRACT

MENDONÇA, V. M. M. **Alternatives for the production of forest shoots using urban pruning residue and biodegradable films.** 2019. 120 p. Dissertation (master in Environmental and Forestry Sciences). Institute os Forests. Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, 2019.

The unbridled generation of urban solid waste, together with the need for final disposal, is classified among the most complex environmental problems faced by contemporary society in the world. Thus, there is a need for the creation of new techniques and strategies to mitigate these impacts in several areas, including the production of forest seedlings of native species. Thus, this study aimed to reuse the residue from urban pruning for substrate composition and the development of biopolymer in order to enable the development of biodegradable containers for the production of forest seedlings. Experimental conduction and analysis were carried out at the Soil Genesis and Classification Laboratory and at the Polymer Technology Laboratory of the Federal Rural University of Rio de Janeiro. Aerobic composting of the pruning residue was performed; determination of the physical and chemical characteristics of the generated compound; the production of *Colubrina glandulosa* seedlings in different substrate formulations based on the produced compost; and development of biodegradable film formulations based on starch, sodium alginate, carboxymethylcellulose, and agar. The development of the aerobic composting process occurred with the three phases (thermophilic, mesophilic and maturation) verified. The organic compost from urban pruning waste generated presented chemical and physical characteristics partially satisfactory to be used as a component in the substrate formulation, according to the Brazilian legislation. The substrates based on the produced compost did not provide a good development of *C. glandulosa* seedlings in high concentrations, however, the treatment with 10% of the compost conferred morphological characteristics classified as suitable for planting. Among the proposed biopolymer formulations (F1, F2, F3, and F4), all formed biodegradable films, presenting biodegradability rate of F1: 55%, F2: 52%, F3: 50% and F4: 4%. Processing pruning waste through low cost composting proved viable as a way to reuse it. The organic compound produced did not reach complete stabilization. Substrate formulations with lower amounts of organic compost provided better development for *C. glandulosa* seedlings. All films produced had the biodegradable potential for use in the manufacture of seedling packaging.

Keywords: Sustainability; urban solid waste; native seedlings.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Escala de valores para interpretação de propriedades físicas e químicas de substratos para produção de mudas florestais.....	10
Tabela 2. Concentração dos indicadores do potencial agrícola observado no composto de resíduo de poda urbana (CRPU) proveniente da ETR Caju, Rio de Janeiro – RJ.....	47
Tabela 3. Componentes utilizados na formulação dos tratamentos.....	58
Tabela 4. Componentes utilizados (%) na formulação dos tratamentos.....	62
Tabela 5. Características físicas das diferentes formulações de substratos utilizados na produção de <i>C. glandulosa</i>	65
Tabela 6. Análise química dos substratos antes e após a produção de mudas.....	65
Tabela 7. Teores totais de carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) das diferentes formulações de substratos (tratamentos).....	66
Tabela 8. Valores médios de altura (H) da parte aérea e diâmetro de coleto (DC) das mudas de <i>C. Glandulosa</i> aos 30, 60, 90 e 120 dias e relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) aos 120 dias.....	67
Tabela 9. Massa seca da parta aérea (MSPA) e de raízes (MSR) das mudas de <i>C. glandulosa</i> aos 120 dias.	68
Tabela 10. Análise dos teores de macronutrientes da parte aérea (PA) e raíz (R) das mudas de <i>C. glandulosa</i>	69
Tabela 11. Características físicas das diferentes formulações de substratos utilizados na produção de <i>C. glandulosa</i>	71
Tabela 12. Análise química dos substratos antes e após a produção de mudas.....	71
Tabela 13. Teores totais de carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) das diferentes formulações de substratos (tratamentos).....	72
Tabela 14. Valores médios de altura (H) da parte aérea e diâmetro de coleto (DC) das mudas de <i>C. Glandulosa</i> aos 30, 60 e 90 dias e relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) aos 90 dias.	72
Tabela 15. Massa seca da parta aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação massa seca parte aérea/massa seca raiz (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de <i>C. glandulosa</i> aos 60 e 90 dias após repicagem.....	74
Tabela 16. Teores de macronutrientes da parte aérea (PA) e raíz (R) das mudas de <i>C. glandulosa</i> aos 60 e 90 dias.....	76
Tabela 17. Formulações propostas para produção dos filmes biodegradáveis.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variação da temperatura no processo de compostagem. Fonte: Pires (2011).	7
Figura 2. Casa de vegetação onde foi desenvolvido os experimentos no Departamento de Solos no Instituto de Agronomia da UFRRJ.	25
Figura 3. Resíduo de poda urbana disposta no pátio da ETR Caju.	26
Figura 4. Carregamento do caminhão com galhadas do resíduo de poda urbana.	26
Figura 5. Modelo ilustrativo do picador utilizado para trituração do resíduo de poda urbana. Fonte: google/imagens.	27
Figura 6. Pilha montada dia 01/12/2017, idade de 0 dias.	27
Figura 7. Escoamento da água de irrigação.	28
Figura 8. Medição de temperatura do centro da pilha de compostagem.	29
Figura 9. Revolvimento da massa vegetal aos 30 dias de idade.	29
Figura 10. Captação do lixiviado.	30
Figura 11. Peneiramento do composto produzido.	30
Figura 12. A direita: composto peneirado e homogeneizado; A esquerda: fração grosseira retida na peneira.	31
Figura 13. Mesa de tensão com as amostras a 10 cm de tensão.	34
Figura 14. Agitador mecânico com peneiras acopladas.	35
Figura 15. Variação das temperaturas nos três pontos de medição da pilha (topo, centro e base) e temperatura média no interior da casa de vegetação no período de 84 dias (02 de dezembro de 2017 a 17 de março de 2018).	38
Figura 16. Variação das temperaturas médias da pilha de compostagem em relação as temperaturas médias do ambiente no período de 84 dias (02 de dezembro de 2017 a 24 de fevereiro de 2018).	38
Figura 17: ¹³ C NMR CP/MAS espectros dos lixiviados nos diferentes tempos de compostagem.	40
Figura 18: A) Quantidade relativa do tipo de carbono obtida a partir da integração da região em ¹³ C NMR CP/MAS. B) Índice de alifaticidade e aromaticidade.	41
Figura 19. Curva de retenção de água do CRPU, submetido às tensões 0, 10, 50 e 78 hPa. ..	44
Figura 20. Análise granulométrica para o CRPU.	45
Figura 21. Temperatura e umidade média ocorridas durante a produção das mudas. Período: Abril de 2018 à Agosto de 2018.	57
Figura 22. Peneiramento e mistura dos componentes utilizados na formulação substratos.	58
Figura 23. Tubetes preenchidos com os substratos e as plântulas repicadas.	59
Figura 24. Mensuração da H e DC, respectivamente, com auxílio de régua milimetrada e paquímetro digital.	60
Figura 25. Muda segmentada em PA e R, aos 120 dias.	61
Figura 26. Temperatura e umidade média ocorridas durante a produção das mudas. Período: Novembro de 2018 à Janeiro de 2019.	62
Figura 27. Recipientes após preenchimento e repicagem das plântulas.	63
Figura 28. Mensuração da H e DC, respectivamente, com auxílio de régua milimetrada e paquímetro digital aos 90 dias de idade das mudas.	64
Figura 29. Mudanças segmentadas em PA e R, aos 60 dias.	64
Figura 30. Mudanças de <i>C. glandulosa</i> , aos 120 dias de idade, produzidas em diferentes formulações de substratos.	70
Figura 31. Mudanças de <i>C. glandulosa</i> , aos 90 dias de idade, produzidas em diferentes formulações de substratos.	77
Figura 32. Secagem dos filmes biodegradáveis em temperatura ambiente.	87
Figura 33. Amostras dos filmes biodegradáveis reticulados em CaCl ₂ . F1 (1-1 à 1-4); F2 (2-1	

à 2-4); F3 (3-1 à 3-4); e F4 (4-1 à 4-4).	88
Figura 34. Amostras dos filmes biodegradáveis enterrados em terra de horizonte A para teste de biodegradação em solo.....	88
Figura 35. Filmes biodegradáveis formados a partir das diferentes formulações, sendo F1, F2, F3 e F4, respectivamente.	89
Figura 36. Filmes não reticulados na parte superior da imagem e filmes reticulados em solução de CaCl ₂ na parte inferior.	90
Figura 37. Microscopia óptica da superfície dos filmes antes e após reticulação por imersão em solução de CaCl ₂ , em sequência F1, F2, F3 e F4. (R – Reticulada), (NR- Não reticulada)....	92
Figura 38. Diferentes formulações de filmes biodegradáveis, biodegradados em solo nos diferentes tempos 7, 14, 21 e 28 dias.....	94
Figura 39. Microscopia óptica de superfície dos filmes F1 e F2, respectivamente, nos diferentes tempos de biodegradação em solo. Escala: 100 µm.	96
Figura 40. Microscopia óptica de superfície dos filmes F3 e F4, respectivamente, nos diferentes tempos de biodegradação em solo. Escala: 100 µm.	97
Figura 41. Perda de massa (%) das diferentes formulações de filmes biodegradáveis nos diferentes tempos (7, 14, 21 e 28 dias).	98

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Arborização Urbana.....	4
2.2 Processo de Compostagem	5
2.3 Produção de Mudas.....	9
2.3.1 Substratos na Produção de Mudas	9
2.3.2 Variáveis para Avaliação da Qualidade de Mudas	11
2.3.3 Polímeros Biodegradáveis na Produção de Mudas.....	12
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO I	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1 INTRODUÇÃO	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 Compostagem do resíduo de poda urbana	25
2.2 Ressonância magnética nuclear (RMN) de ¹³ C do lixiviado	31
2.3 Análises físicas do composto de resíduo de poda urbana (CRPU).....	32
2.3.1 Umidade Atual	32
2.3.2 Densidade Aparente	32
2.3.3 Densidade de partícula	32
2.3.4 Porosidade total, espaço de aeração, disponibilidade de água e curva de retenção de água	33
2.3.5 Granulometria	35
2.4 Análises químicas do composto de resíduo de poda urbana (CRPU)	35
2.4.1 Valor de pH.....	35
2.4.2 Condutividade elétrica (CE) e Teor total de sais solúveis (TTSS)	35
2.4.3 Capacidade de troca catiônica (CTC)	36
2.4.4 Determinação dos nutrientes e metais pesados	36
2.5 Análise dos Dados	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.1 Desempenho e monitoramento da pilha de compostagem	37
3.2 Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de ¹³ C do lixiviado.....	40
3.3 Caracterização física do composto de resíduo da poda urbana (CRPU)	41
3.4 Caracterização química do composto de resíduo da poda urbana (CRPU).....	45

4	CONCLUSÕES.....	48
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
	CAPÍTULO II.....	53
	RESUMO	54
	ABSTRACT	55
1	INTRODUÇÃO	56
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	57
2.1	Experimento I.....	57
2.2	Experimento II.....	61
2.3	Análises Estatística	64
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	65
3.1	Experimento I	65
3.2	Experimento II.....	71
4	CONCLUSÕES.....	78
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	CAPÍTULO III.....	82
	RESUMO	83
	ABSTRACT	84
1	INTRODUÇÃO	85
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	86
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
3.1	Formação dos filmes biodegradáveis.....	89
3.2	Biodegradabilidade dos filmes	93
4	CONCLUSÕES.....	99
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
4	CONCLUSÕES GERAIS	103
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

1 INTRODUÇÃO GERAL

A crescente geração e diversidade de resíduos sólidos nos meios urbanos junto a necessidade de disposição final, classificam-se entre os mais complexos problemas ambientais enfrentados no mundo, principalmente pelas sociedades em desenvolvimento e países industrializados. A falta de planejamento no uso dos recursos naturais e a busca por enriquecimento sem qualquer preocupação com as futuras consequências causadas ao ambiente levou o próprio homem a destruir seu habitat (Santos et al., 2017; Valcarcel e Silva, 1997).

Devido a essa degradação, há uma crescente demanda de conhecimento e soluções, para reversão dos problemas ambientais, em que são considerados muitos fatores, como o ecológico, o silvicultural, o social e, principalmente, o econômico. Assim, surge a necessidade da criação de novas técnicas e estratégias de recuperação e reabilitação de áreas degradadas (Santos et al., 2012), associada ao reaproveitamento dos resíduos.

Desde os primórdios a introdução de mudas nativas e exóticas em reflorestamentos é utilizada como alternativa à semeadura direta. Vásquez e Orozco (2001), ressaltam que, para as medidas de recuperação de áreas sejam efetivas, existe a necessidade do desenvolvimento de tecnologias associadas à área de produção de mudas de espécies nativas, identificação botânica, métodos de colheita e beneficiamento de sementes, recipientes, substratos de produção entre outras.

O substrato é um dos fatores que exerce influência significativa no desenvolvimento das mudas e são muitos os materiais que podem ser usados na sua composição original ou combinados (Caldeira et al., 2008; Fonseca, 2001;). Vieira et al. (2014), enfatizam que a utilização dos resíduos orgânicos se tornou uma tendência para compor substrato para produção de mudas, pois na adição de fontes de matéria orgânica há contribuição para o fornecimento de nutrientes e para as características físicas do meio de cultivo.

No estado do Rio de Janeiro são encontrados muitos resíduos orgânicos, com potencial para serem utilizados como substratos, entre eles a biomassa vegetal oriunda da poda urbana. Os resíduos vegetais gerados pela poda de árvores e pela manutenção de jardins podem representar uma fração considerável do lixo gerado em uma cidade (Martins et al., 2011). Esses resíduos são queimados ou dispostos em aterros inadequados, trazendo o desprendimento de chorume, provocando prejuízos ao ambiente (Saiter, 2008).

Os vários tipos de plásticos representam um importante papel na transformação do estilo de vida da sociedade e muitos benefícios na qualidade de vida podem ser atribuídos a esses polímeros (Bolsoni, 2001). Os plásticos sintéticos exigem mais de 100 anos para degradação total, devido a sua alta massa molar média e hidrofobicidade que dificultam a ação dos microrganismos e de suas enzimas na superfície do polímero (Rosa et al., 2004). O impacto ambiental causado pelo descarte desses recipientes de origem petrolífera é um enorme problema mundial (Henrique et al., 2008).

O processo de reaproveitamento é uma forma de mitigar o problema dos resíduos sólidos urbanos, dando um destino útil aos resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterro e melhorando a estrutura do solo, a partir da devolução dos nutrientes a terra, aumentando a capacidade de retenção de água, permitindo o controle da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos (AMCB, 2006).

A produção de mudas em recipientes é o sistema mais utilizado, especialmente por permitir a melhor qualidade da muda, devido a várias vantagens (Gomes et al., 2003). Os recipientes mais utilizados, tubetes e sacos-plásticos, são constituídos de plásticos sintéticos (polipropileno e/ou polietileno). Os tubetes fabricados com derivados de petróleo, como o polietileno, por exemplo, levam cerca de 400 anos para sua completa degradação no ambiente (Ribeiro, 1998).

Piccoli (2000), sugere a substituição dos polímeros convencionais pelos similares biodegradáveis como alternativa para a problemática. Os plásticos biodegradáveis (biopolímeros) são polímeros que se degradam completamente por ataque microbiano em um curto espaço de tempo, sob condições apropriadas ao ambiente (Arthur Junior, 2011). Deste modo, a utilização de recipientes biodegradáveis, ou seja, que possam ser colocados junto com as mudas no solo torna-se uma alternativa para as desvantagens dos recipientes de plásticos sintéticos.

Neste sentido, partindo da hipótese que é possível produzir mudas florestais de qualidade, mantendo a alta produtividade dos viveiros de forma sustentável, o estudo teve como objetivo geral aproveitar o resíduo da poda urbana na formulação de substratos, através da compostagem e desenvolver um biopolímero a fim de possibilitar a elaboração de recipientes biodegradáveis para produção de mudas florestais.

Para uma melhor efetividade no desenvolvimento dos materiais o estudo foi desenvolvido em três capítulos:

Capítulo I: Produção e caracterização do composto de resíduo da poda urbana. O capítulo teve por objetivo avaliar o processo de compostagem de baixo custo como forma de reaproveitamento do resíduo oriundo da poda urbana, bem como caracterizar química e fisicamente, segundo a legislação brasileira, o composto orgânico gerado a fim de subsidiar sua utilização na composição de substratos para produção de mudas;

Capítulo II: Avaliação do desenvolvimento de mudas utilizando composto de resíduo da poda urbana. O capítulo teve por objetivo avaliar o desenvolvimento da espécie *Colubrina glandulosa* em diferentes formulações de substratos à base do composto de resíduo orgânico oriundo da poda urbana;

Capítulo III (Estudo de Caso): Desenvolvimento de filmes biodegradáveis para produção de mudas. O estudo de caso teve por objetivo desenvolver uma formulação de filme biodegradável que possa ser utilizado na fabricação de embalagens biodegradáveis para produção de mudas florestais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Arborização Urbana

A arborização urbana é um componente de suma importância para elevação da qualidade de vida da população nas áreas urbanizadas, com finalidade de proporcionar um equilíbrio entre um ambiente natural e áreas construídas.

As árvores introduzidas ao meio urbano promovem inúmeros benefícios ao ambiente e habitantes, como: bem-estar psicológico ao homem; valorização estética, paisagística e imobiliária do local; melhor efeito estético; sombra para os pedestres e veículos; redução da velocidade e direcionamento dos ventos; absorção de CO₂ e retenção de partículas sólidas em suspensão; amortecimento do som, diminuindo a poluição sonora; redução do impacto da água de chuva (efeito splash) e seu escoamento superficial; melhoria do ciclo hidrológico; auxílio na diminuição da temperatura através da absorção dos raios solares; a intensa quantidade de água transpirada pelas folhas refrescam o ambiente; melhoria da qualidade do ar; preservação e atração da fauna silvestre (especialmente de pássaros); e opções de entretenimento e lazer em parques, praças e jardins (Nascimento e Guedes, 2015; Silva et al., 2015; Rossato et al., 2008).

Entende-se por arborização urbana toda cobertura vegetal de porte arbóreo existente nas cidades. Essa vegetação ocupa, basicamente, três espaços distintos: as áreas livres de uso público e potencialmente coletivas, as áreas livres particulares e acompanhando o sistema viário. (EMBRAPA, 2000).

A falta de planejamento para o desenvolvimento urbano considerando a arborização urbana, ocasiona grande luta por espaço no ambiente urbano entre as árvores, prédios, fiações, postes, veículos, etc, onde a área deixada para o desenvolvimento das árvores é pequena quando comparada as suas necessidades, resultando em competição do vegetal por espaço aéreo e o subterrâneo (Silva, et al., 2015).

Cortez et al. (2008) e Velasco (2003), exemplificam esse embate com a relação das redes de distribuição de energia elétrica, iluminação pública e a arborização urbana sendo um dos grandes desafios para as prefeituras e concessionárias de energia elétrica por todo o país, em que o problema se agrava pela arborização urbana e as implantações dos sistemas elétricos de distribuição serem planejados e realizados de forma independente, resultando em uma disputa entre árvores e as redes de distribuição de energia pelo mesmo espaço físico.

Visando a mitigação desses conflitos são utilizadas as técnicas de poda, como estratégia de manejo, dos indivíduos arbóreos nos centros urbanos. Tornando possível desenvolver uma boa gestão das árvores, adequando suas estruturas de copa aos espaços físicos disponíveis (Silva et al., 2015). As podas corrigem defeitos estruturais, orientam e contralam o crescimento; mantêm distância segura entre os galhos e condutores de energia elétrica; asseguram equilíbrio entre a parte aérea e radicular, entre muitas outras ações (Recife, 2013).

As técnicas de poda realizadas de forma correta, contribuem como estímulo ao crescimento, à floração e à frutificação, caso contrário é uma injúria feita a um organismo vivo podendo comprometer o desenvolvimento biológico dos indivíduos (Recife, 2013).

Os resíduos vegetais gerados pela poda de árvores e pela manutenção de jardins podem representar uma fração considerável do lixo gerado em uma cidade (Martins et al., 2011). Esses resíduos são queimados ou dispostos em aterros de forma inadequada trazendo o desprendimento de chorume, provocando prejuízos ao ambiente, principalmente nos

córregos, rios e mananciais, levando à contaminação dos solos (Saiter, 2008).

Torna-se um desperdício o descarte inadequado dos resíduos vegetais, pois os mesmos possuem em média 90% de água, sendo as folhas são mais ricas em água, e a matéria seca restante é formada por celulose, açúcares e proteínas, nos quais encontram-se os macro e micronutrientes. De forma geral, os tecidos vegetais apresentam as seguintes proporções de compostos orgânicos: 1) Hidratos de carbono – açúcar e amidos – 1 a 5 %, hemicelulose – 10 a 28 %, celulose – 20 a 50 %; 2) Gorduras, ceras e taninos – 1 a 8 %; 3) Ligninas – 10 a 30 %; 4) Proteínas – 1 a 15 % (Miyasaka et al., 1984)

Segundo Saiter (2008), existem várias formas para o aproveitamento dos resíduos da arborização urbana, como a utilização de coberturas em granjas, em indústrias de painéis de madeira, na compostagem, entre outras. O reaproveitamento dos resíduos, como por exemplo, na pirólise da matéria-prima, transformando o resíduo em energia, ajuda na preservação da natureza e na economia de energia (Alves et al., 2015).

Dentre as frações que compõe o lixo, os compostos orgânicos são comumente utilizados na produção de diversos tipos de mudas, através da decomposição de restos vegetais pela biota microbiana (Araujo et al., 2017).

Vieira et al. (2014), enfatizam que a utilização dos resíduos orgânicos se tornou uma tendência para compor substrato para produção de mudas, pois na adição de fontes de matéria orgânica há contribuição para o fornecimento de nutrientes e para as características físicas do meio de cultivo.

O processo de reaproveitamento é uma forma de mitigar o problema dos resíduos sólidos urbanos, dando um destino útil aos resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterros e melhorando a estrutura do solo, a partir da devolução dos nutrientes à terra, aumentando a capacidade de retenção de água, permitindo o controle da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos (AMCB, 2006).

Na cidade do Rio de Janeiro, algumas cooperativas iniciaram o processo de aproveitamento dos resíduos orgânicos. A Estação de Transferência de Resíduos (ETR) localizada no bairro Caju, é uma das ETRs do município do Rio de Janeiro, responsável pelo recebimento dos resíduos de coleta domiciliar, limpeza urbana e sua transferência para veículos com maior capacidade de transporte, a fim de otimizar o sistema de logística para o Centro de Tratamento de Resíduos CTR-Rio, em Seropédica – RJ.

A associação de catadores, formada por moradores das comunidades do entorno da ETR, é responsável pela triagem de materiais recicláveis na ETR Caju, a qual também realiza a compostagem da fração predominante orgânica para produção de composto orgânico. O composto produzido (Fertilurb) é utilizado nas ações de reflorestamento na cidade, dentro do Programa de Reflorestamento e Preservação de Encostas do Município, e também comercializado para viveiros de produção de mudas.

Para a realização da compostagem são utilizados os resíduos orgânicos oriundos do Centro de Abastecimento do Estado da Guanabara (CADEG), do Centro Estadual de Abastecimento S/A (CEASA) e da população residente na Zona Sul do município do Rio de Janeiro. O resíduo da poda urbana não faz parte desse processo de reaproveitamento, sendo descartado, transferido e disposto na CTR-Rio.

2.2 Processo de Compostagem

A compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem (Kiehl, 1985). A partir desse processo biológico, são gerados dois importantes componentes: os nutrientes sendo indispensáveis para as raízes das plantas,

e húmus, um componente necessário para desenvolver as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo, que o melhorem para plantio (Rocha et al., 2015; Baratta Junior, 2007; Peixoto, 2005; Kiehl, 1998).

A NBR 13591 (ABNT, 1996) define a compostagem de resíduos da seguinte maneira:

Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação (ABNT, 1996).

Logo, pode-se entender a compostagem como uma técnica biotecnológica de degradação da fração orgânica de uma substância, realizada por microrganismos na presença de oxigênio, a fim de tornar os resíduos envolvidos no processo inertes e biologicamente estáveis reduzindo seu potencial de contaminação no meio ambiente (Castro, 2018).

O processo de compostagem pode e deve ser empregado na investida de solucionar a problemática da geração excessiva de resíduos de poda de árvores nos municípios, pois como explicitado por Rocha et al. (2015), constitui uma forma de atenuar os impactos do descarte de resíduos vegetais urbanos, evitando sua disposição imprópria no solo ou em aterros, reestruturando solos pobres em nutrientes e, ainda, diminuindo o uso de fertilizantes industriais.

O processo desenvolve-se em três fases: a primeira corresponde a decomposição dos componentes facilmente biodegradáveis, a segunda, termofílica, a celulose e materiais similares são degradados pela atividade fortemente oxidativa dos microrganismos e a terceira etapa de maturação/estabilização (Kiehl, 1998).

Ao decorrer de todo o processo há produção de calor e desprendimento, principalmente, de gás carbônico e vapor d'água (Kiehl, 1998). O que difere a compostagem de um processo de degradação natural é justamente o fato de que a compostagem ocorre sob condições controladas, enquanto no processo de degradação natural não há o controle das variáveis do processo.

Segundo Castro (2018) citando Oliveira, Sartori e Garcez (2008), a compostagem ocorre de maneira natural no ambiente, porém o termo está associado com o manejo elaborado pelo ser humano, que a partir da observação desse processo passou a desenvolver técnicas na tentativa de acelerar a decomposição de matéria orgânica e produzir compostos orgânicos que atendessem as suas necessidades. Neste contexto, alguns fatores foram investigados e definidos, por muitos autores, como parâmetros essenciais de controle durante a compostagem. São eles: temperatura, aeração, umidade, pH, relação C/N, granulometria e microrganismos.

A temperatura é o principal indicador do desempenho do processo de compostagem. A compostagem aeróbia pode ocorrer em faixas de temperatura termofílica – 45°C a 85°C, como mesofílica 25°C a 43°C (Andreoli, 2001). Modesto Filho (1999) e Kiehl (1998) definem três etapas bem definidas na compostagem em relação à temperatura. Sendo a primeira etapa mesofílica, a segunda etapa termofílica e a terceira etapa mesofílica, as duas primeiras correspondem à estabilização da matéria orgânica e a última, a humificação ou maturação da matéria orgânica. Essas fases podem ser observadas na figura 1.

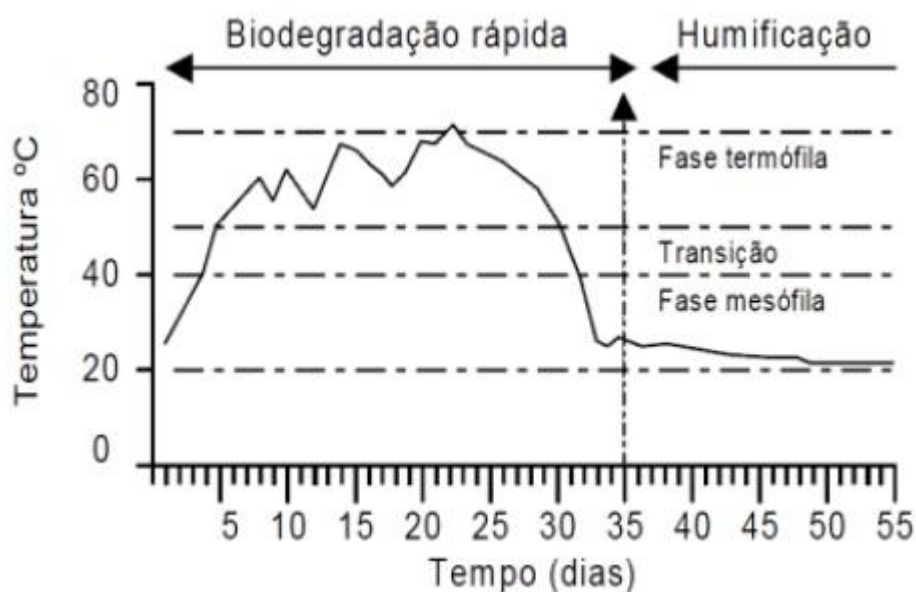


Figura 1. Variação da temperatura no processo de compostagem. Fonte: Pires (2011).

De acordo com Kiehl (2004), para que haja completa eliminação de organismos patogênicos e sementes indesejáveis do composto, as temperaturas devem ser mantidas acima dos 70°C por longos períodos, evitando que a mesma ultrapasse a faixa de 80 °C, para que não haja riscos de combustão espontânea durante o processo. No entanto, Peixoto (2005), explica que temperaturas superiores ou iguais a 65°C é desaconselhável, pois ocasionará na morte dos microrganismos responsáveis pela decomposição.

Em contrapartida, Bidone e Povinelli (1999) definem quatro etapas da compostagem. A primeira etapa, de elevação da temperatura até o limite preconizado como ótimo na compostagem, pode levar algumas horas (entre 12 e 24 horas) ou alguns dias, dependendo dos condicionantes ambientais na região, onde se encontra o pátio de processamento. Atingida uma temperatura entre 55°C e 60°C, introduz-se um fator externo de controle – o revolvimento - com ou sem umidificação, ou a aeração mecânica, realizada de forma intermitente, conduzindo-se, então, a bioestabilização na faixa de aquecimento adequada. A segunda etapa (2), de degradação ativa do material orgânico no método convencional, pode demorar de 60 a 90 dias. Na etapa 3, inicia-se o resfriamento do material que, em condições normais, leva de três a cinco dias. A etapa 4, de maturação ou cura do material compostado, com a formação de ácidos húmicos, leva de 30 a 60 dias.

O controle da faixa ideal de temperatura é realizado através do revolvimento do material em processamento, ou de sua irrigação, ou de ambos; baixas temperaturas são indicativos de alta umidade, e temperaturas elevadas indicam baixa umidade. Também, como as pilhas/leiras apresentam diferentes temperaturas da parte mais interna a mais externa, o seu volume e a sua configuração geométrica podem interferir na temperatura. É importante referir que o revolvimento, por si só, não evita que de 6 a 12 horas após haja a recuperação do calor (Reis, 2005; Bidone e Povinelli, 1999).

O processo aeróbico de compostagem necessita de oxigênio para atender as necessidades dos microrganismos envolvidos neste processo. A aeração relaciona-se com diversos fatores, como: tamanho das partículas, tamanho das leiras, natureza do material, umidade e o número de revolvimentos. Costa et al. (2016), salientam que a abundância de ar acelera a decomposição da matéria orgânica e controla o processo, de modo a evitar ocorrência de superaquecimento das pilhas/leiras e o excesso de umidade, além do mau cheiro proveniente do processo anaeróbico. As pilhas/leiras de compostagem podem ser

aeradas por revolvimentos manuais ou mecânicos, fazendo com que camadas mais externas passem a ocupar a parte interna.

É fundamental a presença da umidade na compostagem, pois consiste em um processo biológico, no qual a existência de água é indispensável para a atividade dos microrganismos ao decorrer do processo de degradação da matéria orgânica. A água precisa ser dosada de forma que o processo ocorra de forma aeróbica (Baratta Junior, 2007).

A umidade ideal situa-se na faixa de 50%, sendo que os valores entre 40% e 60% são os limites máximos e mínimos para que o processo ocorra de maneira satisfatória (Burle et al., 2018; Kiehl, 1985). Por outro lado, valores abaixo de 40% comprometem a atividade microbiana do processo, retardando-o ou até mesmo paralisando o processo devido a morte dos microrganismos; valores acima de 60% fazem com que os espaços vazios sejam preenchidos com água, podendo ocasionar uma anaerobiose e eliminando os microrganismos aeróbicos.

O pH é o parâmetro que permite diagnosticar a fase em que a compostagem se encontra. Segundo Pereira Neto (2007), a compostagem pode ocorrer em uma faixa de 4,5 a 9,5, sendo que os valores extremos são regulados, naturalmente, pelos microrganismos responsáveis pela degradação do composto, pois estes podem produzir subprodutos de natureza ácida ou básica, em conformidade com as necessidades do meio em que estão inseridos.

Diversos autores consideram que o pH afeta a compostagem, sendo ainda de difícil controle durante o processo (Castro, 2008). Pereira Neto (2007), explicita que o pH é auto regulado no processo de compostagem, não merecendo uma preocupação especial em controlá-lo.

A relação C/N é considerada o parâmetro que reflete o equilíbrio dos substratos, pois segundo Barticelli et al. (2016), o elemento carbono é o material energético necessário para o funcionamento do metabolismo microbiano, enquanto o nitrogênio é utilizado durante a síntese de proteínas. A relação C/N também está diretamente ligada ao tempo de compostagem, a qual quanto mais alta essa relação, maior será o tempo necessário até a cura do composto.

Caso a relação C/N seja muito elevada os microrganismos não encontrarão nitrogênio suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado, resultando em um processo de compostagem mais lento; porém, se a relação C/N for muito baixa, pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia (Fernandes e Silva 2008). Os autores ainda afirmam que a relação C/N inicial ideal para o composto é de 30/1.

O tamanho das partículas é essencial para uma compostagem satisfatória, pois a granulometria define a superfície de exposição para o ataque de microrganismos (Kiehl, 1985). Pereira Neto (1989) apud Russo (2003) recomenda uma granulometria de 20 até 50 mm, para facilitar a oxigenação ao formar uma massa porosa por onde passa o ar rico em oxigênio.

Partículas de resíduo muito finas, pode ocasionar compactação excessiva do material, prejudicando as trocas gasosas. Por outro lado, partículas acima de 16 mm facilita o arejamento natural, sem necessidade de revolvimentos constantes (RUSSO, 2003). Reis (2005), ressalta que deve-se procurar um compromisso entre as necessidades de arejamento e área exposta a ataque por microrganismos.

Os microrganismos mais presentes no processo de compostagem são as bactérias, fungos e actinomicetos. Segundo Baratta Junior (2007), as bactérias e os fungos são caracterizados por sucessivos aparecimentos de suas formas mesofílicas e termofílicas; as bactérias filamentosas, ou actinomicetos são as mais importantes no processo de compostagem, seu aparecimento ocorre ao mesmo tempo em que a celulose e a lignina desaparecem.

Na fase mesófila há predominância das bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos; com o aumento da temperatura (fase termófila), predominará actinomicetos, bactérias e fungos termófilos. Kiehl (1985), afirma que na fase final do processo de compostagem (fase de resfriamento do composto) podem ser encontrados protozoários, nematóides, formigas, miriápodes, vermes e insetos diversos.

2.3 Produção de Mudanças

A procura por mudas de espécies florestais nativas vem se destacando nas últimas décadas, devido a necessidade do cumprimento de medidas protecionistas, execução de programas de recuperação de áreas degradadas por meio do plantio de mudas arbóreas nativas e intensificação dos projetos de arborização urbana (Silva et al., 2017; Colodete et al., 2014; Artur et al., 2007).

Fonseca et al. (2002), definem “qualidade de muda” como os atributos necessários para o sucesso no plantio de mudas. Onde, muitos fatores afetam a qualidade das mudas, dentre eles: a qualidade da semente, tipo de recipiente, substrato, adubação e manejo das mudas (Munguambe, 2012; Cruz; Paiva; Guerrero, 2006). Assim, torna-se cada vez mais importante o desenvolvimento de tecnologias associadas a sustentabilidade para a área de produção de mudas florestais de espécies nativas.

2.3.1 Substratos na Produção de Mudanças

Os problemas relativos ao meio ambiente estão se tornando cada vez mais críticos, cumulativos e com reflexos expressivos nos setores de produção, conseqüentemente as questões ambientais vêm sendo mais discutidas nos últimos anos. A busca por alternativas que diminuam os riscos e impactos ambientais, envolve diretamente a aplicação de melhores práticas de gerenciamento, o uso correto de recursos através da eficiência no uso de energia, reaproveitamento dos materiais que entram no sistema durante a produção, e consumo reduzido de água (Faria et al., 2014; Gomes et al., 2006).

A etapa de produção de mudas nos viveiros florestais é dependente da utilização de insumos, dentre esses insumos o substrato possui elevada importância devido a sua ampla utilização na produção. Segundo Costa et al. (2017); Zorzeto et al. (2014); Kratz et al. (2013), a principal função do substrato é sustentar a muda e fornecer condições adequadas para o desenvolvimento e funcionamento do sistema radicial, assim como os nutrientes, água e ar necessários ao desenvolvimento da planta.

O substrato é o fator que exerce influência significativa no desenvolvimento das mudas e são muitos os materiais que podem ser usados na sua composição original ou combinados. Ribeiro et al. (2007), relatam a constante utilização de resíduos na formação de substratos destinados à produção de mudas na literatura.

Considerando a diversidade de resíduos existentes, este assunto se torna ainda mais complexo devido às diferentes possibilidades de combinações entre os mesmos (Toledo et al., 2015). Não há um substrato perfeito para todas as condições e espécies (Kratz, 2011), sendo preferível usar componentes de um substrato em forma de mistura, já que os mesmos apresentam características desejáveis e indesejáveis à planta, quando usados isoladamente (Wendling e Gatto, 2002).

Os substratos podem ser diferenciados como orgânicos ou minerais, sendo quimicamente ativos ou inertes. Os materiais orgânicos têm origem em resíduos vegetais, sujeitos à decomposição, e surgem como alternativa para serem utilizados como componente de substrato. A atividade química desse tipo de material depende dos sítios de troca iônica,

podendo adsorver nutriente do meio ou liberá-los a ele (Antunes, 2017). Segundo Zorzeto (2011), a maioria dos substratos minerais é quimicamente inativa ou inerte, com exceção de alguns que possuem alta capacidade de troca de cátions, como a vermiculita.

Para escolha de um bom substrato, deve-se determinar suas características físicas e químicas, a espécie a ser plantada e os aspectos econômicos (baixo custo e grande disponibilidade) (Caldeira et al., 2008; Fonseca, 2001). Um material pode ser caracterizado por meio de diversas propriedades, sejam elas físicas, químicas ou biológicas.

As propriedades físicas indispensáveis para a caracterização essencial do material podem ser resumidas em: densidade de volume (seca e umida), porosidade total, espaço de aeração, e a retenção de água em baixas tensões de umidade (Fochesato et al., 2006; Schäfer, 2004). Já para caracterização química destacam-se: pH, capacidade de troca cátions (CTC), condutividade elétrica (CE) e/ou teor total de sais solúveis (TTSS) e a concentração de macro e micronutrientes (Caetano, 2016).

As características biológicas referem-se à ausência de pragas e moléstias, especialmente nematóides e gomose, bem como sementes ou propágulos de plantas e a presença de organismos benéficos, como o caso das micorrizas (Teixeira, 2008). A partir dessas propriedades é possível indicar a qualidade e sugerir usos e limitações dos substratos (Zorzeto et al., 2014).

Segundo Wendling e Gatto (2002), estudos resultaram em uma escala de valores para interpretação das principais características e/ou propriedades físicas e químicas de substratos para produção de mudas florestais (Tabela 1).

Tabela 1. Escala de valores para interpretação de propriedades físicas e químicas de substratos para produção de mudas florestais.

Propriedade	Baixo	Médio	Adequado
Densidade (g/cm ³)	< 0,25	0,25 - 0,50	0,45 - 0,55
Porosidade total (%)	< 55	55 - 75	75 - 85
Macroporosidade (%)	< 20	20 - 40	35 - 45
Microporosidade (%)	< 25	25 - 50	45 - 55
Capac. Máx de retenção de água (ml/cm ³)	< 15	15 - 25	20 - 30
Relação C/N	8 a 12/1	12 a 18/1	8 a 12/1
pH em CaCl ₂ mol L ⁻¹	< 5,0	5,0 - 6,0	5,5 - 6,5
P resina (mg/dm ³)	< 200	200 - 400	400 - 800
K trocável (mmolc/dm ³)	< 15	15 - 30	30 - 100
Ca trocável (mmolc/dm ³)	< 100	100 - 150	100 - 200
Mg total (mmolc/dm ³)	< 50	50 - 100	50 - 100
C.T.C efetiva (mmolc/dm³)	< 100	100 - 200	> 200

Fonte: Wendling e Gatto (2002) apud Gonçalves e Poggiani (1996).

No Brasil, foi publicada, no dia 24 de maio de 2007, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através da Secretaria de Defesa Agropecuária, a Instrução Normativa SDA N° 17, de 21 de maio de 2007, que aprova os métodos analíticos oficiais para análises de substratos e condicionadores de solos. Nela são descritas as metodologias analíticas necessárias para uma eficiente caracterização de substratos para plantas e condicionadores de solos, as características analisadas são as seguintes: umidade atual (% m/m); densidade (kg/m³); capacidade de retenção de água a 10 cm (% m/m); potencial hidrogeniônico (pH); condutividade elétrica (CE) (mS/cm ou dS/m); e capacidade de troca

de cátios (CTC) (mmol/dm^3).

A IN N° 31, de 23 de outubro de 2008 (MAPA, 2008), altera a IN N° 17 com relação aos métodos de avaliação de densidade e de capacidade de retenção de água. Os métodos oficiais do Brasil não consideram atributos como granulometria, densidade de partícula e porosidade (Zorzeto et al., 2014). As definições e normas sobre especificações e as garantias dos substratos para plantas foram publicadas na Instrução Normativa N° 14, de 15 de dezembro de 2004 (MAPA, 2004).

2.3.2 Variáveis para Avaliação da Qualidade de Mudanças

Na determinação da qualidade das mudas, as características utilizadas baseiam-se nos aspectos morfológicos e fisiológicos (Gomes et al., 2002). As características morfológicas são mais utilizadas, pois são de melhor compreensão pelos viveiristas (Munguambe, 2012; Gomes, 2001), e de mais fácil mensuração comparadas as fisiológicas.

Mudas de qualidade apresentam maior potencial de sobrevivência, crescimento pós-plantio e diminuição da frequência dos tratos culturais de manutenção do povoamento recém implantado, devido ao maior crescimento inicial (Carneiro, 1995).

As características morfológicas utilizadas para determinar a qualidade das mudas são: altura (H), diâmetro de coleto (DC), relação entre altura e diâmetro de coleto (H/DC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR), relação entre altura e massa seca da parte aérea (H/MSPA), relação entre massa seca da parte aérea e massa seca de raiz (MSPA/MSR) e o índice de qualidade de Dickson (IQD) (Dickson; Leaf; Hosner, 1960).

A altura da parte aérea fornece uma excelente estimativa para o crescimento inicial das mudas em campo, porém necessita-se atentar se as mesmas não se encontram estioladas, ou seja, com baixo diâmetro de coleto e massa seca (Gomes e Paiva, 2004).

O diâmetro de coleto é de fácil mensuração, e a variável mais importante a ser avaliada na fase de produção de mudas, visto que ela está diretamente relacionada com o índice de sobrevivência e crescimento inicial das mudas em campo (Carneiro, 1995). Segundo Gomes et al. (2002), o diâmetro de colo mensurado isoladamente ou combinado com a altura, é uma das melhores características morfológicas para prever a qualidade de variadas espécies florestais.

Carneiro (1985), caracteriza a relação entre altura e diâmetro de coleto como o equilíbrio de desenvolvimento das mudas no viveiro, uma vez que analisa duas características em apenas um só índice, resultando em um valor absoluto, sem exprimir qualquer tipo de unidade. É um índice relacionado ao grau de robustez da planta, considerado um método não destrutivo e preciso (Gomes e Paiva, 2004).

A biomassa seca indica a rusticidade de uma muda, quanto maior, mais rusticada será a muda (Gomes e Paiva, 2004). Segundo Novaes (1998), a biomassa de raiz é de suma importância, visto que esta diretamente ligada à sobrevivência e crescimento inicial em campo, quanto mais abundante o sistema radicular maior será a capacidade de absorção de água e nutrientes da muda.

A relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz, está intimamente ligada ao funcionamento dos processos fisiológicos e o desenvolvimento das plantas. A parte aérea fornece carboidratos, fitohormônios e nutrientes orgânicos para as raízes e estas fornecem água, nutrientes e fitohormônios para a parte aérea (Glinski; Lipiec, 1990).

O índice de qualidade de Dickson (IQD), é um ótimo indicador da qualidade das mudas e balanceado, pois considera para o seu cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa da muda (Fonseca, 2000). Porém, é um parâmetro variável, ocorrendo diferenças em função da espécie, do manejo das mudas no viveiro, no tipo e na proporção do substrato, do volume do recipiente e da idade em que a muda foi avaliada

(Gasparin, 2012).

2.3.3 Polímeros Biodegradáveis na Produção de Mudanças

Um polímero é definido como “uma substância composta de moléculas caracterizadas por uma repetição múltipla de uma ou mais espécies de átomos ou grupos de átomos (unidade constitucional), ligadas umas nas outras em quantidades suficientes, fornecendo um conjunto de propriedades, que não variam com a adição ou remoção de uma ou algumas das unidades constitucionais” (IUPAC - *International Union of Pure and Applied Chemistry*).

Bona (2007), explica que quando as moléculas se tornam muito grandes, contendo um número de átomos encadeados superior a uma centena e podendo atingir valor ilimitado, as suas propriedades ganham características próprias e se chamam macromoléculas com elevadas massas molares, podendo ou não ter unidades químicas repetidas. Quando a macromolécula é composta por unidades relativamente simples repetidas muitas vezes ela é denominada de polímero. Sendo assim, os polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intramoleculares e intermoleculares.

Os vários tipos de polímeros sintéticos (plástico) representam um importante papel na transformação do estilo de vida da sociedade e muitos benefícios na qualidade de vida podem ser atribuídos aos plásticos (Bolsoni, 2001). Os plásticos sintéticos mais utilizados na vida diária desde 1940 têm sido o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o poli (tereftalato de etileno) (PET) e o poli (cloro de vinila) (PVC) que, apesar do avanço no processamento e fabricação, geram dois grandes problemas: o uso de fonte não renovável para obtenção de sua matéria-prima e a grande quantidade de resíduos gerada para descarte (Arthur Junior, 2011; Franchetti e Marconato, 2006).

Existe uma grande variedade de materiais poliméricos, que aumenta a cada dia devido a pesquisas científicas e tecnológicas desenvolvidas no mundo. Em função dessa variedade, os polímeros são classificados em grupos que possuem características comuns, sendo os mais importantes: quanto à ocorrência (naturais, semi-sintéticos e sintéticos); quanto à forma molecular fixada por ligações químicas (linear, ramificada ou reticulada); quanto ao modo de preparação (polímeros de condensação (etapa) e adição (cadeia)); condensação-adição (considera a estrutura química dos grupos presentes nas cadeias poliméricas); quanto ao comportamento mecânico (plásticos, fibras e elastômeros); quanto às características de fusibilidade (termoplásticos e termorrígidos); quanto ao tipo de aplicação (plástico de uso geral ou de engenharia); entre outros (Lucas et al. 2001).

Os plásticos sintéticos exigem mais de 100 anos para degradação total, devido a sua alta massa molar média e hidrofobicidade que dificultam a ação dos microrganismos e de suas enzimas na superfície do polímero (Rosa et al., 2004). Assim, o acúmulo é cada vez mais crescente em aterros ou lixões municipais, porém com o impacto ambiental associado ao seu emprego, torna-se prioritário para a sociedade em geral estudar a reutilização desses materiais.

Piccoli (2000) sugere a substituição dos polímeros convencionais pelos similares biodegradáveis como alternativa para a problemática. Os plásticos biodegradáveis (biopolímeros) são polímeros que se degradam completamente por ataque microbiano em um curto espaço de tempo, sob condições apropriadas ao meio ambiente. Possuindo também outras importantes características como serem biocompatíveis, serem produzidos a partir de recursos renováveis como açúcares e ácidos graxos e por terem propriedades termoplásticas e características físicas e mecânicas semelhantes às dos polímeros sintéticos (Arthur Junior, 2011).

Nayak (1999), afirma que os polímeros e plásticos biodegradáveis podem ser divididos em três classes: 1) polímeros naturais biodegradáveis, geralmente produzidos na

natureza por todos os organismos vivos, sem interferência humana, como a celulose, amido, polissacarídeos e proteínas. Segundo Systemmud (2001), esses materiais são derivados de recursos naturais como plantas e fermentação bacteriana; 2) polímeros sintéticos biodegradáveis, geralmente de baixo peso molecular, como os poliésteres alifáticos, polietileno adipato e os poliuretanos (são hidrolisados por várias lipases e esterases); 3) polímeros naturais modificados biodegradáveis, como misturas poliméricas de polímeros naturais e sintéticos, sendo que os principais materiais degradáveis são as misturas de amido e polietileno.

Contudo, Bureau et al. (1996), a partir da estrutura química da cadeia polimérica dos polímeros biodegradáveis e suas propriedades, distribuem classicamente em quatro grupos; os polímeros naturais, os polímeros de origem bacteriana, os polímeros obtidos por síntese e a associação de polímeros de síntese e polímeros naturais.

Filmes biodegradáveis são produzidos a partir de compostos macromoleculares de obtenção biológica e demandam, no mínimo, o uso de um material capaz de formar uma matriz com estrutura contínua e com interações entre suas moléculas (Correia, 2016). A escolha do material a ser utilizado para a produção dos filmes biodegradáveis depende diretamente da natureza do produto, propriedades físicas, função e da aplicabilidade. Dentre as principais matérias-primas estão as proteínas, lipídios e os polissacarídeos (Wolf, 2007).

O ágar-ágar é denominado como um fitocolóide com característica não-celulósica, que pode ser extraído da parede celular de diversos gêneros e espécies de algas marinhas vermelhas, as Agarófitas pertencentes à classe Rodophyta (Lopes et al., 2005). Sua composição se mostra como uma mistura heterogênea de agarose (polímero neutro) e a agarpectina (polímero com carga sulfatado). A mistura desses dois polissacarídeos confere propriedades importantes ao ágar-ágar, como o alto poder geleificante, elevada força gel, alta transparência, insolúvel em água fria, entre outros (Fani, 2008; Vinhas; Almeida e Lima, 2007).

Segundo Fani (2008), o ágar-ágar possui uma vasta aplicação nas indústrias alimentícias, petrolífera, farmacêutica, de papel, têxtil, cosmética e na biotecnologia, devido as suas principais características e propriedades, como grande capacidade em absorver água, difícil degradabilidade por micro-organismos e consistência gelatinosa após a dissolução em água quente.

O amido é um polissacarídeo de reserva de plantas superiores e compreende duas frações de polímeros de glicose: amilose e amilopectina (98-99% do peso seco), com estruturas e funcionalidade diferentes. A amilose é um polímero linear composto por unidades de D-glicose ligadas por ligações α -(1 \rightarrow 4), com grau de polimerização de 200 a 3000, dependendo da fonte do amido. A amilopectina é um polímero altamente ramificado, com unidades de D-glicose ligadas através de ligações α -(1 \rightarrow 4) e ramificações em α -(1 \rightarrow 6) (Ellis et al., 1998). Variações nas proporções entre estes componentes e em suas estruturas e propriedades podem resultar em grânulos de amido com propriedades físico-químicas e funcionais muito diferentes, que podem afetar as suas aplicações industriais (Mali et al., 2010).

Mali et al. (2010), afirmam que a aplicação do amido na produção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes. As moléculas de amilose em solução, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (Wurzberg, 1986).

Derivados hidrossolúveis de celulose possuem inúmeras aplicações devido a sua solubilidade em uma ampla faixa de solvente, sua termoplasticidade, sua atividade de

superfície e acima de tudo sua alta capacidade de formação de filmes. A carboximetilcelulose de sódio (CMC) é um polímero natural, que possui a estrutura baseada no polímero de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-glucopiranosose da celulose, o qual sob condições normais, o efeito da temperatura na viscosidade é reversível ampliando o campo de aplicação (Oliveira, 2009). O alginato de sódio (AS) é um polissacarídeo de origem natural derivado principalmente de algas marinhas marrons, cuja característica estrutural consiste em cadeias lineares de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-ácido manurônico e de $\alpha(1\rightarrow4)$ -L-ácido gulurônico.

Segundo Oliveira (2009), devido à grande semelhança estrutural, tanto o MC, quanto o alginato de sódio podem ser utilizados na forma de filmes, géis ou hidrogéis (após reação de reticulação com cátions bi e tri valentes). Sendo utilizados na área farmacêutica em processos de encapsulação e liberação de princípios ativos, na indústria alimentícia como filmes comestíveis protetores, na indústria de cosméticos e na área agrícola como agente de liberação controlada de pesticidas e nutrientes.

As aplicações dos filmes produzidos a partir de polissacarídeos e proteínas estão relacionadas como suporte no encapsulamento ou imobilização de materiais e na utilização como embalagens (Correia, 2016). Quando utilizado para esses fins, os filmes biodegradáveis se apresentam como barreiras, protegendo o produto de danos físicos e biológicos, a fim de aumentar sua vida útil reduzindo a perda dos nutrientes ou princípios ativos (Henrique et al., 2008).

Os viveiros de produção de mudas, em sua maioria, utilizam basicamente dois recipientes para a produção: sacos plásticos e tubetes que são constituídos de PE e PP. Os sacos plásticos, após o período de produção da muda, não possuem mais função, acumulando-se no viveiro ou sendo acumulados em lixões e aterros sanitários. Os tubetes também causam poluição ambiental no momento de descarte, são reutilizados, porém, alguns tubetes de plástico rígido apresentam rebarbas (ressaltos) de plástico na parte inferior, o que pode provocar envelhecimento de raízes e comprometer a qualidade das mudas, além da necessidade de área para armazenamento no viveiro até sua reutilização (Dias, 2011).

Uma alternativa para as desvantagens de ambos os recipientes é a utilização de recipientes biodegradáveis, que possam ser inseridos no solo junto com as mudas, se deterioram ao longo do tempo e são absorvidos pelo solo (Cazoti, 2011). O maior desafio desta alternativa está ligado justamente a durabilidade da embalagem, já que esta não pode se desintegrar durante o período de produção das mudas em viveiro, enquanto em campo, precisa se decompor rapidamente (Gomes e Paiva, 2004).

As pesquisas com recipientes para produção de mudas têm sido dinâmicas e sempre acatando o princípio de que o sistema radicular é importante, devendo apresentar boa arquitetura. No ato do plantio, as raízes deverão sofrer o mínimo de distúrbios, o que permitirá que a muda seja plantada como um torrão sólido e bem agregado a todo o sistema radicular, favorecendo a sobrevivência e o crescimento inicial no campo (Ferraz, 2006).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR 13591**: Compostagem: terminologia. Rio de Janeiro, 1996.
- ALVES, M. F. A.; LIMA, G. A.; ALVES, L. R. A.; MELO, F. J. S.; MOURA, E. F.; NOÉ, J. R.; SILVA, M. M. M. Estudo das possibilidades de uso dos resíduos de arborização urbana do município de Pombal-PB. **ITESA**, Pombal-PB, v. 9, n. 1, p. 10 – 12, 2015.
- ANDREOLI, C. V. 2001. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES.
- ANTUNES, L. F. S. **Produção de gongocomposto e sua utilização como substrato para mudas de alface**. 86 f. Dissertação (mestrado). UFRRJ, Seropédica, 2017.
- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Revista Nativa**, Sinop – MT, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.
- ARTHUR JUNIOR, J. C. **Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxitubirato mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto**. 128 f. Tese (Doutorado), ESALQ/USP, Piracicaba, 2011.
- ARTUR, A. G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARRETTO, V. C. M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 843 – 850, 2007.
- ASSOCIAÇÃO DE MUNICÍPIOS COVA DA BEIRA (AMCB). **Central de Compostagem, 2006**. [Online]. Disponível em < <http://www.amcb.pt/> >.
- BARATTA JUNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.
- BERTICELLI, R.; DECESARO, A.; MAGRO, F.; COLLA, L. M. Compostagem como alternativa de biorremediação de áreas contaminadas. **Revista CIATEC-UPF**, v.8, n.1, p.12-28, 2016.
- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.120 p.
- BONA, J. C. DE. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas de amido com polietileno**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2007.
- BOLSONI, E. **Estudo da reprocessabilidade do polietileno de baixa densidade**. 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2001.
- BUREAU, G. COUTURIER, Y.; PRUDHOMME, J. C. Les Biopolymères comme matériaux d’emballage: Le principe et les possibilités. ESIEC/GREPAC; Reims. **Industries Alimentaires et Agricoles**. avril, n.4, p. 235-238; 1996.
- BURLE, E. C.; ANDRADE NETO, E. C.; SANTOS, W. L. Compostagem em pequena escala de resíduos orgânicos com óleos e gorduras residuais – OGR. **Ciências exatas e tecnológicas**, Aracaju, v. 4, n. 3, p. 11-20, 2018.
- CAETANO, M. C. T. **Substratos orgânicos para a produção de mudas de *Tabebuia heptaphylla* irrigadas com água potável e residuária**. 2016. 75 f. Tese (Doutorado), UNESP, Jaboticabal, 2016.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 27 – 33, 2008.
- CARNEIRO, J. G. A. **Efeto da densidade sobre o desenvolvimento de alguns parâmetros morfofisiológicos de mudas de *Pinus taeda* L. Em viveiro e após o plantio**. Curitiba: UFPR, 1985. 106 p.

CASTRO, R. S. DE. **Resíduos industriais como estimuladores da biodegradação de poda de árvores**. 2018. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.

CORREIA, M. F. **Produção e caracterização físico-química de filmes a base de colágeno bovino, ágar-ágar e agarose**. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso II (Bacharel). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.

COSTA, A. R. S.; XIMENES, A. F.; BELTRAME, L. T. C. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista Geama**, v.2, n.1, p.116-130, 2016.

COSTA, J. C. F.; MENDONÇA, R. M. N.; FERNANDES, L. F.; OLIVEIRA, F. P.; SANTOS, D. Caracterização física de substratos orgânicos para o enraizamento de estacas de goiabeira. **RBAS**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 16 – 23, 2017.

COLODETE, C. M.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.

CORTEZ, C. L.; GRIOLI, R.; GAVIOLI, F.; COELHO, S. T.; CARMELO, S. Alternativa sustentável para utilização de resíduos de poda provenientes da manutenção das redes de distribuição de energia elétrica. In: **7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural**, Resumo, Fortaleza, 2008.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; GUERRERO, C. R. A. Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de sete-casca (*Samanea inoponata* (Harms) Ducke). **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 537 – 546, 2006.

DIAS, B. A. S. **Análise comparativa de tubetes biodegradáveis e de polietileno na produção de mudas de Paratecoma peroba (Record e Mell) Kuhlm.** 72 f. Tese (Doutorado), UFV, Viçosa, 2011.

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

EMBRAPA.: Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/boletim/boletarqv/boletim18_19/baggio.pdf>. acessado em: 29 jul. 2018.

FANI, M. **Agar-Agar - O mais antigo fitocolóide. Aditivos e Ingredientes**. São Paulo: Editora Insumos Ltda., v.56, mai/jun. 2008. 31p.

FARIA, J. C. T. CALDEIRA, M. V. W., DELARMELINA, W. M., ROCHAS, R. L. F. Uso de resíduos orgânicos na produção de mudas de Senna alata (L.) Roxb. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 1, n. 3, p. 133-146, 2014.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M.C.P da. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. PROSAB, UEL: Londrina, 2008. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>>. Acesso em: 8 junho 2018.

FERRAZ, M. V. **Avaliação de tubetes biodegradáveis para a produção de petúnia-comum (Petúnia xhybrida)**. Tese (Doutorado). 106 f. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2006.

FONSECA, T.G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 72 p., 2001.

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D.; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. 2006. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.5, p.1397-1403, 2006.

FONSECA, E. P. **Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume.**

- Cedrela fissilis* Vell. E *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. Produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. 2000. 113 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.
- FRANCHETTI, S.M.M; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis – uma solução para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.
- GASPARIN, E. **Armazenamento de sementes e produção de mudas de *Parapiptadenia rígida* (Benth.) Brenan**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado). UFRS, Santa Maria, 2012.
- GLINSKI, J.; LIPEC, J. **Soil physical conditions and plant roots**. Florida:CRC, 1990. 250 p.
- GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de N-P-K**. 2001. 166 f. Tese (Doutorado), UFV, Viçosa, 2001.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITEE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655 – 664, 2002.
- GOMES, C. Z.; STEGHANHA, R.; SANTOS, J. E. G.; TRINDADE, G. Consciência ambiental: resíduos gerados pelas tintas e solventes em flexografia. **XIII SIMPEP**, Bauru/SP, nov. 2006.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 3 ed., UFV, Viçosa, MG, 2004.
- GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos**. Piracicaba: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.
- HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 1, p. 231 – 240, 2008.
- Kiehl, Edmar José. 1998. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 171 p. Piracicaba, 1998.
- KIEHL, Edmar José. 1985. *Fertilizantes Orgânicos*. Piracicaba: Editora Ceres. KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ªed. 173 f. Piracicaba, 2004.
- KRATZ, D. **Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage e *Mimosa scabrella* Benth**. 2011, 121 f. Dissertação (Mestrado), UFPR, Curitiba, 2011.
- KRATZ, D.; WENDLING, I. NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 37, n. 6, p. 1103 – 1113, 2013.
- LOPES, C. M.; LOBO, J. M. S.; COSTA, P. Formas farmacêuticas de liberação modificada: polímeros hidrofílicos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Porto, v. 41, n. 2, p.143-155, abr. 2005. Trimestral.
- LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. **Caracterização de polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica**. Editora E-papers Serviços Editoriais. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, p. 151-323, 2001.
- MALI, S. GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137 – 155, 2010.
- MARTINS, C. S.; CASTRO, P. M.; SANTOS, E. dos; Adilton Juarez b. Cunha; JUDITE, V. S.; PORTO, J. H.; THIAGO, bernardo; Rafael, C.; BERNARDO, T. Companhia

Energética de Minas Gerais. **Manual de arborização**. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 112 p., 2011.

MIYASAKA, S; CAMARGO, O. A.; CAVALERI, P.A.. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo**. Campinas: Fundacao cargil, 1984. 138p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA), Instrução Normativa SARC N° 14. **Diário Oficial da União**- Seção 1, n° 242, 17 de dezembro de 2004. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas. Brasília, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa SDA N° 17 de 21 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 de maio 2007. Seção 1, p.8.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Instrução Normativa SDA N.º 31. **Diário Oficial da União**- Seção 1, 24 de outubro de 2008. Alteração dos subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2 da Instrução Normativa n.º 17 de 21/05/2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos para Plantas e Condicionadores de Solo. Brasília, 2008.

MODESTO FILHO, P. 1999. Reciclagem da matéria orgânica através da vermocompostagem. In: TEIXEIRA, B. A. N.; TEIXEIRA, E. N.; BIDONE, F. R.; GOMES, L. P.; ZANIN, M.; SAT, M.; MODESTO, P. F.; ZEILHOFER, P.; SCHALCH, V. **Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, RJ: ABES. 65 p.

MUNGUAMBE, J. F. **Qualidade morfológica de mudas clonais de eucalipto na fase de expedição em viveiros comerciais**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado). UFLA, Lavras, 2012.

NASCIMENTO, J. F.; GUEDES, J. A. Arborização urbana do espaço público de Major Sales. **CADGEO**, Campos dos Goytacazes - RJ, v. 06, n. 01, p. 17-31, 2015.

NAYAK, P. L. Biodegradable polymers: opportunities and challenges. **J. M. S. – Rev. Macromol. Chem. Phys.**, C39(3), p. 481-505, 1999.

OLIVEIRA, C. A; SARTORI, R. H; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP. Piracicaba, 2008. 19 p.

OLIVEIRA, A. F. **Desenvolvimento, caracterização e aplicação de biofilmes e esferas obtidos a partir de carboximetilcelulose e alginato de sódio em processos de liberação controlada de nutrientes**. 2009. 171 f. Tese (Doutorado), UFSC, Florianópolis, 2009.

PEIXOTO, R.T.G. Compostagem: Principios, praticas e perspectivas em sistemas orgânicos de producao In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. **Agroecologia princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Rio de Janeiro, Embrapa, 2005, p.389- 422.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 81 p.

PICCOLI, R.A.M.; QUIROZ, L.H.C.; FLEURY, A.; MATTOS, M.N.; OLIVEIRA, V.; BONOMI, A. Otimização da produção de polihidroxibutirato por via fermentativa, baseada num modelo matemático cibernético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000. Águas de São Pedro. **Anais**. Campinas: Universidade de Campinas, 2000. res. n. 839. 1 CD-ROM.

PIRES, A. B. **Análise da Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos**. Trabalho de conclusão de curso de graduação. (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo.

RECIFE - **Manual de Arborização Urbana: Orientações e procedimentos técnicos**

básicos para a implantação e manutenção da arborização da cidade do Recife. 1. ed. Recife, 2013.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** 239 f. Tese (Doutorado). UFRGS, Porto Alegre, 2005.

RIBEIRO, H. M.; ROMERO, A. M.; PEREIRA, H.; BORGES, P.; CABRAL, F.; VASCONCELOS, E. Evaluation of a compost obtained from forestry wastes and solid phase of pig slurry as a substrate for seedlings production. **Bioresource Technology**, v.98, p.3294-3297, 2007.

ROCHA, A. J. F.; SOUZA, R. L. P.; REDA, A. L. L.; SILVA, G. T. Destinação sustentável do resíduo da poda de árvores urbanas. **Anais do XV Safety, Health and Environment World Congress**, Porto – Portugal, 2015.

ROSA, D.S.; LOTTO, N.T.; LOPPEL, D.R.; GUEDES, C.G.F. The use of roughness for evaluating the biodegradation of poly-b-(hydroxybutirate) and poly-b-(hydroxybutirateco-b-valerate). **Polymer Testing**, Amsterdam, v. 23, p. 3-8, 2004.

ROSSATO, D. V.; TSUBOY, M. S.; FREI, F. Arborização urbana na cidade de Assis-SP: Uma abordagem quantitativa. **Rev. SBAU**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 1-16, 2008.

RUSSO, M. A. T. 2003. **Tratamento de Resíduos Sólidos.** Disponível em: < http://www.uc.pt/mhidro/Tratamentos_Resíduos_Sólidos.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de Coffea canephora var. Conilon.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

SANTOS, I. J. A.; SILVA, J. A. G.; SILVA, J.; MENDES, T. R. M.; SOUZA, D. O.; SILVA, G. S. Levantamento dos impactos ambientais e medidas mitigadoras para a recuperação de áreas degradadas do Rio Estiva. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 4, n. 1, p. 171-182, 2017

SCHÄFER, G. **Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul.** 144 f. Tese (Doutorado) UFRGS, Porto Alegre, 2004.

SILVA, E. R. B.; SOUSA, M. C.; MELO, J. K. H.; NUNES, T. A. Percepção da população de Mossoró, Rio Grande do Norte sobre a poda e arborização urbana. **Magistra**, Cruz das Almas – BA, v. 27, n. 2, p. 167-178, 2015.

SILVA, R. F.; MARCO, R.; ALMEIDA, H. S. GROLLI, A. L. Proporções de vermicomposto e vermiculita na produção de muda de timbaúva e angico-vermelho. **Holos**, v. 8, p. 33 – 41, 2017

SQUIO, C.R.; ARAGÃO, G.M.F. Estratégias de cultivo para produção dos plásticos biodegradáveis poli(3-hidroxibutirato) e poli(3-hidroxibutirato-co-valerate) por bactérias. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 615-622, 2004.

SYSTEMMUD, Química dos polímeros e aplicações – Atualidades Fluidos e Cia – **System Mud Produtos Químicos**, 2001. Disponível em <http://www.systemmud.com.br/atualidade_fluido_cia_03.htm> acesso em 17 de agosto de 2017.

TEIXEIRA, P. T. L. **Tecnologias para produção de porta-enxertos cítricos em ambiente protegido.** 148 f. UFRGS, Porto Alegre, 2008.

TOLEDO, F. H. S. F.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A. S.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PE, v. 19, n. 7, p. 711–716, 2015.

VELASCO, G. D. N. **Arborização viária x Sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudos de podas e levantamento de problemas fitotécnicos.** 2003. Dissertação (Mestrado). ESALQ/USP, Piracicaba, 94 f. 2003.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Resíduos orgânicos como

substrato para produção de mudas de guanandi. **UNICIÊNCIAS**, v. 18, n. 2, p. 91-97, 2014.
VINHAS, G.; ALMEIDA, Y.; LIMA, M. Estudo das propriedades e biodegradabilidade de blendas de poliéster/amido submetidas ao ataque microbiano. **Química Nova**, v. 30, n. 7, p.1584-1588, 2007.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002.

WOLF, K. **Propriedades físico-químicas e mecânicas de biofilmes elaborados a partir de fibra e pó de colágeno**. 2007. 103 f. Tese (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2007.

WURZBURG, O. B. Cross – linking starches. In: WURZBURG, O. B. *Modified starches: properties and uses*. **Boca Raton: CRC Press**, 1986. p. 41-53.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JÚNIOR, F. Caracterização física e substratos para plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, 2014.

CAPÍTULO I

Produção e Caracterização do Composto de Resíduo da Poda Urbana

RESUMO

A arborização urbana assume vital importância nos grandes centros urbanos, sendo necessária para melhoria da qualidade de vida nas cidades. Entretanto, para evitar danos a patrimônios, redes de distribuição de energia e água, é fundamental a manutenção da arborização através de podas periódicas, as quais geram resíduos sólidos urbanos verdes. Diante do exposto, esse estudo teve por objetivo avaliar o processo de compostagem dos resíduos da poda urbana, visando aproveitamento de baixo custo, e as características físicas e químicas do composto gerado para utilização como substrato na produção de mudas florestais. O resíduo de poda foi cedido pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB). Após o recebimento do material, ele foi triado em galhos finos (< 8 cm) e folhas, triturado em picador, e dispostos em pilha com formato piramidal. Posteriormente a montagem da pilha, teve início o controle do processo de compostagem, sendo acompanhados com o monitoramento da temperatura, umidade e aeração. Após o processo de revolvimento e maturação (122 dias), o composto de resíduo da poda urbana (CRPU) foi peneirado, seco em condições naturais e armazenado. Posteriormente, foram determinadas as características físicas (densidade seca - DS, densidade úmida - DU, densidade de partícula - DP, porosidade total - PT, espaço de aeração - EA, microporosidade, água facilmente disponível - AFD, água tamponante - AT e água disponível - AD), e químicas (potencial hidrogeniônico - pH, condutividade elétrica - CE, teor total de sais solúveis - TTSS, capacidade de troca catiônica - CTC, relação carbono/nitrogênio - C/N, nutrientes e metais pesados) no CRPU. Também foram coletadas oito amostras de lixiviados, produzidos nos primeiros 30 dias do processo de compostagem, em diferentes tempos (0, 4, 8, 11, 15, 19, 22 e 30 dias) e caracterizadas por espectroscopia (^{13}C NMR CP MAS). Após 24 horas da montagem da pilha, constatou-se a elevação significativa da temperatura, dando início ao processo de compostagem. Foram identificadas as fases termófila, mesófila e de maturação ao decorrer do processo. Os valores encontrados para DS, DU, PT, EA, pH, CE, TTSS, CTC e metais pesados foram classificados como adequados segundo a literatura e a legislação; em contrapartida, DP, microporosidade, AFD, AT, AD, relação C/N e a maioria dos nutrientes classificados como inadequados. Independentemente do tempo de compostagem é possível observar predominância de estruturas do tipo Calk-(A,R) e baixas quantidades de estruturas do tipo CC=O nos lixiviados. Diante dos resultados, infere-se que é adequado utilizar o processo de compostagem para aproveitamento do resíduo de poda urbana, sem a utilização de outras fontes orgânicas e/ou minerais, sendo necessárias adaptações no processo; o CRPU apresentou características físicas e químicas que evidenciaram a interrupção do processo antes da maturação completa do composto, mesmo assim, algumas propriedades estão adequadas para utilização como componente na formulação de substratos.

Palavras-chave: Compostagem; resíduos orgânicos; RMN (NMR).

ABSTRACT

Urban afforestation is vitally important in large urban centers and is necessary for improving the quality of life in cities. However, to avoid damage to heritage, power, and water distribution networks, it is essential to maintain afforestation through periodic pruning, which generates green urban solid waste. Given the above, this study aimed to evaluate the process of composting waste from urban pruning, aiming at low-cost utilization, and the physical and chemical characteristics of the compost generated for use as a substrate in the production of forest seedlings. Pruning waste was provided by the Municipal Urban Cleaning Company (COMLURB). Upon receipt of the material, it was sorted into thin branches (<8 cm) and leaves, shredded into a mincer and arranged in a pyramidal pile. After the pile was assembled, the composting process started to be controlled, followed by temperature, humidity, and aeration monitoring. After the revolving and maturation process (122 days), the urban pruning waste compost (CRPU) was sieved, dried under natural conditions and stored. Subsequently, the physical characteristics (dry density - DS, wet density - DU, particle density - DP, total porosity - PT, aeration space - EA, microporosity, easily available water - AFD, buffering water - AT and available water) were determined. - AD), and chemical (hydrogen potential - pH, electrical conductivity - EC, total soluble salt content - TTSS, cation exchange capacity - CTC, carbon/nitrogen ratio - C/N, nutrients and heavy metals) in the CRPU. Eight leachate samples were also collected, produced in the first 30 days of the composting process, at different times (0, 4, 8, 11, 15, 19, 22 and 30 days) and characterized by spectroscopy (¹³C NMR CP MAS). After 24 hours of assembling the pile, a significant rise in temperature was noted, starting the composting process. The thermophilic, mesophilic and maturation phases were identified during the process. The values found for DS, DU, PT, EA, pH, EC, TTSS, CTC, and heavy metals were classified as adequate according to the literature and legislation; In contrast, PD, microporosity, AFD, AT, AD, C/N ratio and most nutrients classified as inadequate. Regardless of the composting time, it is possible to observe the predominance of Calk-type structures (A, R) and low amounts of CC = O type structures in the leachate. Given the results, it is inferred that it is appropriate to use the composting process to use the urban pruning waste, without the use of other organic and/or mineral sources, being necessary adaptations in the process; CRPU showed physical and chemical characteristics that evidenced the interruption of the process before the complete maturation of the compound, even though some properties are suitable for use as a component in the substrate formulation.

Keywords: Composting; organic waste; NMR.

1 INTRODUÇÃO

O processo de reaproveitamento é uma das formas de mitigar o problema dos resíduos sólidos urbanos, dando um destino útil e adequado aos resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterros e melhorando a estrutura do solo, a partir da devolução dos nutrientes à terra, aumentando a capacidade de retenção de água, permitindo o controle da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos (AMCB, 2006).

Na cidade do Rio de Janeiro, como em muitas cidades de um modo geral, são encontrados diversos resíduos orgânicos com potencial para serem utilizados como substratos, entre eles a biomassa oriunda da poda urbana. Os resíduos vegetais gerados pela poda de árvores e pela manutenção de jardins podem representar uma fração considerável do lixo gerado em uma cidade (Martins et al., 2011).

Santos Filho et al. (2018), ressaltam o quanto a disposição final de resíduos sólidos tem acarretado problemas socio-ambientais e econômicos diversos na sociedade, principalmente os relacionados à saúde pública, aos recursos hídricos e à poluição atmosférica. Os resíduos vegetais são queimados ou dispostos em aterros inadequados trazendo o desprendimento de chorume, provocando prejuízos ao ambiente (Saiter, 2008).

Nenhuma das destinações descritas por Saiter (2008), é considerada adequada do ponto de vista ambiental e sustentável, sendo o ideal para resíduos orgânicos sua estabilização através de processos biológicos controlados (Baratta Junior et al., 2010). Nesse sentido o processo de compostagem, embora seja uma prática antiga, mostra-se como uma alternativa eficaz, sustentável e de baixo custo no reaproveitamento desses resíduos.

O processo de compostagem, além de minimizar os impactos ambientais no solo, ar e água, oferece um composto orgânico rico em nutrientes para plantas (Santos et al., 2015). O processo ocorre de maneira natural no ambiente, porém o termo compostagem, está associado ao manejo elaborado pelo ser humano, que a partir da observação desse processo, desenvolveu técnicas para acelerar a decomposição da matéria orgânica. Assim, alguns fatores foram definidos como parâmetros essenciais de controle, como: temperatura, aeração, umidade, pH, relação C/N, granulometria e microrganismos (Oliveira, Sartori e Garcez 2008).

Neste contexto, a etapa de produção de mudas nos viveiros florestais é dependente da utilização de insumos, dentre esses insumos o substrato possui elevada importância devido a sua ampla utilização na produção. É cada vez maior o uso de materiais alternativos para a produção de substratos e adubos orgânicos, estando diretamente relacionada com o reaproveitamento de resíduos orgânicos.

A qualidade das mudas tem influência sobre o estabelecimento e crescimento das plantas após o plantio no campo. No processo de produção de mudas de qualidade, os substratos possuem grande destaque, devendo apresentar características físicas, químicas e biológicas favoráveis (Caldeira et al., 2008).

As propriedades físicas indispensáveis para a caracterização essencial do material podem ser resumidas em: densidade, porosidade total, espaço de aeração, e a retenção de água em baixas tensões de umidade (Fochesato et al., 2006; Schäfer 2004). Já para caracterização química destacam-se: pH, capacidade de troca cátions (CTC), condutividade elétrica (CE) e/ou teor total de sais solúveis (TTSS) e a concentração de macro e micronutrientes (Caetano, 2016).

Diante da necessidade do aproveitamento dos resíduos da poda de manutenção da arborização urbana, este estudo teve como objetivo realizar a compostagem dos mesmos, bem como determinar as características físicas e químicas do composto orgânico gerado, de forma a subsidiar sua utilização na composição de substratos para produção de mudas florestais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A condução experimental foi realizada em casa de vegetação telada não-climatizada (Figura 2) no Departamento de Solos, no Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica – RJ. O trabalho foi segmentado em duas etapas: na primeira etapa foi realizado o processo de compostagem do resíduo de poda urbana, com início no mês de dezembro/2017 e término em março/2018; a segunda etapa consistiu na caracterização física e química do composto de resíduo de poda urbana (CRPU), produzido na primeira etapa, avaliando sua viabilidade para utilização como componente de substrato.



Figura 2. Casa de vegetação onde foi desenvolvido os experimentos no Departamento de Solos no Instituto de Agronomia da UFRRJ.

2.1 Compostagem do resíduo de poda urbana

A produção do composto do resíduo proveniente da poda urbana, foi realizada através do processo de compostagem do tipo aeróbico, com aeração e umidade controladas, de forma artesanal, sendo o processo de decomposição lento e natural, sem a utilização de equipamentos e/ou produtos de aceleração do processo de compostagem, e em pequena escala. Para a preparação dos resíduos orgânicos não foi utilizada nenhuma outra fonte orgânica.

Durante o processo de compostagem, nos meses de dezembro de 2017 a abril de 2018, as temperaturas médias máximas do município foram de 25 – 26°C (Dados da Estação Automática de Seropédica – Ecologia Agrícola - RJ) e a temperatura média máxima registrada por termômetro no interior da casa de vegetação foi de 30°C.

A execução do processo de compostagem seguiu os seguintes procedimentos:

2.1.1 - Busca dos resíduos da poda urbana na ETR Caju

O uso das espécies vegetais para compostagem de seus resíduos se deu de acordo com a disponibilidade de material recentemente podado no pátio da ETR (Figura 3).

Anteriormente ao carregamento do caminhão com o resíduo (Figura 4), foram identificadas as espécies predominantes sendo: *Albizia lebbbeck* (L.) Benth (Albizia), *Ficus benjamina* L. (Figueira), *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. (Leucena), *Licania tomentosa* (benth.) Fritsch (Oiti), *Mangifera indica* L. (Mangueira) e *Terminalis catappa* L. (Amendoeira). Não foi possível identificar as demais espécies presentes. Estes resíduos totalizaram 450 kg de galhada encaminhadas para UFRRJ.



Figura 3. Resíduo de poda urbana disposta no pátio da ETR Caju.



Figura 4. Carregamento do caminhão com galhadas do resíduo de poda urbana.

2.1.2 – Triagem dos resíduos

Devido a questões de operacionalidade da máquina e tempo de compostagem dos resíduos, optou-se por trabalhar com galhos de no máximo 8,00 cm de diâmetro, pois os mesmo apresentam menor proporção de lignina em seus tecidos e grande quantidade de folhas e tecidos tenros.

2.1.3 – Trituração dos resíduos

Após o material ser triado, os resíduos foram triturados em uma picadeira ensiladeira (motor gasolina 13,5 HP Trapp ES 550G) (Figura 5). A galhada foi reduzida a partículas de tamanhos variados, proporcionando ao material um aumento da superfície exposta, facilitando a ação dos microorganismos e consequentemente o processo de decomposição.



Figura 5. Modelo ilustrativo do picador utilizado para trituração do resíduo de poda urbana.
Fonte: google/imagens.

2.1.4 – Montagem da pilha

De posse do material triturado procedeu-se a montagem da pilha em formato trapezoidal com as dimensões: 1,52 metros de comprimento x 1,20 metros de largura (base) x 1,02 metros de altura (Figura 6). Concomitantemente com a montagem da pilha foi realizada a irrigação do material triturado para que temperaturas mais elevadas fossem atingidas num menor período de tempo (Baratta Júnior, 2007).



Figura 6. Pilha montada dia 01/12/2017, idade de 0 dias.

O experimento foi realizado no interior da casa de vegetação a fim de evitar possíveis encharcamentos por chuvas e interferência de animais (cães e gatos) presentes no campus da UFRRJ. A pilha foi disposta sobre lona em superfície lisa levemente declivosa, para que não houvesse o acúmulo de líquidos na base da pilha e para facilitação na captação do lixiviado gerado (Figura 7).



Figura 7. Escoamento da água de irrigação.

2.1.5 – Controle do processo de compostagem

Após a montagem da pilha, o processo de compostagem foi acompanhado pelo monitoramento de temperatura e umidade no período de 90 dias, a partir dessa data as temperaturas estabilizaram. As temperaturas foram aferidas, com auxílio de um termômetro digital Incoterm resolução 1°C, acoplado a uma haste de bambu com 1,20 metros de altura (Figura 8), sempre em três pontos centrais da massa de compostagem (topo, centro e base), conforme recomenda Pereira Neto (2007). Esses valores revelaram o desempenho do processo e a necessidade de qualquer medida corretiva. As medições foram realizadas nos horários de temperaturas mais amenas do dia (na parte da manhã por volta das nove horas, ou ao final da tarde por volta das 17 horas).



Figura 8. Medição de temperatura do centro da pilha de compostagem.

Para registro gráfico foram utilizadas as médias das temperaturas com intervalo de duas medições por semana. A pilha atingiu altas temperaturas logo nos primeiros dias do processo de compostagem. Com base neste comportamento térmico, adotou-se a seguinte metodologia para condução da compostagem: dois revolvimentos (Figura 9) com irrigação por semana, nas primeiras 8 semanas (56 dias); após foram realizados dois revolvimentos por mês até o final do processo.

O revolvimento foi realizado para controle das altas temperaturas, aeração da massa orgânica e para misturar as camadas mais externas, consequentemente mais secas, com as camadas internas, mais umidas da pilha; já a irrigação foi adotada para reposição e manutenção da umidade.



Figura 9. Revolvimento da massa vegetal aos 30 dias de idade.

A umidade era verificada pelo método visual junto a temperatura. O método visual baseia-se em constatar se a massa da pilha tinha um aspecto “úmido” ou seco e se estava com mau cheiro. A medição da temperatura possui influencia na umidade, pois temperaturas baixas durante a fase ativa do processo, poderia ser um indicativo que a umidade estava baixa

e o processo de decomposição tinha cessado (Campos e Blundi, 1998).

2.1.6 – Captação de Lixiviado

Para quantificação da perda de nutrientes por lixiviação devido a irrigação, e melhor entendimento do processo de compostagem, foram coletadas amostras de lixiviado no decorrer do processo. O lixiviado foi captado com o auxílio de um balde (Figura 10), alocado no ponto de escoamento de líquidos da pilha. As coletas foram realizadas nos primeiros 30 dias do processo de compostagem, em que o material era homogeneizado, retirado uma alíquota e congelada imediatamente.



Figura 10. Captação do lixiviado.

2.1.7 – Peneiramento do composto

Ao final dos 122 dias do processo de compostagem, o material foi espalhado e revirado dia sim, dia não para secar naturalmente. Em sequência, após o material seco, o composto foi peneirado (peneira com malha de 8 mm) para retirar partes grosseiras, como demonstrado na figura 11, e obter uma homogeneização do composto (Figura 12).



Figura 11. Peneiramento do composto produzido.



Figura 12. A direita: composto peneirado e homogeneizado; A esquerda: fração grosseira retida na peneira.

A fração grosseira do material que ficou retida na peneira foi reutilizado na formação de nova pilha de compostagem, evitando a perda de material. Mesmo após o peneiramento, realizou-se uma segunda trituração do composto produzido em moinho, para melhor trabalhabilidade do material, sendo as partículas reduzidas a aproximadamente 6 – 4 mm.

2.1.8 – Armazenamento do composto

O composto peneirado e triturado foi armazenado dentro de sacos de rafia, em local seco com temperatura ambiente até a data de sua utilização.

2.2 Ressonância magnética nuclear (RMN) de ^{13}C do lixiviado

Ao decorrer dos primeiros 30 dias de compostagem, foram coletadas oito amostras do lixiviado gerado pelo processo nos diferentes tempos (0, 4, 8, 11, 15, 19, 22 e 30 dias), para avaliação da transformação do resíduo bruto em um composto orgânico biologicamente estabilizado, através da espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear de polarização cruzada com rotação em torno do ângulo mágico (^{13}C -CP/MAS NMR). As amostras foram congeladas e secas por liofilização.

A espectroscopia de polarização cruzada com rotação em torno do ângulo mágico CP MAS ^{13}C -RMN foi realizada no aparelho Bruker AVANCE II RMN a 400 MHz, equipado com probe de 4 mm Narrow MAS e operando em sequência de ressonância de ^{13}C a 100.163 MHz. Para a obtenção dos espectros, as amostras dos materiais humificados são colocadas em um rotor (porta-amostra) de Dióxido de zircônio (ZrO_2) com tampas de Kel-F sendo a frequência de giro de 8 ± 1 kHz. Os espectros são obtidos pela coleta de 2048 data points para igual número de scans a um tempo de aquisição de 34 ms e com recycle delay de 5 s. O tempo de contato para a sequência em rampa de 1H ramp é de 2 ms. A coleta e elaboração espectral foi realizada utilizando o Software Bruker Topspin 2.1. Os decaimentos livres de indução (FID) foram transformados aplicando um zero filling igual a 4 k e posteriormente um ajuste por função exponencial (line broadening) de 70 Hz.

2.3 Análises físicas do composto de resíduo de poda urbana (CRPU)

A caracterização física do CRPU foi realizada no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo e no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), conforme metodologia descrita a seguir, a qual é parte da instrução normativa nº 17 do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA, 2007) e Fermino (2003).

2.3.1 Umidade Atual

Para a determinação da umidade atual pesou-se três alíquotas do CRPU, de 100 g cada, levadas à estufa ($65^{\circ}\text{C} \pm 5,0^{\circ}\text{C}$) até massa constante (aproximadamente 48 -72 horas). Após realizou-se a pesagem do material seco, determinando a umidade através da expressão matemática:

$$\text{Umidade atual (\%)} = \left[\left(\frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa úmida}} \right) \right] \times 100$$

O cálculo da umidade atual foi realizado pela média dos valores obtidos para as três alíquotas.

2.3.2 Densidade Aparente

Para determinação da densidade aparente, é necessário primeiramente a determinação da densidade úmida, para tal utilizou-se uma proveta plástica de 500 ml, balança analítica para 5 quilos, estufa de secagem, placas de petri e uma espátula.

A proveta plástica foi preenchida até 300 ml com o substrato na umidade atual. Em seguida, a proveta foi deixada cair, sob ação de sua própria massa, de uma altura de 10 cm, por 10 vezes consecutivas. Com auxílio da espátula nivelou-se a superfície levemente lendo o volume obtido (ml). Após, pesou-se o material (g) descontando a massa da placa de petri. O procedimento foi repetido três vezes com sub amostras do CRPU diferentes. A partir da quantificação da massa úmida e do volume após compactação, determinou-se a densidade a partir da expressão matemática:

$$\text{Densidade úmida (kg m}^{-3}\text{)} = \left[\frac{\text{massa úmida (g)}}{\text{volume (mL)}} \right] \times 100$$

A densidade seca (densidade aparente) foi determinada através da fórmula (média das subs amostras):

$$\text{Densidade aparente (kg m}^{-3}\text{)} = \text{Densidade úmida (kg m}^{-3}\text{)} \times \left(\frac{\text{Umidade (\%)}}{100} \right)$$

2.3.3 Densidade de partícula

Utilizou-se a metodologia descrita por Rowel (1994) para determinação da densidade de partícula:

1. Pesa-se um becker de 25 ml (P1);
2. Coloca-se nele aproximadamente 25 cm³ de amostra seca a 65°C. Pesa-se (P2);
3. Adiciona-se 50 ml de água e ferve-se, para retirar o ar (aproximadamente 30 minutos);
4. Resfria-se;
5. Pesa-se um balão volumétrico de 250 ml (P3);
6. Coloca-se nele a suspensão resfriada, utilizando funil para evitar perda de partículas da amostra;
7. Completa-se o volume do balão. Pesa-se (P4);
8. Calcula-se:
 - a) Massa da amostra seca: $P2 - P1 = A$
 - b) Massa da suspensão: $P4 - P3 = B$
 - c) Massa (volume) da água no balão: $B - A = C$ ($g = cm^3$)
 - d) Volume da amostra: **250 (volume do balão) - C = D**
 - e) Densidade de partícula: A/B

2.3.4 Porosidade total, espaço de aeração, disponibilidade de água e curva de retenção de água

A determinação da porosidade total, espaço de aeração e água disponível foi realizada através da curva de retenção de água nas tensões de 0, 10, 50 e 78 cm de coluna de água, correspondendo as tensões de 0, 10, 50 e 78 hPa, adaptação da metodologia de De Boodt e Verdonck (1972). Segundo esses autores curva de retenção de água deve ser determinada nas tensões 0, 10, 50 e 100 cm, devido a limitações de infraestrutura, a tensão de 100 cm foi adaptada para 78 cm.

Foram utilizados os seguintes equipamentos: mesa de tensão (método descrito por Kiehl, 1974), cilindro de PVC com altura de 3,6 cm e diâmetro de 4,7 cm, tecido nylon, elásticos de borracha, bandeja plástica, balança analítica e estufa. Utilizou-se o seguinte procedimento:

- 1- Vedação do fundo dos cilindros de PVC com tecido voil preso por um elástico de borracha e pesagem dos cilindros;
- 2- Preenchimento dos cilindros (volume de 62,46 ml) com 20 g de CRPU. A quantidade de massa a ser adicionada nos cilindros foi definida para evitar que as amostras transbordassem durante a saturação, pois utilizando a fórmula de determinação da massa a ser adicionada descrita na metodologia, o material transbordou;
- 3- Colocação dos cilindros na bandeja com água até 1/3 de sua altura, para saturação por 24 horas;
- 4- Retirada dos cilindros da água;
- 5- Pesagem dos cilindros, sendo o volume de água contida na amostra neste momento correspondente ao ponto zero de tensão, equivalente a porosidade total;
- 6- Transferência dos cilindros para mesa tensão previamente preparada, ajustando o nível de saída de água para 10 cm (10 hPa) abaixo da amostra, e aguardou-se o equilíbrio entre a água retida na amostra e a sucção aplicada (Figura 13);
- 7- Permanência dos cilindros por 48 horas, atingindo o equilíbrio;
- 8- Retirada dos cilindros da mesa e pesagem;
- 9- Ressaturação das amostras por 24 h;
- 10- Repetição dos itens 6, 7, 8 e 9 para as tensões 50 e 78 cm de coluna de água (50

- e 78 hPa);
- 11- Secagem do material em estufa a 65 °C, por 48 horas ou até peso constante, para determinação do teor de umidade e peso da matéria seca.



Figura 13. Mesa de tensão com as amostras a 10 cm de tensão.

Os percentuais de água retidos (massa) em cada ponto de tensão foram convertidos para termos volumétricos, através da expressão matemática:

$$\theta = \left(\frac{\text{massa de água}}{\text{volume da amostra}} \right) \times 100$$

Em que:

θ = umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

A construção da curva de retenção de água foi efetuada com os valores de umidade volumétrica obtidos através dos percentuais de água retida para cada tensão (média de seis amostras).

De posse dos dados, foram obtidas as seguintes características:

- Porosidade total (PT): corresponde à umidade volumétrica presente nas amostras saturadas (0 hPa);
- Espaço de aeração (EA): diferença obtida entre a porosidade total e a umidade volumétrica na tensão de 10 cm de coluna d'água (10 hPa);
- Água facilmente disponível (AFD): volume de água encontrado entre os pontos 10 e 50 cm de coluna d'água (10 e 50 hPa);
- Água tamponante (AT): é a água volumétrica liberada entre 50 e 100 cm de coluna d'água (50 e 100 hPa);
- Água disponível (AD): volume de água liberado entre 10 e 100 cm de coluna d'água (10 e 100 hPa);
- Água remanescente 10 cm: (AR_{100}): volume de água que permanece na amostra após ser submetida a pressão de sucção de 100 hPa, equivalente à “água de microporos”, termo descrito por Haynes e Goh (1978);
- Capacidade de retenção de água (CRA): é a quantidade de água retida por um substrato após ser submetido a uma determinada tensão;

2.3.5 Granulometria

Para realização desta análise foi utilizada uma amostra de 100 g de CRPU, seco ao ar, e colocada sobre um jogo de peneira, acoplado a um agitador mecânico (Figura 14) por três minutos. As malhas das peneiras empregadas apresentavam 4,00: 1,00: 0,53 e 0,106 mm. Após a agitação, o material retido em cada peneira foi pesado sendo o valor determinado utilizado para cálculo da percentagem sobre o peso da amostra (média de três amostras).

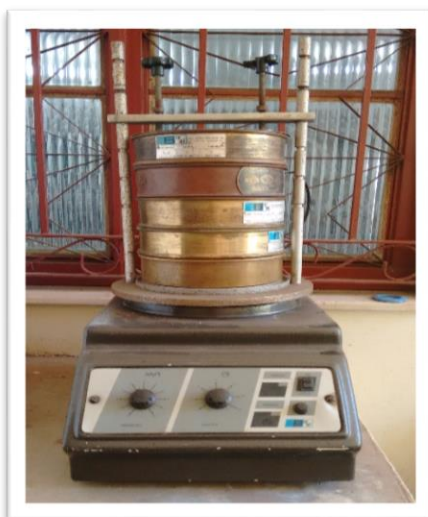


Figura 14. Agitador mecânico com peneiras acopladas.

2.4 Análises químicas do composto de resíduo de poda urbana (CRPU)

2.4.1 Valor de pH

Preparou-se uma solução de substrato e água destilada na proporção 1:5 (50 ml de substrato:250 ml de água destilada). A solução preparada foi colocada para agitar a rotação de 40 rpm por uma hora. Após agitação da solução, procedeu-se a leitura do pH com uso de pHmetro previamente calibrado. A análise de pH foi realizada em seis amostras do CRPU.

2.4.2 Condutividade elétrica (CE) e Teor total de sais solúveis (TTSS)

A solução utilizada para determinação da CE está descrita no item 2.3.1, após o preparo a leitura foi realizada em condutivímetro.

Para determinação do TTSS, realizou-se o seguinte cálculo:

$$TTSS (g L^{-1}) = \frac{[Y \times 56,312] (g 100 g^{-1}) \times [densidade \acute{u}mida (kg m^{-3}) \times 100]}{100000}$$

Em que:

Y = leitura do condutivímetro em Siemens $\times 10^{-4}$;

56,312 = fator de correção para expressar a condutividade em mg de KCL 100 g⁻¹ de substrato a 25 °C;

100000 = valor para a compensação das diferentes unidades em gL⁻¹.

2.4.3 Capacidade de troca catiônica (CTC)

O princípio do método utilizado se baseia na ocupação dos sítios de troca catiônica do material pelos íons hidrogênio provenientes da solução de ácido clorídrico utilizada. Posteriormente, os íons hidrogênio são deslocados com a solução de acetato de cálcio a pH 7 e o ácido acético formado é titulado com a solução padronizada de hidróxido de sódio. O carvão ativo é empregado para prevenir as perdas dos materiais orgânicos solúveis durante a lavagem (MAPA, 2007).

Para determinação da CTC uma amostra de CRPU foi passada em peneira com malha de 0,5 x 0,5 mm, da fração peneirada foram retiradas três subamostras de 100 g cada e secas em estufa com circulação forçada a 65°C por aproximadamente 72 horas (ou até massa constante).

Foram utilizados os seguintes reagentes e equipamentos: carvão ativado p.a.; solução de HCL 0,5 mol L⁻¹; solução 0,5 mol L⁻¹; de acetato de cálcio; solução 0,1 mol L⁻¹; de hidróxido de sódio; fenolftaleína 1%; biftalato; funil de Buncher, kitassatos; bomba de vácuo, mesa agitadora; papel filtro faixa azul. Utilizou-se o seguinte procedimento:

1. Padronização do NaOH 0,1 mol L⁻¹; e cálculo da concentração da solução através da expressão matemática:

$$C \text{ (mol/L)} = \frac{500}{(204,229 \times V)}$$

Em que:

V = volume médio, em ml da solução de NaOH gasto na titulação.

2. Pesou-se 5,0 g da subamostra e 2,0 g de carvão ativado, transferindo-os para erlenmeyer de 250 ml;
3. Adicionar ao erlenmeyer 100 ml de HCL 0,05 mol/L e agitar por 30 minutos na mesa agitadora;
4. Umidecimento do papel filtro e transferência do conteúdo do erlenmeyer, lavando-o com porções de água destilada;
5. Foi feito lavagens suficientes para se ter um volume de aproximadamente 350 ml no kitasato, após descartou-se esse líquido;
6. Reiniciou-se o processo de lavagem, sendo primeiro adicionado 100 ml de solução de acetato de cálcio, após completou-se a lavagem com água destilada até atingir um volume de aproximadamente 300 ml;
7. A solução gerada pela lavagem do material foi titulada com solução de NaOH;
8. Realizou-se o cálculo da CTC através da expressão matemática:

$$CTC \text{ (mmol/kg)} = \frac{\{(Va - Vb) \times CNaOH \text{ (mol/L)}\} \times \text{densidade (kg/m}^3\}}{m \text{ (g)}}$$

Em que:

Va = volume gasto na titulação das amostras;

Vb = volume gasto na titulação do branco;

CNaOH = concentração da solução de NaOH;

M = massa em gramas da amostra do CRPU.

2.4.4 Determinação dos nutrientes e metais pesados

Foram determinados no CRPU os teores de nitrogênio (N), carbono (C), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²) e alumínio (Al⁺³). A determinação do C e N foi realizada por via seca, a partir de 250 mg de amostra, previamente macerada no gral de porcelana e passada em peneira de 100 msh, por oxidação a 900 °C, tendo-se C e N a 900 °C (CHN-600 Carlo Erba EA-1110, Itália).

O P assimilável foi extraído com solução de HCL 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol e determinado por colorimetria (Mehlich) após a redução do complexo fosfomolibdídico com ácido ascórbico, em presença de sal de bismuto em espectrofotômetro. O K⁺ e Na⁺² trocáveis foram extraídos com solução de HCL 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ na proporção substrato-solução 1:10 e determinados por espectroscopia de emissão em fotômetro de chama.

O Ca⁺² e Mg⁺² trocáveis foram extraídos com solução de KCL 1mol L⁻¹ na proporção substrato-solução 1:10, sendo obtidos por complexometria em presença de coquetel tampão. O Ca⁺² foi determinado em presença de KOH 10%, sendo ambos titulados com EDTA 0,0125 mol L⁻¹, o Mg⁺² foi obtido por diferença.

Determinou-se, também no CRPU, os teores dos metais pesados cromo (Cr), chumbo (Pb), zinco (Zn), cádmio (Cd) e níquel (Ni) no CRPU, sendo primeiramente submetido a digestão nitro-perclórica (Sarruge e Haag, 1974), em seguida a leitura de todos os metais foi realizada por espectrometria de absorção atômica.

O lixiviado coletado ao decorrer do processo de compostagem, foi submetido a digestão sulfúrica, e determinados os teores de N, P, K⁺, Ca⁺² e Mg, segundo Tedesco et al. (1995). Quantificou-se o P por espectrofotometria e K por espectroscopia de emissão em fotômetro de chama. Já os elementos Ca⁺² e Mg⁺² foram quantificados por espectrometria de absorção atômica. Os teores de N foram obtidos por oxidação úmida em destilação por arraste a vapor.

2.5 Análise dos Dados

Para análise dos dados utilizou-se a observação dos resultados plotados em gráficos e os resultados calculados por médias e percentuais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desempenho e monitoramento da pilha de compostagem

O processo de compostagem foi realizado de forma artesanal a fim de testar a eficiência de um processo simplificado e por ser de baixo custo. A temperatura é um dos fatores mais importantes para o controle do processo de compostagem (Rocha et al., 2015), indicando as fases do processo (Santos et al., 2015), sendo ainda de fácil medição e não demanda aparelhos e/ou análises de alto custo.

As figuras 15 e 16, ilustram a variação da temperatura (médias semanais) no sistema natural de compostagem do resíduo de poda, durante 84 dias (12 semanas). Verificou-se que a temperatura ao início do processo atingiu a faixa de 50 a 60 °C (temperaturas termofílicas), baixando sensivelmente após o 12º dia, quando esperava-se que a temperatura iria permanecer na fase termofílica por um período mínimo de aproximadamente 30 dias.

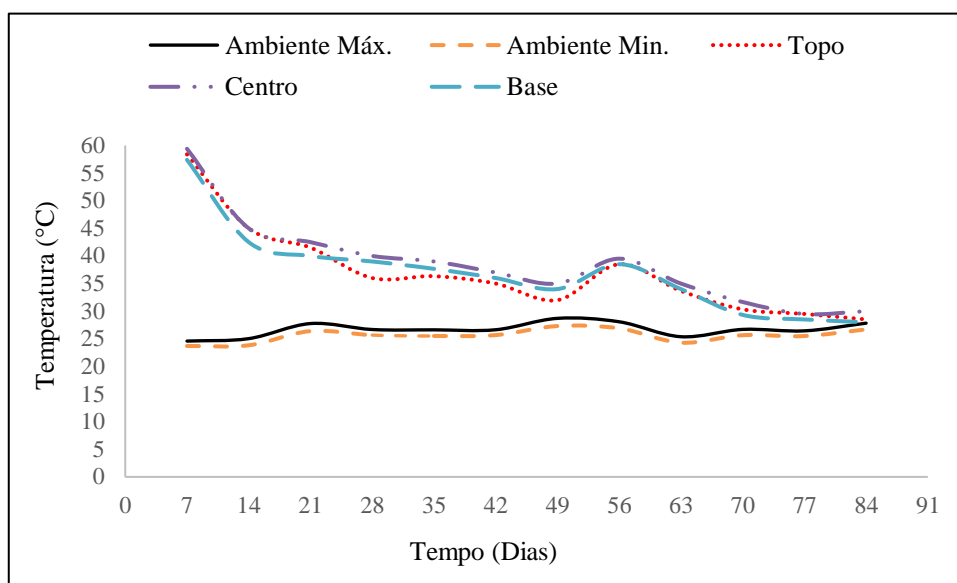


Figura 15. Variação das temperaturas nos três pontos de medição da pilha (topo, centro e base) e temperatura média no interior da casa de vegetação no período de 84 dias (02 de dezembro de 2017 a 17 de março de 2018).

Na figura 16, nota-se que a partir do 63º dias a temperatura na pilha atinge valores próximos à temperatura ambiente e da temperatura da casa de vegetação (média do período de ocorrência do processo de compostagem de 31°C, com variações de $\pm 3^\circ\text{C}$), indicando a maturação do composto.

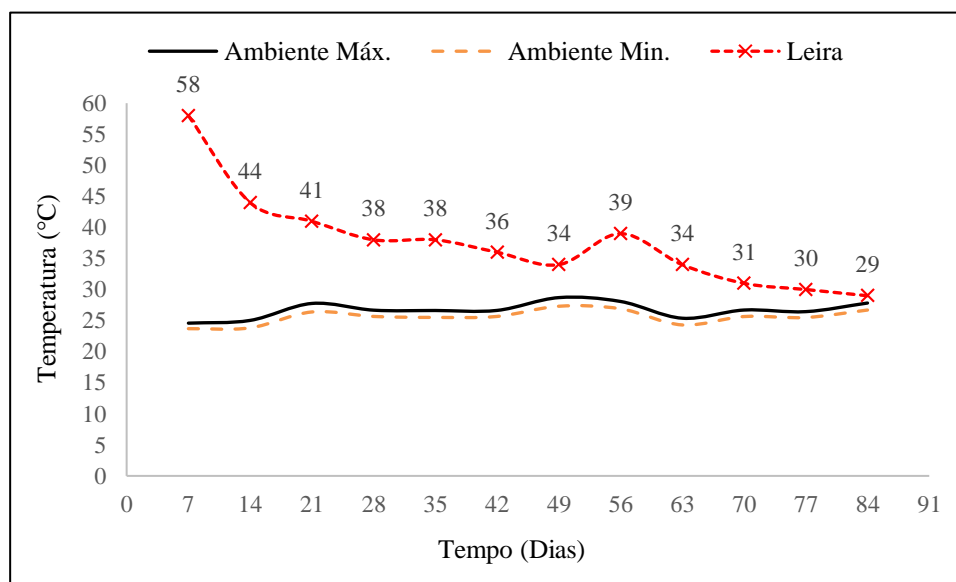


Figura 16. Variação das temperaturas médias da pilha de compostagem em relação às temperaturas médias do ambiente no período de 84 dias (02 de dezembro de 2017 a 24 de fevereiro de 2018).

Avaliando alternativa sustentável para utilização de resíduos de poda urbana, Cortez et al. (2008), salientam que a elevação da temperatura é a primeira característica indicadora do início do processo de compostagem, pois nos primeiros dias, predominam produtos de fácil decomposição microbiológica tornando a atividade mais intensa, com maior liberação

de CO₂ e energia na forma de calor. Padrão observado nesse estudo (Figura 16), indicando o início do processo de compostagem do resíduo de poda.

Pereira Neto (2007), especifica que no início da compostagem, a pilha/leira deve registrar temperaturas termofílicas (45 – 65°C) no período de 12 a 24 horas após a montagem, caracterizando a fase de aquecimento (1ª fase do processo). Essas temperaturas também devem permanecer durante toda a segunda fase, aproximadamente 80 dias no processo de baixo custo, atingindo valores inferiores a 45°C somente ao final dessa fase, caracterizando o resfriamento (3ª fase do processo). Temperaturas controladas inferiores a 40°C, indicam o início da 4ª fase, de maturação, que se caracteriza pelo desenvolvimento de temperaturas mesofílicas (30 – 45°C).

Estudando o processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos, Reis (2005), constatou que as leiras com uma maior quantidade de resíduos verdes (poda urbana) apresentaram temperaturas iniciais entre 50 – 60°C, baixando sensivelmente após o 15º dia e, após os primeiros 30 dias, as temperaturas estavam abaixo de 40°C, chegando ao final de 90 dias com valores próximos a temperatura ambiente (aproximadamente 15°C). A autora afirma que, quando a mistura de resíduos está bem equilibrada, nos primeiros 2 – 4 dias de compostagem a temperatura deve passar dos 55 °C e se estabilizar em torno de 60°C (durante toda a etapa de estabilização), que pode ter duração variável, em função das características dos resíduos e da operação do sistema. Sendo, o período de 1 a 2 meses, geralmente suficiente para que a etapa termófila complete seu ciclo.

Utilizando composto de resíduo de poda da arborização urbana em substratos para mudas, Baratta Junior (2007), observou que há influência da espécie arbórea utilizada no processo de compostagem, encontrando um padrão de temperatura, na compostagem da espécie *Leucaena leucocephala* (Lam.) (leucena), similar a esse estudo, sendo observado a ocorrência de maiores temperaturas iniciais (55°C), tendo um decréscimo para a faixa de 40°C e diminuindo continuamente atingindo a faixa dos 30°C, permanecendo até o término do preparo.

Avaliando a compostagem de resíduos industriais como estimuladores da biodegradação de poda de árvores, Castro (2018), observou padrão de temperatura semelhante a este estudo, no qual os tratamentos, em geral, não atingiram valores acima de 45°C no período esperado, pois a poda utilizada já havia sido cortada há alguns dias, portanto, o processo de degradação já teria sido iniciado. A autora também constatou que, a partir dos 30 dias de compostagem a variação das temperaturas dos tratamentos diminuiu e permaneceram na faixa de 25 a 30°C até o final do processo, indicando a fase de maturação e resfriamento.

A umidade é outro fator de suma importância para o controle do processo de compostagem. Nesse estudo a umidade foi monitorada de forma visual e controlada com irrigações. A água possui papel fundamental para suprir as necessidades fisiológicas dos microrganismos que compõem a compostagem. O resíduo de poda urbana apresenta baixa umidade (em torno de 44%), assim, pressupõe-se que este resíduo necessite de irrigação para atingir a umidade de 55%, ideal para compostagem (Reis, 2005).

No início da compostagem houve uma perda mais expressiva de água, devido as altas temperaturas, necessitando de uma maior quantidade desse recurso. Conforme a decomposição do material avançou, a sua capacidade de retenção de água aumenta, diminuindo as irrigações e por algumas vezes sendo realizado somente o revolvimento, devido a melhoria das características físicas e aumento de superfície de contato pela diminuição das partículas ao decorrer do processo (Valente et al., 2009; Pereira Neto, 2007).

3.2 Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de ^{13}C do lixiviado

Os espectros ^{13}C RMN CP/MAS dos lixiviados pertencentes aos diferentes tempos (dias) de compostagem são apresentados na figura 17. De maneira geral os espectros apresentaram os mesmos sinais com diferentes intensidades.

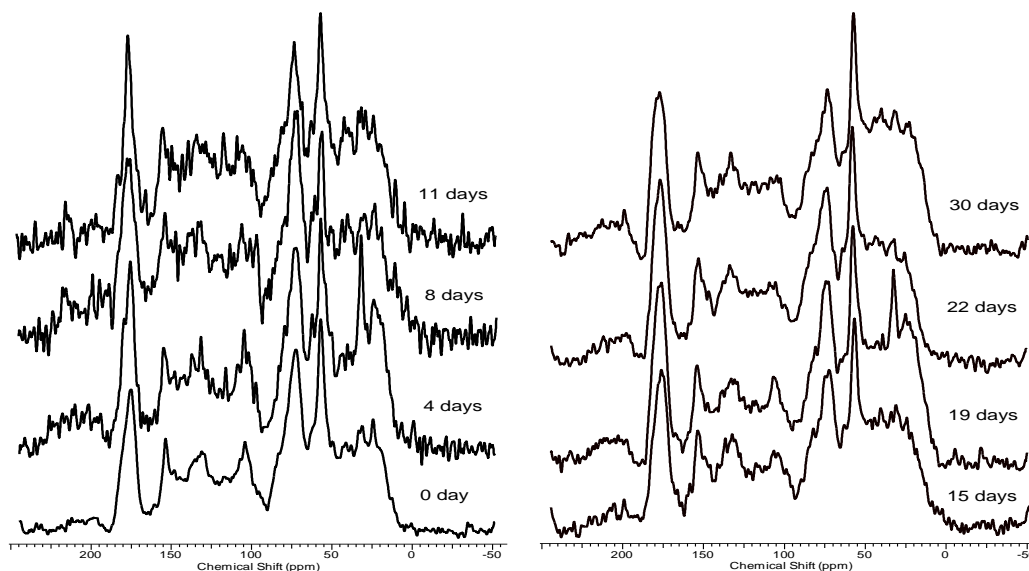


Figura 17: ^{13}C NMR CP/MAS espectros dos lixiviados nos diferentes tempos de compostagem.

Os espectros mostram sinais intensos na região de 0-45 ppm (picos entorno de 19, 20, 30, 39 e 40 ppm) característicos da presença de estruturas $-\text{CH}_3$ terminais pertencentes a cadeias alifáticas e de grupamentos acetílicos ($\text{R}-\text{C}=\text{O}^*\text{CH}_3$) além $-\text{CH}_2$ de cadeias alifáticas de polipeptídios (Figura 17). A presença de carbono pertencentes a metoxilas ($-\text{OCH}_3$) e/ou $\text{C}\alpha$ em polipeptídios ($\text{R}-\text{C}=\text{O}^*\text{CH}-\text{NH}$) estão presentes na região entre 45-60 ppm (picos entorno a 55 ppm). Nos lixiviados também foram identificados compostos de carbonos de natureza carbinol ($-\text{C}-\text{OH}$) pertencentes a fragmentos de celulose e hemicelulose e presentes na região entre 60-90 ppm (~ 73 ppm) assim como a estruturas O-alkyl de fragmentos lignínicos. A presença de carboidratos e lignina na estrutura dos lixiviados se confirma pelo sinal na região de 90-110 ppm (104 ppm) que se corresponde com o carbono anomérico ($\text{C}-\text{alky}-\text{di}-\text{O}$) e C_2 em fragmentos de guaiacyl e syringyl. A aromaticidade não funcionalizada nos lixiviados foi identificada pela presença de C aromáticos pertencentes a C_1 de fragmentos de guaiacyl e syringyl na região entre 110-142 ppm (sinal em ~ 115 , 131 e 133 ppm). Já a presença de anéis aromáticos funcionalizados Carom- (O,N) se deve a presença de sinais na região de 140-156 ppm (sinal em ~ 149 , 150 e 152 ppm). O sinal intenso em ~ 175 ppm corresponde com a abundante presença de C carboxílicos, carbono amídico e éster de origem vegetal e microbiana no lixiviado em todos os tempos, e o sinal em ~ 200 ppm com a presença de C carbonílico (Deshmukh et al., 2005; Johnson et al., 2005; Baldock e Smernik .2002; Inbar et al., 1990).

As quantidades relativas das estruturas químicas presentes nos lixiviados em função do tipo de carbono são apresentadas na figura 18. As diferenças estruturais nos lixiviados formados nos diferentes tempos da compostagem indicam tipos de estruturas menos recalcitrantes ou menos preservadas durante o processo de transformação do resíduo de poda em MO humificada (Figura 18A). Independente do tempo de compostagem é possível observar predominância de estruturas do tipo $\text{Calk}-(\text{A},\text{R})$ e baixas quantidades de estruturas do tipo $\text{CC}=\text{O}$ nos lixiviados, indicando assim predomínio de carbono mais alifáticos em

detrimento ao carbono aromático, isto corrobora com a elevada alifaticidade das amostras na figura 18B.

O índice de aromaticidade (Figura 18B) é uma forma de estimar o grau de humificação da matéria orgânica do solo, quanto maior seu valor, maior a humificação (Kavdir et al., 2005). Contudo, a relação entre teor de aromaticidade e grau de humificação nem sempre é tão direta, uma vez que materiais não decompostos, como lignina e tanino, também apresentam grupos aromáticos (Rossi, 2013). A baixa aromaticidade dos lixiviados pode ser explicado pelo processo de compostagem, talvez fosse necessário maior tempo para maturidade dos compostos.

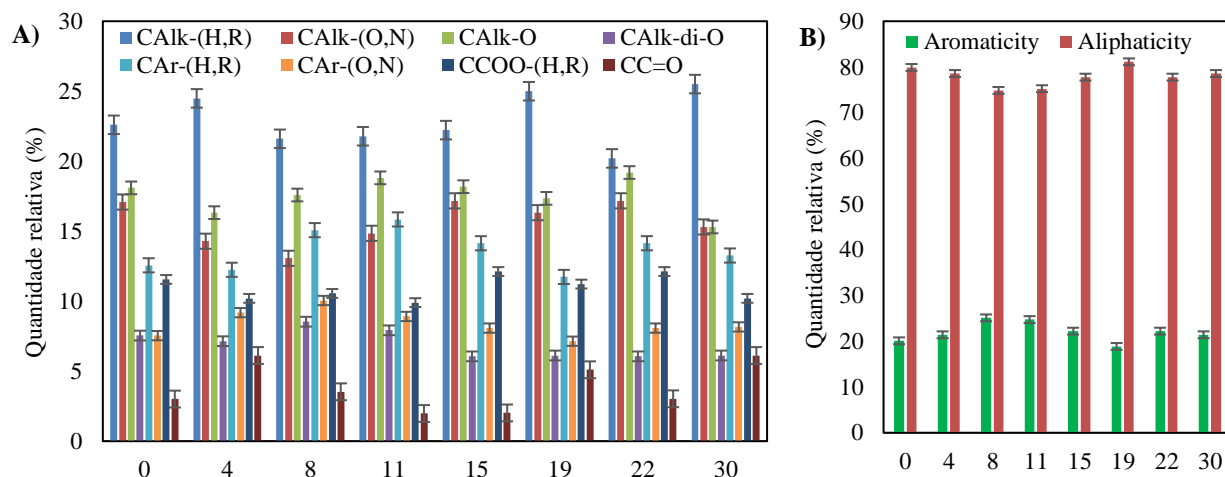


Figura 18: A) Quantidade relativa do tipo de carbono obtida a partir da integração da região em ¹³C NMR CP/MAS. B) Índice de alifaticidade e aromaticidade.

Avaliando a bioatividade de ácidos húmicos isolados de vermicomposto com diferentes tempos de incubação, Aguiar et al. (2012), observaram padrão similar a esse estudo com a predominância de sinais correspondente aos componentes C-alquila (0-45 ppm) e O-alquila (45-110 ppm), representando de 69% a 78% do total da área espectral dos diferentes vermicompostos avaliados.

Resultados semelhantes com predomínio de estruturas mais lábeis, também foram observados por Souza et al. (2019), estudando a relação entre mudanças na estrutura da matéria orgânica da cama de frango de aves e solubilidade de metais pesados durante a compostagem, constataram que o lixiviado formado inicialmente, possui predominância de H ligado ao carbono alifático hidrofílico, pois durante a fase termofílica a intensidade destes sinais diminui, e o H ligado aos carbonos alifáticos recalcitrantes e hidrofóbicos aumentam no final do composto, compreendendo fenóis derivados de lignina e carboidratos microbianos em estágios posteriores da compostagem.

3.3 Caracterização física do composto de resíduo da poda urbana (CRPU)

Kratz et al. (2013) e Abreu et al. (2017), explicitam que as propriedades físicas de um substrato são mais importantes que as propriedades químicas, visto que após o acondicionamento do substrato nos recipientes, torna-se difícil modificá-las, já as características químicas podem ser corrigidas através da adubação, irrigação e fertirrigação. Tornando-se assim, imprescindível que um substrato apresente boas características físicas, além de adequada fertilidade.

O CRPU apresentou valores para densidade úmida (DU) de 374,70 kg m⁻³ e para densidade seca (DS) de 344,46 kg m⁻³. Wendling e Gatto (2002), sugerem uma escala de valores para interpretação das principais características e/ou propriedades físicas e químicas de substratos para produção de mudas florestais, em que os valores encontrados para a densidade do CRPU encontram-se dentro da faixa média (250 a 500 kg m⁻³).

Schäfer et al. (2015) e Kämpf (2005), explicitam que valores adequados de densidade em base seca devem ser definidos conforme o tamanho do recipiente a ser utilizado, variando de 100 a 300 kg m⁻³ para bandejas multicelulares, de 200 a 400 kg m⁻³ para recipientes de até 15 cm de altura, de 300 a 500 kg m⁻³ para recipientes de 20 a 30 cm de altura e de 500 a 800 kg m⁻³ para recipientes maiores de 30 cm de altura. Abad et al. (1993), afirmam que um substrato ideal deve apresentar densidade volumétrica ou aparente inferior a 400 kg m⁻³.

O valor de DS encontrada para o CRPU, sugere que esse material pode ser usado como componente em uma mistura para formar um substrato, mas não sendo ideal como produto único. Zorzeto (2011), destaca a importância da determinação adequada da densidade volumétrica que o substrato úmido apresenta, pois pode afetar indiretamente o cálculo dos outros parâmetros físicos como porosidade, água disponível e espaço de aeração.

Caracterizando fisicamente substratos orgânicos para o enraizamento de estacas de goiabeira, Costa et al. (2017), observaram que os tratamentos com maior quantidade de composto orgânico (obtido pela compostagem de resíduos de material de limpeza do pomar, galhos, folhas e esterco bovino), apresentaram valores de 610 – 720 kg m⁻³, sendo considerados altos. Os autores argumentam que os altos valores para DS podem dificultar a manipulação das plantas, podendo causar restrição ao crescimento das raízes, já os baixos valores podem promover problemas na fixação das plantas e o tombamento, dificultando o processo rizogênico.

A densidade de um substrato também pode ser apresentada através da densidade de partícula (DP). A qual expressa a relação entre a massa de material seco e o volume real ocupado por essas partículas, não incluindo o espaço ocupado por poros, assim a DP não é afetada pela granulometria dos substratos, mas pela composição de suas partículas (Zorzeto et al., 2014).

Na análise da DP, o CRPU contém 122 kg m⁻³. Martinez (2002) e Rowell (1994), consideram como referência para substratos e solos, DP de 2,65 g cm⁻³ para substratos com partículas minerais; e DP de 145 kg m⁻³ para substratos com partículas de matéria orgânica. Sendo assim, o valor encontrando para o CRPU está abaixo do valor considerado pelos autores.

Avaliando métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas em três tipos de turfa *in natura* (preto, marrom e vermelho), e três substratos comerciais de casca de pinus e vermiculita (sendo um substrato para horticultura, um para mudas florestais e um para tabaco), Fermino (2003), encontrou valores de DP abaixo do recomendado para todos os substratos, sendo o maior valor (127 kg m⁻³) apresentado pela turfa preta. A autora confere o valor de DP da turfa preta, ao alto grau de humificação do material, por ser o mais humificado dentre os substratos testados.

Em contrapartida, Zorzeto et al. (2014), também comparando métodos de caracterização física em diferentes substratos, atestaram que diferentes métodos de determinação da DP produzem diferentes resultados, sendo necessário padronização da metodologia. A autora encontrou valores acima do recomendado para todos substratos (orgânicos), dentre todos os dois tratamentos a base de casca de pinus pura e sua mistura apresentaram os maiores valores (181 kg m⁻³ à 207 kg m⁻³).

A porosidade total apresentou média de 87%, classificada como alta, porém muito próxima a adequada. De acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), a faixa adequada de porosidade dos substratos é de 75 a 85%. Costa et al. (2017), pressupõe uma melhor aeração,

infiltração de água e drenagem para os substratos com valores de porosidade próximos ao valor adequado.

Para uma boa avaliação da qualidade física de um substrato, é necessário que a porosidade total seja interpretada de forma fragmentada entre o espaço de aeração (EA) ou macroporosidade e microporosidade, correlacionando estes à proporção de poros ocupados por água e ar (Abreu et al., 2017).

O EA teve valor de 32%, considerado médio (20 – 40%) e a microporosidade apresentou valor de 60%, considerado alto, porém próximo a faixa adequada: 45 – 55%, de acordo com o material referencial. Podendo indicar que o CRPU possui uma alta capacidade de retenção de água (CRA) e nutrientes, devido a alta microporosidade, e possui uma média aeração e capacidade de drenagem, devido a média macroporosidade. Substratos com maior microporosidade (> CRA) requerem maior rigor no controle da irrigação, a fim de evitar encharcamento (Gonçalves et al., 2000).

Zorzeto (2011) e Fermino (2003), citam que o tamanho das partículas possui influência determinante sobre o volume de água e ar do substrato, sendo que altas proporções de partículas maiores tornam o meio com amplo espaço de aeração, podendo ocasionar condições de deficiência hídrica às plantas (Costa et al., 2017), enquanto as partículas menores fecham os poros, aumentando a capacidade de retenção de água (Abreu et al., 2017) e diminuindo o espaço de aeração.

Quanto às características da disponibilidade de água, o valor de água facilmente disponível (AFD) foi de 8%, abaixo dos valores considerados ótimos (20 e 30%), segundo De Boodt e Verdonck (1972). Kratz et al. (2013), estudando as propriedades físicas e químicas de substratos renováveis, observaram que uma granulometria maior nos substratos diminui o teor de água disponível, devido a rápida drenagem, devendo-se priorizar uma frequência maior de irrigação.

Para De Boodt e Verdonck (1972), água tamponante (AT) ou água de reserva é o volume de água liberado entre 50 e 100 cm de tensão (50 e 100 hPa). Os autores estimam que a faixa de 4 a 10%, seja um valor de referência. Sendo o volume liberado acima desta tensão considerado água dificilmente disponível (ADF), remanescente ou residual. O CRPU apresentou AT = 1%, estando abaixo do adequado. Porém, nesse estudo a faixa de tensão aplicada foi entre 50 e 78 cm, menor que a recomendada na literatura (50 e 100 cm), podendo ter ocasionado a subestimação do valor de AT.

Em estudos com aproveitamento dos resíduos da produção de conserva de palmito como substratos para plantas, Fermino et al. (2010), encontraram valores de AFD e AT menores que 1%, considerando-os insignificantes, indicando que estes materiais não disponibilizam água para as plantas em cultivo.

O CRPU apresentou a mesma tendência da AFD, para o valor de água disponível (AD) encontrando-se abaixo ($0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) do valor de referência ($0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) sugerido por De Boodt et al. (1974). Como esse valor é obtido através da liberação de água entre as tensões 10 e 100 cm, também pode ter sido subestimado, devido a faixa de tensão utilizada ter sido inferior.

O resultado de AD para o CRPU, mostra que essa variável é quase que integralmente constituída pela AFD, uma vez que quase não apresentou diferença na liberação de água entre as tensões de 50 a 78 hPa comparada as tensões de 10 a 50 hPa. Costa et al. (2017), descreve que os baixos valores de AFD e AD nos substratos com maior proporção de composto orgânico, evidenciam a contribuição da matéria orgânica, por possuir maior quantidade de microporos, em proporcionar maior adsorção de água.

Com relação a capacidade de retenção de água (CRA), o CRPU apresentou altos valores de água retida em todas as tensões (CRA_{10} , CRA_{50} e CRA_{78}), como pode ser observado na Figura 19. Ressaltando que, quanto maior for o volume de água disponível às

plantas a tensões mais baixas, menor será a energia necessária pelas plantas para absorvê-la (Zorzeto, 2011).

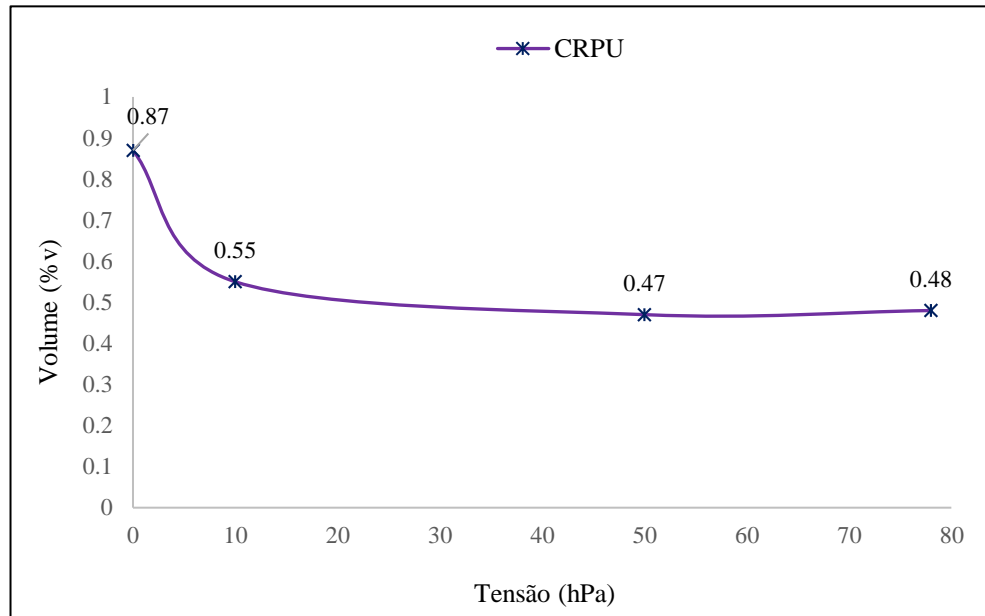


Figura 19. Curva de retenção de água do CRPU, submetido às tensões 0, 10, 50 e 78 hPa.

A retenção de água, nas tensões de 10 e 50 hPa, é uma característica positiva em relação ao armazenamento, porém é fundamental considerar que mais importante é a liberação de volumes de água suficientes às necessidades das plantas em cultivo. Nesse sentido, o volume disponível a 100 hPa é baixo e inferiores aos retidos na mesma tensão. Assim a utilização do CRPU como substrato exige um regime de irrigação mais frequente.

O tamanho das partículas de um substrato e sua distribuição, influenciam diretamente nas propriedades físicas. Caso a granulometria de um substrato seja muito variada, as partículas pequenas alojam-se nos espaços vazios (poros) entre as partículas maiores, reduzindo seu tamanho e conseqüentemente a PT. Simultaneamente a redução da PT, ocorrerá um aumento na quantidade de água retida, devido ao aumento de microporos.

Zorzeto et al. (2014), sugerem uma classificação para a distribuição granulométrica, sendo: frações muito grandes > 3,35 mm; grandes entre 3,35 e 2,00 mm; intermediárias entre 2,00 e 0,50 mm; finas entre 0,50 e 0,10 mm; e muito finas menores do que 0,10 mm.

O CRPU possui uma baixa amplitude entre os valores das classes, apresentando 47,26 % classificadas como grandes, 49,88% das partículas denominadas intermediárias, 2,04% do material não retido em nenhuma peneira utilizada e 0,48% de perda de material durante o processamento (Figura 20).

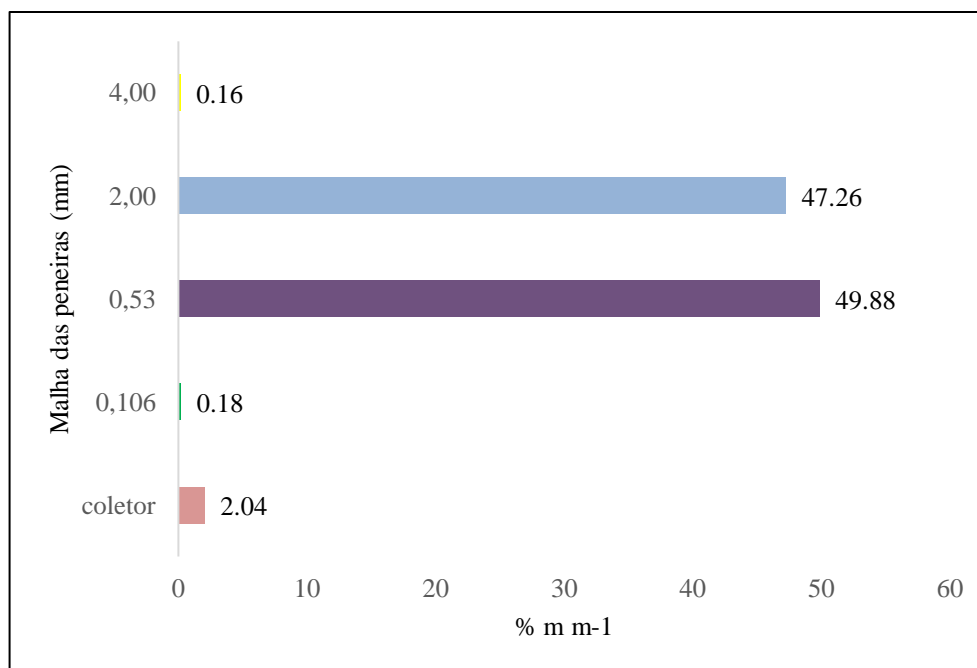


Figura 20. Análise granulométrica para o CRPU.

A predominância de frações nas classes intermediárias da granulometria, aliada a alta PT à presença de microporos, pode ser adequado, ocasionando boa aeração e retenção de água no ambiente. Em contrapartida, Fermino (2003), ressalta a necessidade de uma maior atenção e observação para a análise de granulometria considerando o formato da partícula para substratos, por serem formados em maioria por material vegetal pouco decomposto, a partícula pode passar pelas malhas no sentido de menor dimensão.

3.4 Caracterização química do composto de resíduo da poda urbana (CRPU)

Os valores de pH do CRPU determinados nas amostras variaram entre 6,24 e 6,74 obtendo-se uma média de 6,56 de pH em água. O valor encontrado ao final do processo de compostagem, é indicativo de um composto que não se encontra em um estado avançado de decomposição. O composto em sua fase de maturação apresenta valores de pH entre 7 e 8, indicando o término do processo de compostagem (Burle et al., 2018).

O início do processo de compostagem é caracterizado pela formação de ácidos minerais e gás carbônico, podendo tornar o material mais ácido (valores de pH de 5,0 a 6,0), em seguida são substituídos por ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino, atingindo valores de 8 a 8,5, devido a decomposição das proteínas bem como pela eliminação do gás carbônico (Reis, 2005).

O pH influencia tanto na solubilidade, quanto na disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Epsteins e Bloom (2006), exemplificam essa influência pelo comportamento do ferro, o qual em uma solução básica o Fe^{3+} (ferro) precipita como hidróxido de ferro ($Fe(OH)_3$) insolúvel, resultando na indisponibilidade do ferro para ser absorvido pelas plantas.

Após o término do processo de compostagem aeróbia, o valor de pH determinado encontra-se próximo da faixa de pH considerada adequada (5,5 – 6,5) pela escala de valores definida por Gonçalves e Poggiani (1996). Segundo o MAPA – Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009 (MAPA, 2009) – o valor mínimo de pH para a comercialização de compostos

orgânicos no Brasil é de 6,0. Sendo assim, o CRPU atende à legislação ao final dos 122 dias de compostagem.

Araújo Neto et al. (2009) classificaram os valores de CE para substratos em níveis: 2,0 a 4,0 dS m⁻¹ - alto; 1,0 a 2,0 dS m⁻¹ - normal; e menores que 1,0 dS m⁻¹ - baixos. O valor encontrado de CE do CRPU foi de 0,78 dS m⁻¹. Sendo considerado baixo e não indicando risco para uso como substrato (Brito et al., 2017).

A salinidade, em solos, é expressa como condutividade elétrica (CE) que representa a capacidade do meio de conduzir eletricidade; em substratos, a salinidade é expressa como teor total de sais solúveis (TTSS), que representa a concentração de sais em determinado volume de substrato, calculada como KCL (Fermino, 2003).

Segundo Kämpf (2000), os valores de TTSS podem ser classificados em níveis: < 1,0 kg m⁻³ – baixa; 1,0 – 2,0 kg m⁻³ – média ou normal; 2,0 – 4,0 kg m⁻³ – alta; 4,0 – 5,0 – kg m⁻³ – muito alta; 5,0 – 7,0 kg m⁻³ – extremamente alta; e > 7,0 kg m⁻³ – tóxica. Nesse estudo o valor encontrado para TTSS (1,52 kg m⁻³) enquadra-se na faixa de média (ou normal).

Valores excessivos de sais pode ser prejudicial para algumas espécies de plantas, devido à alta concentração de sódio e cloreto, promovendo alterações de natureza iônica, osmótica, nutricional e hormonal; por outro lado, valores baixos de condutividade elétrica podem estar associados à baixa concentração de minerais disponíveis (Castro, 2018; Sá et al., 2015).

A capacidade de troca de cátions (CTC) é outra característica química que se destaca para caracterização de substratos (Schmitz et al., 2002). Este parâmetro reflete a capacidade efetiva da troca de cátions do solo ou substrato, logo, é a capacidade do solo em reter cátions próximo ao valor de pH natural (Teixeira, 2008).

Os resultados das análises da média de 6 amostras, indicaram uma CTC efetiva de 288,19 mmol_c dm⁻³ para o CRPU, a qual, pela classificação de Gonçalves e Poggiani (1996), encontra-se em nível alto – adequado (> 200 mmol_c dm⁻³). Kiehl (1985), salienta que a estabilização e humificação da matéria orgânica aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), podendo atingir valores entre 200 e 400 me/100g.

A relação C/N é um parâmetro essencial tanto para condução do processo de compostagem quanto para caracterizar o substrato, pois indica o tempo necessário da compostagem até a cura do composto e a forma como os materiais orgânicos se encontram ao final do processo (Da Ros et al., 2015; Rocha et al., 2015; Valente et al., 2009).

Um produto umificado apresenta relação C/N entre 8:1 a 12:1 e o produto semicurado (ou bioestabilizado) está entre 13:1 e 18:1, podendo assim ser utilizado sem risco às plantas. Determinou-se uma relação C/N de 22:1 no CRPU, valores muito acima do considerado adequado. A IN N° 25 do MAPA (MAPA, 2009), destaca que a relação C/N não pode ultrapassar a 20 e o teor de N total deve ser no mínimo de 5,0 g kg⁻¹ para compostos orgânicos, evidenciando a deficiência de N no processo de compostagem realizado.

Quando a relação C/N muito elevada no início do processo de compostagem, os microrganismos não encontram N suficiente para a síntese de proteínas, e têm seu desenvolvimento limitado, ocasionando a necessidade de mais tempo para a completa humificação do material. Por outro lado, se a relação C/N for muito baixa, pode ocorrer grande perda de N pela volatilização da amônia.

Devido as diferenças existentes de composto para composto, Jiménez e Garcia (1989), afirmam que não pode-se dizer, com certeza, que a relação C/N igual a 20 não indique um composto bioestabilizado, ou uma relação C/N de 10 reflita um composto bioestabilizado; sugerindo utilizar uma relação entre o C/N final e o C/N inicial, se for determinado um valor menor a 0,70 para um composto com mais de 120 dias é uma medida de degradação satisfatória.

Caracterizando e avaliando o potencial de substratos formulados com biossólido na

produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Handroanthus heptaphylus* (Vell.) Mattos, Abreu et al. (2017), determinaram uma alta relação C/N (24:1) para o substrato comercial (Mecplant®) puro, esclarecendo a alta atividade de microrganismos para essas relações, pois eles passam a competir com as mudas por nutrientes, principalmente N e S. Atentando que como consequência, as mudas poderão sofrer com a deficiência destes nutrientes, a não ser que a adubação, principalmente de cobertura, seja realizada de forma bastante criteriosa (Gonçalves e Poggiani, 1996), a qual não foi realizada nesse estudo, devido a finalidade do experimento.

Na tabela 2 são apresentados os teores das análises de nutrientes e metais pesados do CRPU.

Tabela 2. Concentração dos indicadores do potencial agrícola observado no composto de resíduo de poda urbana (CRPU) proveniente da ETR Caju, Rio de Janeiro – RJ.

Determinações	Unidade	Concentração
Nitrogênio total	%	1
Carbono total	%	22
Fósforo assimilável	mg dm ⁻³	87,09
Potássio trocável	cmol _c dm ⁻³	0,93
Cálcio trocável	cmol _c dm ⁻³	15,30
Magnésio trocável	cmol _c dm ⁻³	4,00
Sódio trocável	cmol _c dm ⁻³	0,26
Cádmio	mg kg ⁻¹	0,983
Zinco	mg kg ⁻¹	29,317
Chumbo	mg kg ⁻¹	0,00
Níquel	mg kg ⁻¹	0,233
Cromo	mg kg ⁻¹	0,48

De uma forma geral, no CRPU foram quantificados baixos valores para os nutrientes, com exceção do N e Ca, classificados como adequados e o teor de C com valor acima do recomendado (Tabela 1) segundo Gonçalves e Poggiani (1996). Porém, deve-se ressaltar que a classificação realizada pelos autores considera a formulação de substrato pronto, e não apenas um componente isolado. Sendo assim, esses baixos teores podem ser facilmente corrigidos adicionando um outro componente, rico em nutrientes para formular um substrato.

Avaliando a composição química de onze materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas, Severino et al. (2006) observaram deficiência de nutrientes principalmente no bagaço de cana e mucilagem de sisal, atribuindo ao padrão a alta relação C/N, e ressaltando que para alguns nutrientes estarem disponíveis às plantas, é necessário alta taxa de decomposição dos mesmos. Os autores ainda concluem que entre os onze materiais estudados, nenhum possui composição química suficiente para ser utilizado como único componente na composição de substratos, pois sempre há pelo menos um elemento em baixa concentração.

Testando resíduos orgânicos (esterco bovino, esterco suíno e bagaço de cana) como substrato para produção de mudas de guanandi, Vieira et al. (2014), afirmam que as combinações não foram eficientes na disponibilização de N, Ca e Cu (cobre) em níveis adequados para as plantas, devendo-se atentar para possíveis elevações nas concentrações de macronutrientes que podem provocar sintomas de toxidez, sendo primordial ponderar na proporção dos resíduos utilizados nas combinações.

Já Baratta Junior (2007), utilizando composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas, certifica valores das análises químicas de

nutrientes compatíveis com os níveis classificados como adequados para uso destes compostos na formulação de substratos.

Com relação aos teores de metais pesados tóxicos presentes no CRPU, todos os valores estão muito abaixo dos máximos admitidos pela IN N° 27 (Cr – 500 mg kg⁻¹; Pb – 300 mg kg⁻¹; Cd – 8 mg kg⁻¹; Ni – 175 mg kg⁻¹); e em confirmado para uso agrícola segundo a norma norte-americana EPA (*Environmental Protection Agency*), para os metais cádmio, chumbo, zinco, cobre e níquel, sendo classificado como adequado para utilização como substrato.

4 CONCLUSÕES

É viável utilizar o processo de compostagem aeróbia no aproveitamento do resíduo de poda urbana sem a utilização de outras fontes orgânicas e/ou minerais.

A elevada alifaticidade e manutenção do índice de aromaticidade ao decorrer do processo de compostagem, indica a interrupção do processo antes da completa maturação do composto.

Para completa maturação do material, melhor desenvolvimento e manutenção das temperaturas, recomenda-se o aumento da quantidade de material ampliando o tamanho da pilha/leira ou diminuição das irrigações para pilhas/leiras de menor tamanho.

Dentre as características físicas analisadas, o composto produzido apresentou resultados adequados para densidade úmida, porosidade total, microporosidade e capacidade de retenção de água nas tensões 0, 10 e 50 hPa; resultados classificados como médios para espaço de aeração e densidade seca; e resultados classificados como baixos para densidade de partícula, para água facilmente disponível, água disponível, água tamponante e para capacidade de retenção de água a 78 hPa.

A caracterização química do material apresentou resultados adequados para o pH, CE, TTSS, CTC e metais pesados; e inadequados para a maioria dos nutrientes e relação C/N. O que sugere a adição de outros componentes mais férteis e/ou realizar fertilização.

Segundo a legislação, o CRPU possui características físicas e químicas apropriadas para utilização como componente na formulação de substratos, mas não como único componente.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, M.; MARTINEZ, P. F.; MARTINEZ, J. Evaluación agrónomica de los substratos de cultivo. **Actas de Horticultura**, Villaviciosa, Espanha, v. 11, p. 141-154, 1993.
- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. E *Handroanthus heptaphyllus* (vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1179 – 1190, 2017.
- AGUIAR, N. O.; OLIVARES, F. L.; NOVOTNY, E. H.; DOBBSS, L. B.; BALMORI, D. M.; SANTOS-JÚNIOR, L. G.; CHAGAS, J. G.; FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P. Bioactivity of humic acids isolated from vermicomposts at different maturation stages. **Plant and Soil**, v. 372, p.161-174, 2012.
- ASSOCIAÇÃO DE MUNICÍPIOS COVA DA BEIRA (AMCB). **Central de Compostagem, 2006**. [Online]. Disponível em < <http://www.amcb.pt/> >.
- ARAÚJO NETO, S. E.; AZEVEDO, J. M. A.; GALVÃO, R. O.; OLIVEIRA, E. B. L.; FERREIRA, R. L. F. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1408 – 1413, 2009.
- BALDOCK, J.; PRESTON, C. M. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid state ¹³C NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, p. 1061 – 1083, 1992.
- BARATTA JUNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.
- BARATTA JUNIOR, A.P.; MAGALHÃES, L.M.S. Aproveitamento de resíduos da poda de árvores do Rio de Janeiro para compostagem. **Rev. Ciênc. Agro-Ambientais**, v.8, n.1, p.113- 125, 2010
- BURLE, E. C.; ANDRADE NETO, E. C.; SANTOS, W. L.; FIGUEIREDO, R. T. Compostagem em pequena escala de resíduos orgânicos com óleos e gorduras residuais – OGR. **Ciências exatas e tecnológicas**, Aracajú, v. 4, n. 3, p. 11 – 20, 2018.
- BRITO, L. P. S.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z.; AMARAL, G. C.; SILVA, A. A.; AVELINO, R. C. Reutilização de resíduos regionais como substratos na produção de mudas de cultivares de alface a partir de sementes com e sem peletização. **La Plata**, v. 116, n. 1, p. 51 – 61, 2017.
- CAETANO, M. C. T. **Substratos orgânicos para a produção de mudas de *Tabebuia heptaphylla* irrigadas com água potável e residuária**. 2016. 75 f. Tese (Doutorado), UNESP, Jaboticabal, 2016.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 27 – 33, 2008.
- CAMPOS, A. L. O.; BLUNDI, C. E. Avaliação de matéria orgânica em compostagem: metodologia e correlações. In: Gestión ambiental en el siglo XXI, Lima. **Anais eletrônicos**. APIS, p. 1 – 17, 1998
- CASTRO, R. S. DE. **Resíduos industriais como estimuladores da biodegradação de poda de árvores**. 2018. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018.
- CORTEZ, C. L.; GRIOLI, R.; GAVIOLI, F.; COELHO, S. T.; CARMELO, S. Alternativa sustentável para utilização de resíduos de poda provenientes da manutenção das redes de distribuição de energia elétrica. In: **7º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural**, Resumo, Fortaleza, 2008.
- COSTA, J. C. F.; MENDONÇA, R. M. N.; FERNANDES, L. F.; OLIVEIRA, F. P.;

SANTOS, D. Caracterização física de substratos orgânicos para o enraizamento de estacas de goiabeira. **RBAS**, Viçosa, v. 7, n. 2, p. 16 – 23, 2017.

DA ROS, C.O.; REX, F.E.; RIBEIRO, I.R.; KAFER, P.S.; RODRIGUES, A.C.; SILVA, R.F.; SOMAVILLA, L. Uso de Substrato Compostado na Produção de Mudanças de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 4, p. 549 – 558, 2015.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 26, p. 37 - 44, 1972.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPART, I. Method for measuring the water release curve of organic substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 37, p. 2054 - 2062, 1974.

DESHMUKH, A.P., SIMPSON, A.J., HADAD, C.M., HATCHER, P.G. Insights into the structure of cutin and cutan from *Agave americana* leaf cuticle using HRMAS NMR spectroscopy. **Organic Geochemistry**, v. 36, p. 1072 – 1085, 2005.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Ed Planta, 2006. 403 p.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 104 f. Tese (Doutorado). UFRGS, Porto Alegre, 2003.

FERMINO, M. H. GONÇALVES, R. S.; BATTISTIN, A.; SILVEIRA, J. R. P.; BUSNELLO, A. C.; TREVISAN, M. Aproveitamento dos resíduos da produção de conserva de palmito como substrato para plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 282 – 286, 2010.

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D.; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. 2006. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.5, p.1397-1403, 2006.

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos**. Piracicaba: Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996. CD-ROM.

GONÇALVES, J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETTO, S. P.; MANARA, M. P.; STAPE, J. L. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p.309-350.

HAYNES, R. J.; GOH, K. M. Evaluation of potting media for commercial nursery production of container-grow plants: iV – Physical properties of a range amendment peat-based media. **N. Z. Journal of Agricultural Research**, Wellington, v. 21, n.3, p. 449-456, 1978.

INBAR, Y., CHEN, Y., HADAR, Y. Humic substances formed during the composting of organic matter. **Soil Science Society of American Journal**, v. 54, p. 1316 – 1323, 1990.

JIMÉNEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. **Biological Wastes**, Canary Islands, v. 27, p. 115 – 142, 1989.

JOHNSON, C.E., SMERNIK, R.J., SICCAMI, T.G., KIEMLE, D.K., Xu, Z., Vogt, D.J. Using ¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy for the study of northern hardwood tissues. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 35, p. 1821 – 1831, 2005.

KAVIDIR, Y., EKINCI, H., YUKSEL, O., MERMUT, A. R. Soil aggregate stability and ¹³C CP/MAS-NMR assessment of organic matter in soils influenced by forest wildfires in Çanakkale, Turkey. **Geoderma**, v. 129, p.219-229. 2005.

KÄMPF, A. N. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254 p.

KÄMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2005. 256 p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 263 p.

- KRATZ, D.; WENDLING, I. NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa – MG, v. 37, n. 6, p. 1103 – 1113, 2013.
- KIEHL, Edmar José. 1985. *Fertilizantes Orgânicos*. Piracicaba: Editora Ceres. KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4ªed. 173 f. Piracicaba, 2004.
- MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A. M. C. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. 122p. (Documentos IAC, 70).
- MARTINS, C. S.; CASTRO, P. M.; SANTOS, E. dos; Adilton Juarez b. Cunha; JUDITE, V. S.; PORTO, J. H.; THIAGO, bernardo; Rafael, C.; BERNARDO, T. **Companhia Energética de Minas Gerais**. Manual de arborização. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 2011. 112 p.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa SDA Nº 17 de 21 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 de maio 2007.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa SDA Nº. 25 de 23 de julho de 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de julho de 2009.
- OLIVEIRA, C. A; SARTORI, R. H; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP. Piracicaba, 2008. 19 p.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: Ed. UFV, 2007. 81 p.
- REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 239 f. Tese (Doutorado). UFRGS, Porto Alegre, 2005.
- ROCHA, A. J. F.; SOUZA, R. L. P.; REDA, A. L. L.; SILVA, G. T. Destinação sustentável do resíduo da poda de árvores urbanas. **Anais do XV Safety, Health and Environment World Congress**, Porto – Portugal, 2015.
- ROSSI, C. Q. **Matéria orgânica do solo e fósforo orgânico em cronossequência de cana-de-açúcar cultivada no cerrado**. 89 f. Tese (Doutorado). Pós-Graduação em Agronomia, UFRRJ, Seropédica, 2013.
- ROWEL, D. L. **Soil Science: Methods e Applications**. New York: Longman Group, 1994. 350 p.
- SÁ, F. V. S.; BRITO, M. E. B.; FERREIRA, I. B.; ANTÔNIO NETO, P.; SILVA, L. A. S.; COSTA, F. B. Balanço de sais e crescimento inicial de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L.) sob substratos irrigados com água salina. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 544 – 556, 2015.
- SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de Coffea canephora var. Conilon**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.
- SANTOS, T. C. G.; SANTOS, L. A.; XIMENES, T. C.; MELO, A. M.; EL-DEIR, S. G. Metodologia para o controle da compostagem em pequenas propriedades rurais. In: **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Porto Alegre, 11, 2015. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/III062.pdf>> Acesso em 15 dezembro 2018.
- SANTOS FILHO, R. C.; OLIVEIRA, L. C. F.; SILVA, V. M. F.; HOLANDA, E. P. T. O

aproveitamento de resíduos sólidos urbanos, por meio do processo de compostagem aeróbia enriquecida com casca de sururu. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 4, n. 3, p. 67 – 76, 2018.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 937 – 944, 2002.

SCHÄFER, G. **Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul**. 129 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre, 2004.

SCHÄFER, G.; SOUZA, P. V. D.; FIOR, C. S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. **Ornamental Horticultura**, Campinas, v. 21, n. 3, p. 299 – 306, 2015.

SEVERINO, L. S.; LIMA, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Composição química de onza materiais orgânicos utilizados em substratos para produção de mudas. **Comunicado Técnico 278** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, EMBRAPA, Campina Grande, 5 f., 2006.

SOUZA, C. C. B.; SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. A.; LIMA, J. O.; CARMO, M. G. F.; GARCÍA, A. C. Relation between changes in organic matter structure of poultry litter and heavy metals solubility during composting. **Journal os Evironmental Management**, v. 247, p. 291 – 298, 2019.

TEDESCO, MJ; GIANELLO, C; BISSANI, CA. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, p. 177-188. 1995.

TEIXEIRA, P. T. L. **Tecnologias para produção de porta-enxertos cítricos em ambiente protegido**. 148 f. UFRGS, Porto Alegre, 2008.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM Jr, B. S.; CABRERA, B .R.; MORAES, P. O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, p. 61, 2009.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Resíduos orgânicos como substrato para produção de mudas de guanandi. **UNICIÊNCIAS**, v. 18, n. 2, p. 91-97, 2014.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002.

ZORZETO, T. Q. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.)**. 110 f. Dissertação (Mestrado). Instituto Agrônômico Pós-Graduação, Campinas, 2011.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JÚNIOR, F. Caracterização física e substratos para plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, 2014.

CAPÍTULO II

Avaliação do Desenvolvimento de Mudas Utilizando Composto de Resíduo da Poda Urbana

RESUMO

A produção de mudas florestais de alta qualidade pode ser afetada por diversos fatores, dentre eles destacam-se os substratos utilizados e suas respectivas proporções nas composições. Cada vez mais, diversos materiais são utilizados para compor substratos, dentre eles os insumos de origem orgânica são fontes de nutrientes de uso mais frequente na composição de substratos, possuindo também atuação significativa na melhoria dos seus atributos físicos, químicos e estimulam processos microbianos. Diante disso, esse estudo teve por finalidade analisar o desempenho de diferentes formulações de substratos à base de resíduo da poda urbana no desenvolvimento de mudas de *Colubrina glandulosa*. Para tal, foram instalados dois experimentos, com diferentes formulações de substratos, para o primeiro experimento foram utilizados diferentes proporções de composto do resíduo da poda urbana (CRPU) e terra de horizonte A (THA) em tubete (280 cm³); e para o segundo experimento, diferentes proporções de CRPU, terra de horizonte A, esterco bovino e vermiculita em citrosote (1,7 L). Determinou-se a relação C/N, teores de carbono e nitrogênio, capacidade de retenção de água (10 hPa), condutividade elétrica, macro e microporosidade e porosidade total dos substratos antes de sua utilização. As análises de fertilidade dos substratos foram realizadas antes e após a produção das mudas. Ao decorrer do desenvolvimento das mudas foram mensuradas as variáveis altura e diâmetro de coleto a cada 30 dias. Ao final dos 120 dias (experimento I) e 90 dias (experimento II), as mudas foram segmentadas em parte aérea e raiz para determinação da massa seca de cada compartimento, índice de qualidade de Dickson (IQD), teores de nutrientes (N, P, K, Ca e Mg). Pode-se observar nos tratamentos com altas proporções de CRPU, boas características físicas, em contrapartida apresentaram também grande limitação química no desenvolvimento das mudas. Já os tratamentos à base de esterco bovino, terra de horizonte A e menores proporções de CRPU, apresentaram as maiores médias para altura, diâmetro de coleto, relação altura/diâmetro de coleto, massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, massa seca total, relação massa seca da parte aérea/massa seca de raiz e IQD. As características físicas e químicas do CRPU e THA inviabilizaram o desenvolvimento das mudas no Experimento I. Para o Experimento II, a adição de CRPU na composição dos substratos das mudas de *C. glandulosa* em menor proporção, promoveram desenvolvimento mediano - regular, sendo a formulação 10% esterco bovino, 70% terra de horizonte A, 10% composto de resíduo da poda urbana, 10% de vermiculita.

Palavras-chave: Composto orgânico; substratos; produção de mudas.

ABSTRACT

The production of high-quality forest seedlings can be affected by several factors, among them the substrates used and their respective proportions in the compositions. Increasingly, various materials are used to compose substrates, among them the inputs of organic origin are sources of nutrients most commonly used in the composition of substrates, also having significant performance in improving their physical and chemical attributes and stimulate microbial processes. Therefore, this study aimed to analyze the performance of different substrate formulations based on urban pruning waste in the development of *Colubrina glandulosa* seedlings. For this, two experiments with different substrate formulations were installed, for the first experiment different proportions of urban pruning waste compost (CRPU) and horizon A (THA) in tube (280 cm³) were used; and for the second experiment, different proportions of CRPU, horizon earth A, cattle manure and citrus pot vermiculite (1.7 L). The C/N ratio, carbon and nitrogen contents, water retention capacity (10 hPa), electrical conductivity, macro and microporosity and total porosity of substrates were determined prior to use. Substrate fertility analyses were performed before and after seedling production. During the development of the seedlings, the variables height and diameter of the collection every 30 days were measured. At the end of 120 days (experiment I) and 90 days (experiment II), the seedlings were segmented into shoot and root to determine the dry mass of each compartment, Dickson quality index (IQD), nutrient content (N, P, K, Ca and Mg). It can be observed in the treatments with high proportions of CRPU, good physical characteristics, in contrast, they also presented great chemical limitation in the development of the seedlings. On the other hand, treatments based on cattle manure, horizon A land and lower proportions of CRPU presented the highest averages for height, the diameter of collection, height/diameter of collection, shoot dry mass, root dry mass, dry mass. total, shoot dry mass/root dry mass and IQD ratio. The physical and chemical characteristics of CRPU and THA made the development of seedlings unfeasible in Experiment I. For Experiment II, the addition of CRPU in the composition of substrates of *C. glandulosa* seedlings promoted median - regular development. 10% cattle manure, 70% horizon A land, 10% urban pruning waste, 10% vermiculite.

Keywords: Organic compound; substrates; seedling production.

1 INTRODUÇÃO

Os remanescentes de Floresta Atlântica atualmente, são fragmentos florestais muito pequenos (< 5 ha), divididos em diferentes estágios sucessionais e isolados entre si, afetando a composição de espécies e processos ecossistêmicos (Camara et al., 2017). Consequentemente, a procura por mudas de espécies florestais nativas vem se destacando nas últimas décadas, devido à necessidade do cumprimento de medidas protecionistas, execução de programas de recuperação de áreas degradadas por meio do plantio de mudas arbóreas nativas e intensificação dos projetos de arborização urbana (Silva et al., 2017; Colodete et al., 2014 ; Artur et al., 2007).

Dentre as espécies florestais nativas, destaca-se a *Colubrina glandulosa* Perkins, conhecida popularmente como sobrasil, saguaraji, falso-pau-brasil, entre outros, pertencente à família Rhamnaceae. Esta espécie é uma árvore de médio porte, com altura entre 5 e 20 m, apresenta crescimento monopodial rápido à moderado, atingindo produção volumétrica de até 12,90 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos sete anos de idade (Lorenzi, 1998).

A espécie *C. glandulosa* pode ser plantada a pleno sol, propiciando a formação de um ambiente favorável para posterior desenvolvimento de espécies que necessitam de maior sombreamento e necessárias para o avanço sucessional, apresentando características favoráveis para utilização em reflorestamentos (Camara et al., 2017), restaurações florestais e para enriquecimento de vegetação secundária em áreas de preservação permanente (Lorenzi, 1998) como para sistemas agroflorestais.

Para que as espécies florestais obtenham o melhor desenvolvimento em campo, é necessário extremo cuidado na etapa antecedente, a produção das mudas em viveiro. A produção de mudas de alta qualidade pode ser afetada por diversos fatores, dentre eles destacam-se os substratos utilizados e seus respectivos volumes.

Entende-se por substrato todo material sólido, natural ou sintético, residual, mineral ou orgânico que seja distinto do solo, colocado em um recipiente na sua forma pura ou em mistura permitindo o desenvolvimento do sistema radicular, desempenhando um papel de suporte para planta (Gazola et al., 2015). A proporção de determinado substrato, em quantidades baixas ou elevadas, pode ocasionar a nulidade ou irregularidade de germinação, má formação das plantas e o aparecimento de sintomas de deficiência ou excesso de alguns nutrientes (Mesquita et al., 2012).

Os insumos de origem orgânica são fontes de nutrientes de uso mais frequente na composição de substratos, possuindo também atuação significativa na melhoria dos seus atributos físicos, químicos e estimulam processos microbianos (Artur et al., 2007). Os materiais orgânicos têm origem em resíduos vegetais, como o resíduo oriundo da poda urbana, sujeitos a decomposição, e surgem como alternativa para serem utilizados como componente de substrato e/ou fertilizantes. A atividade química desse tipo de material depende dos sítios de troca iônica, podendo adsorver nutriente do meio ou liberá-los a ele (Antunes, 2017).

Após a produção, na determinação da qualidade das mudas, as características utilizadas baseiam-se nos aspectos morfológicos e fisiológicos (Gomes et al., 2002). As características morfológicas são mais utilizadas, pois são de melhor compreensão pelos viveiristas (Mungambe, 2012; Gomes, 2001), e de mais fácil mensuração comparadas as fisiológicas. Mudanças de qualidade apresentam maior potencial de sobrevivência, crescimento pós-plantio e diminuição da frequência dos tratos culturais de manutenção do povoamento recém implantado, devido ao maior crescimento inicial (Carneiro, 1995).

Considerando a necessidade do conhecimento sobre o efeito de diferentes formulações de substratos, provenientes de resíduos, que permitam a produção de mudas florestais em quantidade e qualidade, este estudo tem por objetivo avaliar o desenvolvimento

da espécie *Colubrina glandulosa* Perkins em diferentes formulações de substratos compostos por resíduos vegetais da poda urbana.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A condução experimental foi realizada em casa de vegetação telada e não-climatizada no Departamento de Solos, no Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica – RJ, a 22° 44' e 43° 42' e 26 metros de altitude. O clima, segundo classificação de Köppen é tipo Aw sendo, tropical com verão chuvoso e inverno seco. Com a média mensal de temperaturas mínima e máxima de 20° e 29°, respectivamente (Junior et al., 2013).

O estudo foi desenvolvido em dois experimentos distintos, sendo o primeiro instalado em abril de 2018, e o segundo em novembro de 2018. Para ambos os experimentos foi utilizada a espécie *Colubrina glandulosa* (Sobrasil).

As sementes de *C. glandulosa* passaram por um processo de quebra de dormência, através da escarificação química, as quais foram cobertas com um volume de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado correspondente ao dobro do seu volume, em béquer de vidro (Brancalion et al., 2011). Após 15 minutos, o conteúdo do becker foi homogeneizado com um bastão de vidro. Transcorridos mais 30 minutos, no total de 45, as sementes foram retiradas e lavadas sob água corrente durante 10 minutos. Em seguida, foram secas a temperatura ambiente sobre bancada.

Após a etapa da quebra de dormência, as sementes foram previamente semeadas, em sementeiras preenchidas com areia lavada, irrigadas duas vezes ao dia, no Viveiro Florestal Luiz Fernando Oliveira Capellão do Departamento de Silvicultura do Instituto de Florestas da UFRRJ, onde permaneceram até a etapa de repicagem (\pm 30 dias).

2.1 Experimento I

O desenvolvimento do experimento ocorreu no período de abril de 2018 a agosto de 2018, totalizando 120 dias. A Figura 21, apresenta os valores de temperatura e umidade referente ao período de experimentação. Os dados foram obtidos da Estação Meteorológica Automática de Seropédica – Ecologia Agrícola - RJ

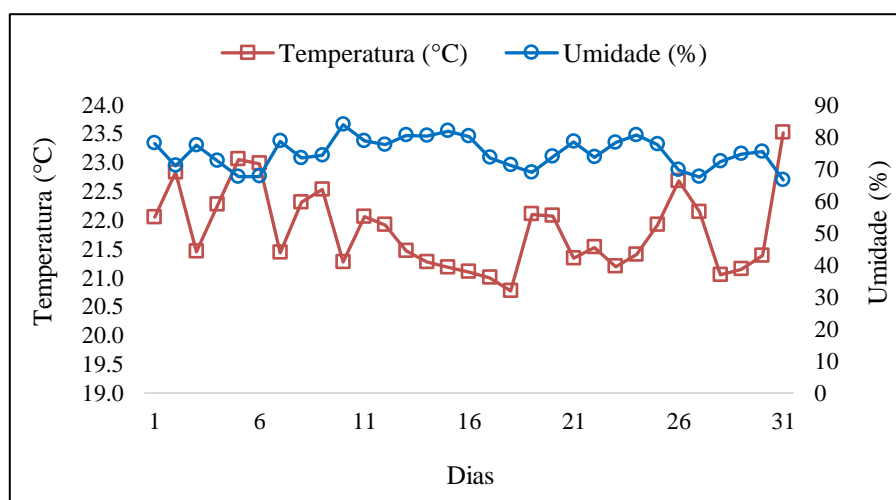


Figura 21. Temperatura e umidade média ocorridas durante a produção das mudas. Período: Abril de 2018 à Agosto de 2018.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 6 tratamentos, 12 repetições, sendo cada muda uma repetição, totalizando 72 mudas.

A fim de testar o desempenho do CRPU como substrato, para formulação dos tratamentos (substratos) foram utilizados apenas dois componentes: terra de horizonte A de um Argissolo Vermelho-Amarelo e o CRPU, conforme composição descrita na tabela 3.

Tabela 3. Componentes utilizados na formulação dos tratamentos.

Tratamento	THA	CRPU
	%	
T1	100	-
T2	90	10
T3	80	20
T4	70	30
T5	60	40
T6	50	50

Legenda: THA: terra de horizonte A; CRPU: composto de resíduo de poda urbana.

Para o preparo e mistura dos componentes, a terra foi peneirada, em peneira de 8 mm. Após, os componentes foram misturados manualmente, em uma lona plástica, até atingir uma boa homogeneização (Figura 22). As misturas foram feitas com base em volume. Após a completa homogeneização foram retiradas as amostras para posterior análise química e física.



Figura 22. Peneiramento e mistura dos componentes utilizados na formulação substratos.

O recipiente escolhido para produção das mudas foi o tubete, apresentando as seguintes dimensões: altura – 190 mm, diâmetro - 52 mm e volume – 280 cm³. Posteriormente os tubetes foram preenchidos manualmente, com as diferentes formulações de substratos previamente umedecidas, facilitando a compactação e acomodação no interior do recipiente; e dispostos em bandejas de plástico com capacidade para 54 recipientes. Não foi realizado adubação de base.

As bandejas foram alocadas em canteiros suspensos no interior da casa de vegetação. A repicagem das plântulas de *C. glandulosa* para os tubetes, foi realizada logo após o

preenchimento com os substratos, sendo uma plântula por recipiente (Figura 23). A irrigação das mudas foi feita manualmente, com regador, duas vezes ao dia, uma no início da manhã e outra ao final da tarde, e de acordo com a necessidade das mudas, através de análise visual.

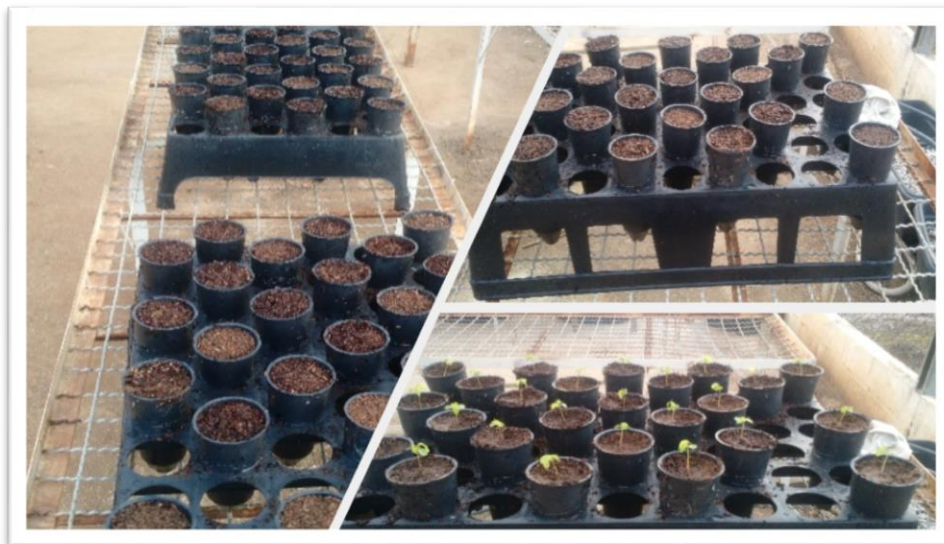


Figura 23. Tubetes preenchidos com os substratos e as plântulas repicadas.

As características físicas determinadas nos substratos foram: macroporosidade ou espaço de aeração, microporosidade, porosidade total (PT) e capacidade de retenção de água na tensão de 10 cm de coluna d'água (CRA_{10hPa}), *vide* item 2.2.4 do Capítulo I.

As análises químicas dos substratos foram realizadas antes da produção das mudas e após. Foram determinadas os valores de pH, condutividade elétrica (CE), fósforo assimilável (P), alumínio trocável (Al^{+3}), acidez extraível ($H+Al^{+3}$), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), potássio trocável (K^{+}), sódio trocável (Na^{+2}), carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N (carbono/nitrogênio). As análises foram realizadas no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo do Instituto de Agronomia da UFRRJ.

As análises de pH foram realizadas em solução de água destilada (5:1 v/v) e a CE foi determinada no mesmo extrato aquoso obtido para a medição do pH, de acordo com o método descrito por MAPA (2007). Cabe ressaltar que foram feitas três repetições para todos os parâmetros avaliados.

A determinação do C e N foi realizada por via seca, a partir de 250 mg de amostra, previamente macerada no gral de porcelana e passada em peneira de 100 msh, por oxidação a 900 °C, tendo-se C e N a 900 °C (CHN-600 Carlo Erba EA-1110, Itália). A partir desses dados calculou-se a relação C/N.

O Al^{+3} foi determinado através da extração com solução de KCl mol L^{-1} na proporção de 1:10, com indicador azul de bromotimol a 0,1% e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025 mol L^{-1} ; $H+Al^{+3}$ foi determinada com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} , ajustada a pH 7,0 na proporção de 1:15, com indicador de fenolftaleína a 1% e determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L^{-1} ; Ca^{+2} e Mg^{+2} trocáveis foram extraídos com solução KCL mol L^{-1} na proporção de 1:10, sendo obtidos por complexometria em presença do coquetel (solução tampão, cianeto de potássio e trietanolamina); o Ca^{+2} foi determinado em presença de KOH a 10%, sendo ambos titulados com EDTA 0,0125 mol L^{-1} ; o Mg^{+2} foi obtido por diferença; o P assimilável foi extraído com solução de HCL 0,05 mol L^{-1} e H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e determinado por colorimetria após redução do complexo fosfomolibidico com ácido ascórbico, em presença de sal bismuto em espectrofotômetro; K^{+}

e Na trocáveis foram extraídos com solução de HCL 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ na proporção substrato-solução 1:10 e determinado em fotômetro de chamas. Todas as análises seguiram o protocolo estabelecido por Teixeira et al. (2017).

A avaliação da qualidade das mudas e dos efeitos dos tratamentos sobre o seu desenvolvimento foram realizadas através da mensuração da altura (H), com auxílio de régua milimetrada (cm) e diâmetro de coleto (DC) utilizando paquímetro digital com resolução de 0,01 mm/0.0005” e exatidão de ±0,03 mm, a cada 30 dias até o final do experimento, sendo 30, 60, 90 e 120 dias, como pode ser observado na Figura 24.



Figura 24. Mensuração da H e DC, respectivamente, com auxílio de régua milimetrada e paquímetro digital.

Na última mensuração (120 dias), foram realizadas análises destrutivas em todas as mudas, sendo: massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR). Para determinação da massa seca, as mudas foram segmentadas em dois compartimentos: parte aérea (PA) e raiz (R) (Figura 25); os compartimentos foram lavados em água corrente, acondicionados em sacos de papel e levados para estufa de circulação forçada de ar a 65° C por 72 horas (atingindo peso constante). Em seguida, o material foi pesado em balança analítica com precisão de quatro casas decimais.



Figura 25. Muda segmentada em PA e R, aos 120 dias. Legenda: T2 R9: tratamento dois – repetição nove.

De posse das variáveis coletadas foram calculadas a relação entre altura da parte aérea e diâmetro de coleto (H/D), relação entre a matéria seca da parte aérea e matéria seca do sistema radicular (MSPA/MSR), bem como o índice de qualidade de Dickson (Dickson et al., 1960), por meio da expressão matemática:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC}\right) + \left(\frac{MSPA}{MSR}\right)}$$

Em que: IQD: índice de qualidade de Dickson; MST: massa seca total (g); H: altura das mudas (cm); DC: diâmetro do coleto (mm); MSPA: massa seca da parte aérea (g); MSR: massa seca de raiz (g).

As amostras secas de PA e R foram moídas, em moinho IKA A11 base, e pesadas alíquotas de 0,2 g submetidas à digestão sulfúrica, para posterior quantificação dos teores de nitrogênio total (N), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺²) e magnésio (Mg⁺²). Os teores de N foram obtidos por oxidação úmida em destilação por arraste a vapor; P por espectrofotometria; e de K⁺ por fotometria de chamas (Tedesco et al., 1995). Já os teores de Ca⁺² e Mg⁺² foram obtidos por espectrometria de absorção atômica.

2.2 Experimento II

O desenvolvimento do experimento ocorreu no período de novembro de 2018 à fevereiro de 2019, totalizando 90 dias. A figura 26, apresenta os valores de temperatura e umidade referente ao período de experimentação. Os dados foram obtidos por meio de um registrador de dados automático (*data logger*) “HOBO” modelo U12-012.

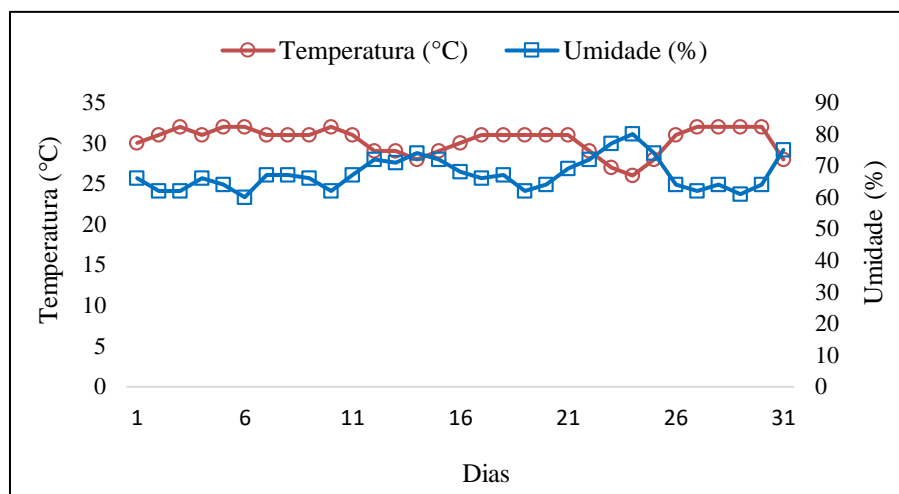


Figura 26. Temperatura e umidade média ocorridas durante a produção das mudas. Período: Novembro de 2018 à Janeiro de 2019.

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos, 20 repetições, sendo cada muda uma repetição, totalizando 100 mudas.

Para formulação dos tratamentos (substratos) foram utilizados quatro componentes: terra de horizonte A (THA) de um Argissolo Vermelho-Amarelo; CRPU; esterco bovino curtido (EB) proveniente do setor de bovino de leite da UFRRJ; e vermiculita, conforme composição descrita na tabela 4.

Tabela 4. Componentes utilizados (%) na formulação dos tratamentos.

Tratamento	EB	THA	CRPU	Vermiculita
	%			
T1	20	80	-	-
T2	-	80	20	-
T3	20	60	-	20
T4	-	60	20	20
T5	10	70	10	10

Legenda: EB: esterco bovino; THA: terra de horizonte A; CRPU: composto de resíduo de poda urbana.

Para o preparo e mistura dos componentes, o CRPU, THA e EB foram peneirados, em peneira de 8 mm. Após, os componentes foram misturados manualmente, em uma lona plástica, até atingir uma boa homogeneização (Figura 22). As misturas foram feitas com base em volume. Após a completa homogeneização foram retiradas as amostras para posterior análise química e física.

Para a produção foi escolhido um recipiente de plástico (polipropileno) reciclado e retornável, vulgarmente conhecido como “citrospot”, apresentando as seguintes dimensões: altura – 20 cm, diâmetro - 12 cm e volume – 1,7 L. Posteriormente, as embalagens foram preenchidas manualmente, com as diferentes formulações de substratos previamente umedecidas, facilitando a compactação e acomodação no interior do recipiente.

As embalagens foram alocadas em canteiros suspensos no interior da casa de vegetação (Figura 28). A repicagem das plântulas de *C. glandulosa* para os recipientes, foi

realizada logo após o preenchimento com os substratos, sendo uma plântula por recipiente (Figura 27). A irrigação das mudas foi realizada manualmente, com copo graduado de 200 ml, uma vez ao dia, no início da manhã, e de acordo com a necessidade das mudas, através de análise visual.



Figura 27. Recipientes após preenchimento e repicagem das plântulas.

As características físicas determinadas nos substratos foram: macroporosidade ou espaço de aeração, microporosidade, porosidade total (PT) e capacidade de retenção de água na tensão de 10 cm de coluna d'água (CRA_{10hPa}), *vide* ítem 2.2.4 do Capítulo I.

As análises químicas dos substratos foram realizadas antes da produção das mudas e após. Foram determinadas os valores de pH, condutividade elétrica (CE), fósforo assimilável (P), alumínio trocável (Al^{+3}), acidez extraível ($H+Al^{+3}$), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), potássio trocável (K), sódio trocável (Na^{+2}), carbono (C), nitrogênio (N) e relação C/N (carbono/nitrogênio). As análises foram realizadas no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo do Instituto de Agronomia da UFRRJ, como metodologia descrita no Experimento I.

A avaliação da qualidade das mudas e dos efeitos dos tratamentos sobre o seu desenvolvimento foram realizadas através da mensuração das características morfológicas (Figura 28 e Figura 29); determinação do índice de qualidade de Dickson (IQD) aos 60 e 90 dias; e análise química do tecido vegetal (PA e R das mudas) aos 60 e 90 dias como metodologia descrita no Experimento I.



Figura 28. Mensuração da H e DC, respectivamente, com auxílio de régua milimetrada e paquímetro digital aos 90 dias de idade das mudas.



Figura 29. Mudas segmentadas em PA e R, aos 60 dias. Legenda: T2 R5: tratamento dois – repetição cinco; T3 R9: tratamento três – repetição nove.

2.3 Análises Estatística

Os dados foram submetidos à análise de normalidade (teste de Shapiro Wilk, 5%) e homogeneidade da variância dos erros (teste de Levene, 5%). Para os dados que atenderam os pressupostos estatísticos foi realizada uma análise estatística paramétrica (teste de Tukey, 5%). Para os dados que não atenderam os pressupostos estatísticos, foi realizada uma análise estatística não paramétrica (teste de Kruskal-Wallis, 5%).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimento I

A caracterização física das formulações de substratos (tratamentos), são apresentadas na Tabela 5. Os tratamentos T4 e T5 mostraram valores de MacroP, PT e CRA classificadas como adequadas ou muito próximas ao limite da faixa adequada, segundo classificação de Gonçalves et al. (2000) e Gonçalves e Poggiani (1996). Todos os valores determinados para MicroP ficaram abaixo da faixa ideal, em contrapartida, constatou-se valores satisfatórios para CRA.

Tabela 5. Características físicas das diferentes formulações de substratos utilizados na produção de *C. glandulosa*.

Trat.	Composição (%) THA:CRPU	MacroP (EA)	MicroP	PT	CRA ₁₀
		%			m ⁻³ m ⁻³
T1	100:0	25	11	36	0,28
T2	90:10	33	15	48	0,18
T3	80:20	34	18	52	0,18
T4	70:30	43	25	68	0,30
T5	60:40	41	28	69	0,32
T6	50:50	48	33	81	0,21

Legenda: Trat.: tratamento; MacroP (EA): macroporosidade (espaço de aeração); MicroP: microporosidade; PT: porosidade total; CRA₁₀: capacidade de retenção de água.

Na tabela 6 é apresentada a caracterização química das diferentes formulações de substratos, constituídos por diferentes proporções voluméticas de composto de resíduo de poda urbana (CRPU) e terra de horizonte A (THA), utilizados no experimento antes e após a produção das mudas de *C. glandulosa*. Todos os tratamentos apresentaram baixos valores para as características analisadas, com exceção do pH, e dos teores de Ca⁺² para os tratamentos T3, T4, T5 (antes) e T6 (antes e após). Comportamento que provavelmente pode ser corrigido com a realização de fertilizações ou enriquecimento do CRPU no processo de compostagem.

Tabela 6. Análise química dos substratos antes e após a produção de mudas.

Tratamentos	pH	CE	Na ⁺¹	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al	P	V
	(H ₂ O)	mS m ⁻¹	cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³	(%)
T 1	6,20	0,140	0,126	0,136	5,6	2,6	0	15	71
T 2	6,29	0,173	0,183	0,185	8,7	2,8	0	25	68
T 3	6,39	0,233	0,148	0,241	11,4	2,8	0	35	68
T 4	6,42	0,317	0,170	0,285	11,8	2,8	0	59	71
T 5	6,41	0,330	0,139	0,277	12,6	2,9	0	68	73
T 6	6,43	0,403	0,152	0,300	12,7	2,8	0	66	72
T 1	6,05	0,117	0,043	0,057	4,9	3,5	0	5	76
T 2	6,45	0,123	0,043	0,262	6,6	3,7	0	28	75
T 3	6,51	0,123	0,104	0,410	8,4	4,1	0	7	74
T 4	6,53	0,127	0,100	0,541	9,2	4,6	0	10	73
T 5	6,55	0,137	0,091	0,564	9,5	4,5	0	12	72
T 6	6,54	0,133	0,051	0,259	11,4	4,3	0	11	68

Legenda: pH – potencial hidrogênico; CE – condutividade elétrica; Na⁺ – sódio; K⁺ –

potássio; Ca⁺² – cálcio; Mg⁺² – magnésio; Al⁺³ – alumínio; H – hidrogênio; P – fósforo; V % - saturação por bases. T1 (100% THA); T2 (10% CRPU:90% THA); T3 (20% CRPU:80% THA); T4 (30% CRPU:70% THA); T5 (40% CRPU:60% THA); T6 (50% CRPU:50% THA).

Comparando os valores iniciais dos nutrientes com os finais, observa-se que, T1 foi o único tratamento que diminuiu o valor de pH, CE e a concentração dos nutrientes após o desenvolvimento das mudas, exceto Mg⁺². Todos os outros tratamentos (T2 a T6), que continham frações do CRPU em sua formulação, apresentaram um aumento nas concentrações de K⁺, Mg⁺² e pH; e uma diminuição da CE, Na⁺, Ca⁺² e P (ressalvo P para o T2).

Baratta Junior (2007), utilizando diferentes formulações de substratos à base de: resíduos da poda compostada, solo, substrato comercial, varrição de ruas, saibro e areia para produção de mudas, apresentou os maiores valores de macronutrientes e pH para a formulação 100% composto de poda, seguido pelas formulações com predominância desse mesmo composto.

Todos os tratamentos encontram-se dentro da faixa ideal de pH e com altos valores de V% (antes e após a produção das mudas de *C. glandulosa*), porém esse resultado não corrobora com as concentrações de nutrientes determinadas. A faixa ideal de pH em substratos orgânicos, para adequada disponibilidade de nutrientes, encontra-se entre: 5,5 a 6,5; e entre 6,0 a 7,0 para substratos minerais (Antunes, 2017; Ferraz et al., 2005).

A elevação e/ou manutenção dos valores de pH e V %, pode ser em decorrência do aumento dos nutrientes na forma assimilável, devido à continuidade do processo de degradação e transformação do CRPU no interior dos recipientes. Em decorrência da menor estabilidade de seus materiais orgânicos, continuarem em decomposição e posteriormente ocorreu a liberação de seus nutrientes (Antunes, 2017)

Os tratamentos T4, T5 e T6 apresentaram altos teores de C (Tabela 7), corroborando com a preservação das estruturas mais aromáticas na compostagem do CRPU. O baixo índice de aromaticidade, mantido em níveis com poucas variações ao decorrer do processo de compostagem, observado no capítulo I (*vide* item 3.2) e predomínio da alifaticidade, ocasionado por materiais não decompostos, como a lignina presente nos galhos.

Tabela 7. Teores totais de carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) das diferentes formulações de substratos (tratamentos).

Trat.	Composição (%)	C	N	Relação C/N
	THA:CRPU			
T1	100:0	5	0,3	14
T2	90:10	8,6	0,5	16
T3	80:20	9,3	0,6	16
T4	70:30	16	0,9	17
T5	60:40	14	0,8	19
T6	50:50	21	1,1	20

Legenda: Trat.: tratamento; THA: terra de horizonte A; CRPU: composto de resíduo da poda urbana.

Com relação ao N, todos os tratamentos apresentarem valores muito abaixo (Tabela 7) do recomendado pela IN N° 25 de 5,0 g kg⁻¹ para compostos orgânicos (MAPA, 2009). Refletindo diretamente na alta relação C/N observada em todos os tratamentos (Tabela 7), segundo a classificação de Gonçalves e Poggiani (1996).

Produzindo gongocompostos e utilizando como substrato para mudas, Antunes (2017), constatou elevação nos valores de K, Ca e Mg em dois tratamentos após a produção das mudas, atribuindo esse aumento a maior relação C/N dos gongocompostos com menor período de

compostagem. Nesse estudo acredita-se que, a alta relação C/N do CRPU (22:1) associada às irrigações periódicas, tenha favorecido o desenvolvimento de microrganismos responsáveis pelo processo de decomposição.

As mudas produzidas com substratos contendo CRPU apresentaram valores médios de altura (H) da parte aérea (PA) e diâmetro de coleto (DC) significativamente inferiores no final do ciclo de produção (Tabela 6). Em função do aumento da proporção de CRPU na composição do substratos, os valores de H e DC diminuem. Os maiores valores médios encontrados foram no tratamento 1 – 100 % terra (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios de altura (H) da parte aérea e diâmetro de coleto (DC) das mudas de *C. Glandulosa* aos 30, 60, 90 e 120 dias e relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) aos 120 dias.

Tratamento	H (cm)				DC (mm)				H/DC
	30	60	90	120	30	60	90	120	
	(Dias)								
T 1	3,65 a	4,56 a	6,10 a	7,09 a	0,87 a	1,45 a	2,40 a	3,09 a	2,34 a
T 2	3,29 a	3,56 b	4,43 b	5,30 ab	0,81 a	0,90 b	1,25 a	1,90 ab	2,90 ab
T 3	3,32 a	3,30 b	3,96 b	4,50 bc	0,81 a	0,86 b	0,94 b	1,40 bc	3,33 bc
T 4	3,55 a	3,90 ab	4,37 b	4,60 bc	0,77 a	0,80 b	0,97 b	1,40 c	3,84 cd
T 5	3,49 a	3,73 b	4,06 b	4,41 c	0,77 a	0,85 b	0,89 b	1,09 cd	4,22 cd
T 6	3,69 a	3,83 ab	4,25 b	3,84 c	0,80 a	0,87 b	0,87 b	1,03 d	4,53 d

Legenda: H – altura; DC – diâmetro de coleto; H/DC – relação altura/ diâmetro de coleto; T1 (100% THA); T2 (10% CRPU:90% THA); T3 (20% CRPU:80% THA); T4 (30% CRPU:70% THA); T5 (40% CRPU:60% THA); T6 (50% CRPU:50% THA). *Valores seguidos de letras diferentes na coluna, para cada data, diferem entre si ($p < 0,05$), pelo teste de Kruskal-Wallis.

De forma geral, mesmo tendo sido verificadas diferenças significativas, as mudas de *C. glandulosa* responderam negativamente para todos os tratamentos. Considerando a avaliação aos 120 dias como a mais importante, por ser a data próximo ao seu plantio definitivo, constata-se que nenhuma muda atingiu H e DC mínimos para sobrevivência e desenvolvimento em campo, devido a baixa fertilidade dos substratos utilizados. Gonçalves et al. (2000), recomendam limites de altura entre 20 – 35 cm para verificação da qualidade das mudas. Nesse estudo, todos os tratamentos ficaram abaixo do limite mínimo para variável H (Tabela 8).

Constatou-se diferença significativa para H aos 60, 90 e 120 dias (Tabela 8). Nas três mensurações o T1 apresentou superioridade nas médias, sendo que aos 60 dias não foi verificada diferença estatística do T4 (30 % - CRPU + 70 % - THA) e T6 (50 % - CRPU + 50 % THA); e aos 120 dias do T2 (10 % - CRPU + 90 % THA).

A H da parte aérea e o DC das mudas florestais são dois parâmetros essenciais para avaliação da qualidade das mudas e estimar a sobrevivência após plantio, sendo parâmetros não destrutivos, de fácil mensuração e amplamente utilizados em diversos estudos (Lisboa et al., 2018; Berti et al., 2017; Kratz e Wendling, 2016; Toledo et al., 2015; Faria et al., 2014).

No presente estudo, com relação ao DC, a análise estatística mostrou o mesmo padrão da variável H (Tabela 8). Em que, para o T1 foi verificada superioridade em todas as mensurações, seguido pelo tratamento T2, o qual possui a menor proporção de CRPU (10%) em sua formulação.

A relação H/DC realizada aos 120 dias, apresentou diferença significativa entre os tratamentos sendo a melhor média verificada para T1 (2,34) seguido pelo T2 (2,90), como

observa-se na Tabela 8. Para Gomes e Paiva (2004), quanto menor for o valor deste índice, maior será a capacidade das mudas sobreviverem e se estabelecerem em campo. Analisando essa relação isoladamente, os tratamentos apresentaram valores aceitáveis. Porém, é uma interpretação equivocada, já que os índices não podem ser interpretados separadamente, e neste estudo, não reflete o baixo desenvolvimento das mudas.

São apresentados na Tabela 9 os valores médios de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação MSPA/MSR e índice de qualidade de Dickson (IQD).

Tabela 9. Massa seca da parta aérea (MSPA) e de raízes (MSR) das mudas de *C. glandulosa* aos 120 dias.

Trat.	Composição	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR	IQD
	THA:CRPU					
T 1	100:0	0,63 a	0,60 a	1,20 a	1,16 a	0,40 a
T 2	90:10	0,23 ab	0,13 ab	0,40 ab	1,83 bc	0,08 ab
T 3	80:20	0,10 cd	0,07 c	0,16 cd	1,60 ab	0,03 c
T 4	70:30	0,13 bc	0,63 bc	0,20 bc	2,78 c	0,04 bc
T 5	60:40	0,05 de	0,03 d	0,08 de	2,53 bc	0,01 d
T 6	50:50	0,04 e	0,03 d	0,06 e	1,26 ab	0,02 cd

Legenda: Trat. – tratamento; THA - terra de horizonte A; CRPU – composto de resíduo da poda urbana; MSPA – massa seca da parte aérea; MSR – massa seca da raiz; MST – massa seca total; MSPA/MSR – relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz; IQD – Índice de qualidade de Dickson. *Valores seguidos de letras diferentes na coluna, diferem entre si ($p < 0,05$), pelo teste de Kruskal-Wallis.

Todas as variáveis analisadas apresentaram interação significativa a 5% de probabilidade (Tabela 9). O tratamento T1 manteve a superioridade das médias para todas as características, e o T6, que possui a maior proporção volumétrica de CRPU, apresentou as menores médias para a maioria das variáveis.

Para os teores de macronutrientes nos compartimentos das mudas (PA e R), verificou-se padrão oposto às características morfológicas, em que para os tratamentos contendo o resíduo compostado verificou-se as maiores médias (Tabela 10).

Tabela 10. Análise dos teores de macronutrientes da parte aérea (PA) e raiz (R) das mudas de *C. glandulosa*.

Trat.	Composição THA:CRPU	(g kg ⁻¹)				
		N	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺
PA						
T1	100:0	13,13 d	1,11 c	0,94 b	0,88 a	0,29 b
T2	90:10	22,75 bc	4,73 b	1,66 a	0,62 a	0,86 ab
T3	80:20	28,00 a	6,50 a	1,26 ab	1,08 a	0,92 a
T4	70:30	24,50 b	5,79 ab	1,36 ab	1,24 a	0,76 ab
T5	60:40	23,63 bc	6,37 a	1,59 ab	1,33 a	0,79 ab
T6	50:50	18,46 cd	5,73 ab	1,55 ab	0,66 a	0,737 ab
R						
T1	100:0	16,63 ab	4,62 c	2,64 b	10,21 a	0,47 b
T2	90:10	21,88 a	15,46 ab	2,75 b	11,39 a	0,77 ab
T3	80:20	20,13 ab	17,47 ab	3,25 b	4,90 a	0,75 ab
T4	70:30	19,25 ab	21,09 a	5,86 a	7,42 a	0,91 a
T5	60:40	21,23 ab	19,79 a	4,32 ab	7,39 a	0,79 ab
T6	50:50	14,02 b	11,62 b	5,04 ab	4,43 a	0,67 bc

Legenda: Trat. – tratamento. THA: terra de horizonte A; CRPU: composto de resíduo da poda urbana; N – nitrogênio P – fósforo; K⁺ – potássio; Ca⁺² – cálcio; Mg⁺² – magnésio; PA – parte aérea; R – raiz. *Valores seguidos de letras diferentes na coluna, diferem entre si (p<0,05), pelo teste de Tukey.

Os maiores teores médios terem sido constatados nos compartimentos das mudas produzidas com CRPU, provavelmente são devido a maior quantidade de nutrientes disponíveis (Tabela 6) nessas formulações e às características físicas desses substratos (Tabela 5). A adequada MacroP e PT ocasionam maior aeração e menor impedância mecânica, possibilitando um melhor desenvolvimento das raízes. Em contrapartida, T1 obteve todas as características físicas abaixo dos valores mínimos (Gonçalves et al., 2000; Gonçalves e Poggiani, 1996).

Através da análise da tabela 6 verifica-se que, o T1 apresentou os menores resultados da análise de fertilidade para a maioria das variáveis antes da produção das mudas e após, sendo observados valores menores ao final do experimento. Em contrapartida, as formulações com CRPU, apresentaram maiores valores antes da produção e tendo um aumento ao final do experimento.

Dessa forma, acredita-se que as mudas de *C. glandulosa* absorveram os nutrientes assimiláveis em T1 e depois estagnaram o crescimento. Já as mudas dos tratamentos T2 a T6, mesmo com um aumento nas concentrações de nutrientes nos substratos, passaram pelo estresse de competição pelos nutrientes disponíveis, principalmente devido a falta de N (Abreu et al. 2017), com os microrganismos que deram continuidade ao processo de degradação do CRPU nos recipientes.

Na figura 30 e apresentada todas as mudas de *C. glandulosa*, produzidas nos diferentes tratamentos aos 120 dias de idade.



Figura 30. Mudanças de *C. glandulosa*, aos 120 dias de idade, produzidas em diferentes formulações de substratos. Legenda: T1 (100% THA); T2 (10% CRPU : 10% CRPU); T3 (20% CRPU : 80% CRPU); T4 (30% CRPU : 70% CRPU); T5 (40% CRPU : 60% CRPU); T6 (50% CRPU : 50% CRPU).

Os resultados das variáveis químicas e morfológicas analisadas no Experimento I, demonstraram que o CRPU não estabilizou no processo de compostagem, neste caso, não deve ser utilizado em proporções elevadas na composição de substratos e/ou como único componente. A partir do exposto verifica-se a necessidade de novos testes, para a determinação da proporção mais adequada para o uso do resíduo como componente.

Diante disso, para melhor compreensão dos resultados e avaliação do CRPU na composição de substratos, optou-se pela instalação de um segundo experimento utilizando um novo lote de sementes, recipientes, novas formulações de substratos, e estação climática.

3.2 Experimento II

Todas as composições de substratos, apresentaram valores de MacroP (espaço de aeração) adequados, em contrapartida todos também apresentaram baixos valores de MicroP, segundo a classificação de Gonçalves et al. (2000) e Gonçalves e Poggiani (1996) (Tabela 11). Os substratos T3 e T4, apresentaram as melhores propriedades físicas, sendo MacroP, PT e CRA₁₀ classificadas como adequadas (Gonçalves e Poggiani, 1996).

Tabela 11. Características físicas das diferentes formulações de substratos utilizados na produção de *C. glandulosa*.

Trat.	Composição (%)	MacroP (EA)	MicroP	PT	CRA ₁₀
	EB:THA:CRPU:V		(%)		m ⁻³ m ⁻³
T1	20:80:0:0	37	20	57	0,18
T2	0:80:20:0	33	20	53	0,18
T3	20:60:0:20	45	32	77	0,30
T4	0:60:20:20	45	35	80	0,32
T5	10:70:10:10	34	24	58	0,21

Legenda: MacroP (EA): macroporosidade (espaço de aeração); MicroP: microporosidade; PT: porosidade total; CRA₁₀: capacidade de retenção de água a 10 hPa.

Na Tabela 12 é apresentada a caracterização química das diferentes formulações de substratos constituídos das diferentes proporções volumétricas de composto de resíduo de poda urbana (CRPU), terra de horizonte A (THA), esterco bovino (EB) e vermiculita (V), utilizados no experimento antes e após a produção das mudas de *C. glandulosa*.

De forma geral, todos os tratamentos apresentaram baixos valores para as características analisadas (Tabela 12), com exceção do pH e Mg para todos os tratamentos e o Ca para T2 (antes) pela classificação de Gonçalves e Poggiani (1996).

Tabela 12. Análise química dos substratos antes e após a produção de mudas.

Tratamentos	pH (H ₂ O)	CE mS m ⁻¹	Na ⁺¹	K ⁺	Ca ⁺² cmol _c dm ⁻³	Mg ⁺²	Al	P mg dm ⁻³
T1	7,69	1,68	0,030	0,008	8,20	11,5	0	59,88
T2	6,54	0,24	0,029	0,007	14,03	7,57	0,2	19,83
T3	7,28	0,86	0,028	0,007	5,53	9,13	0	59,78
T4	6,48	0,23	0,031	0,007	7,23	8,43	0	23,79
T5	6,78	0,64	0,029	0,007	7,10	7,6	0	38,13
T1	7,40	0,88	0,024	0,006	6,43	7,65	0	72,63
T2	7,28	0,24	0,025	0,007	8,95	5,55	0	40,54
T3	7,29	0,81	0,030	0,007	6,53	9,08	0	62,22
T4	7,33	0,17	0,03	0,007	7,38	7,08	0	47,99
T5	7,25	0,46	0,029	0,007	6,7	9,23	0	36,14

Legenda: pH – potencial hidrogênionico; CE – condutividade elétrica; Na – sódio; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H + Al – acidez potencial; P – fósforo; V % - saturação por bases; T1 (20:80:0:0); T2 (0:80:20:0); T3 (20:60:0:20); T4 (0:60:20:20); T5 (10:70:10:10).

A relação C/N dos tratamentos T1, T2, T3 e T4, encontram-se fora da faixa adequada (8 a 12/1), segundo a classificação de Gonçalves e Poggiani (1996), como pode ser observado na Tabela 13. Porém, T1 e T3, obtiveram valores muito próximos ao ideal, sendo aceitáveis. Já T4, que contém em sua formulação CRPU e não contém EB, constatou-se a maior relação C/N.

Tabela 13. Teores totais de carbono (C), nitrogênio (N) e relação carbono/nitrogênio (C/N) das diferentes formulações de substratos (tratamentos).

Trat.	Composição (%)	C	N	Relação C/N
	EB:THA:CRPU:V			
T1	20:80:0:0	8	0,6	14
T2	0:80:20:0	9	0,6	16
T3	20:60:0:20	8	0,6	13
T4	0:60:20:20	10	0,6	18
T5	10:70:10:10	8	0,5	16

Legenda: Trat.: tratamento; EB: esterco bovino; THA: terra de horizonte A; CRPU: composto de resíduo da poda urbana; V: vermiculita.

Observa-se pela Tabela 13, que a alteração nos componentes da formulação e suas proporções refletiram na composição química dos substratos. Sendo que, conforme foi adicionado esterco bovino na composição do substrato, menor foi a relação C/N. Os teores de N encontram-se abaixo da recomendação do MAPA (2009) (5 g kg^{-1}).

O tratamento T5, apresentou relação abaixo do recomendado para substratos, devido aos teores muito baixos de N presentes nessa formulação. Esse padrão pode ocasionar dificuldades para o desenvolvimento das mudas, pois o nitrogênio é o nutriente mais exigido entre todos os demais, quando em deficiência limita o crescimento das plantas (Berti et al., 2017).

Para as variáveis H, DC e relação H/DC, verificou-se diferença estatística para todas as datas de mensuração (Tabela 14). O T3 foi significativamente superior para H e DC aos 30 e 90 dias, seguido pelo T1 e T5. Já para a relação H/DC o tratamento T5, com a menor média, foi o mais equilibrado quanto à proporção do tamanho da parte aérea em relação a raiz. Os tratamentos T2 e T4, nos quais se observa a maior porcentagem de CRPU, foram estatisticamente inferiores para todas as variáveis, com valores médios próximos entre si, ressalvo para relação H/DC.

Tabela 14. Valores médios de altura (H) da parte aérea e diâmetro de coleto (DC) das mudas de *C. Glandulosa* aos 30, 60 e 90 dias e relação altura/diâmetro de coleto (H/DC) aos 90 dias.

Trat.	Composição (%) EB:THA:CRPU:V	H (cm)			DC (mm)			H/DC
		30	60	90	30	60	90	
		(Dias)						
T1	20:80:0:0	2,95 ab	11,23 a	18,78 a	1,04 a	3,79 a	5,75 a	3,28 b
T2	0:80:20:0	2,17 c	2,70 c	3,89 c	0,80 bc	0,89 c	1,17 c	3,45 b
T3	20:60:0:20	3,40 a	10,84 a	19,65 a	1,05 a	3,33 a	5,83 a	3,40 b
T4	0:60:20:20	2,82 b	3,16 c	3,95 c	0,76 c	0,80 c	0,95 c	4,18 a
T5	10:70:10:10	2,90 ab	7,49 b	14,62 b	0,84 b	2,52 b	5,07 b	2,89 c

Legenda: H – altura; DC – diâmetro de coleto; H/DC – relação altura/ diâmetro de coleto; EB – esterco bovino; THA – terra de horizonte A; CRPU – composto do resíduo da poda urbana; V – vermiculita. *Valores seguidos de letras diferentes na coluna, para cada data, diferem entre si ($p < 0,05$), pelo teste de Kruskal-Wallis.

O maior crescimento em H para T3 e T1, ocorreu possivelmente devido à utilização de esterco bovino na composição dos substratos, componente que propiciou um aumento na fertilidade. Em contrapartida, nos tratamentos com CRPU em maior quantidade e sem EB no substrato (T2 e T4), verificaram-se as menores médias.

Gonçalves et al. (2000), recomendam limites de altura entre 20 e 35 cm para verificação da qualidade das mudas produzidas em tubetes. Mesmo os tratamentos com melhor desenvolvimento, ainda não atingiram os limites recomendados para altura em recipiente menor. Enfatiza-se que as mudas de *C. glandulosa* foram avaliadas aos 90 dias de idade, e T3 e T1 alcançaram médias muito próximas ao recomendado (19,65 e 18,78 cm), logo acredita-se que aos 120 dias de idade as mudas, provavelmente, teriam atingido valores ideais para variável H, devido ao recipiente ser maior.

Para a variável DC, pode-se observar o mesmo padrão verificado para H, sendo os tratamentos T3 e T1 superiores, com médias de 5,83 e 5,75 mm, respectivamente; e as menores médias para T2 e T4, com 1,17 e 0,95 mm, respectivamente. O diâmetro de coleto é a característica mais indicada para avaliar a capacidade de sobrevivência da muda no campo (Delarmelina et al., 2014), devendo ser maior que 2 mm (Daniel et al., 1997). O tratamento T5, apesar de não se igualar estatisticamente a T3 e T1, apresentou valor médio superior ao mínimo estabelecido admissível para um bom desenvolvimento.

Referente a relação H/DC, sabe-se que quanto menor o seu valor, maior será a capacidade das mudas sobreviverem, pois reflete o acúmulo de reservas, resistência à dessecação pelo vento e fixação no solo, além de ser um método de avaliação não destrutivo que representa o equilíbrio de crescimento da planta, sendo um índice de robustez das mudas em viveiro (Nóbrega et al., 2007; Gomes e Paiva, 2006). Segundo Araújo et al. (2017), esta relação deve situar-se entre os limites de 5,4 a 8,1.

Considerando os limites estabelecidos por Araújo et al. (2017), nenhum tratamento apresentou relação H/DC satisfatória, porém o T4 se aproximou ao indicado, sendo 4,18. Contudo, esse tratamento não expressa um desenvolvimento satisfatório, obtendo o valor da relação próxima ao de referência pelo subdesenvolvimento tanto da H quanto do DC, em que o pequeno incremento observado para altura da parte aérea e diâmetro de coleto manteve-se em equilíbrio. Sendo assim, independente do valor obtido, essa variável não pode ser avaliada isoladamente, podendo ocasionar uma superestimativa de desenvolvimento.

Diferindo dos valores encontrados nesse estudo, Araújo et al. (2017), avaliando o crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) produzidas em substratos à base de três fontes de resíduo orgânico (poda de árvores, bagana de carnaúba e moinha de carvão vegetal) e terra de horizonte B, concluíram que a formulação com maior proporção de composto da poda de árvores (80%), promoveu o melhor desenvolvimento das mudas aos 52 dias, encontrando valores de 34,1 para H; 4,41 para DC; e 7,54 para H/DC.

Caetano (2016), verificou maior altura média e diâmetro de coleto de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* produzidas em substratos à base de composto de poda de árvores e composto de lixo, em relação as mudas produzidas com substrato comercial à base de casca de pinus. A autora ainda complementa que a proporção de ambos os compostos a serem utilizados na formação de substratos deve ser criteriosa e fundamentada em análises químicas e físicas dos mesmos, visando potencializar cada um a fim de obter o melhor desenvolvimento das plantas.

Lisboa et al. (2018), após avaliação do crescimento e qualidade de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* em substrato com esterco bovino, areia e subsolo argiloso, aos 120 dias constataram que os tratamentos contendo 21 e 28% de EB, promoveram o melhor desenvolvimento das variáveis H, DC e H/DC, corroborando com os resultados observados nesse estudo. Já Melo et al. (2014), observaram que o EB teve influência negativa no crescimento em H e DC para a espécie *Eremanthus erythropappus* (candeia), e positiva para

Eucalyptus grandis (eucalipto).

Através da análise da Tabela 15, pode-se concluir que houve diferença significativa entre os substratos testados para os períodos avaliados no peso da MSPA, MSR, MST, relação MSPA/MSR e IQD das mudas de *C. glandulosa*. Os tratamentos T1, T3 e T5 apresentaram os maiores valores para as variáveis aos 60 dias e T1 e T3 aos 90 dias, com exceção da relação MSPA/MSR.

Tabela 15. Massa seca da parta aérea (MSPA), massa seca das raízes (MSR), massa seca total (MST), relação massa seca parte aérea/massa seca raiz (MSPA/MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *C. glandulosa* aos 60 e 90 dias após repicagem.

Trat.	Composição (%) EB:THA:CRPU:V	MSPA	MSR	MST	MSPA/MSR	IQD
		(g)				
60 DIAS						
T1	20:80:0:0	2,49 a	0,90 a	3,40 a	2,77 ab	-
T2	0:80:20:0	0,04 b	0,01 c	0,05 b	4,89 ab	-
T3	20:60:0:20	2,07 a	0,80 a	2,88 a	2,54 ab	-
T4	0:60:20:20	0,02 b	0,01 bc	0,03 b	1,24 b	-
T5	10:70:10:10	1,09 a	0,36 ab	1,45 a	3,04 a	-
90 DIAS						
T1	20:80:0:0	5,83 ab	1,47 ab	7,30 ab	5,10 a	0,90 ab
T2	0:80:20:0	0,08 c	0,03 c	0,11 c	2,38 bc	0,02 c
T3	20:60:0:20	6,20 a	2,15 a	8,35 a	2,90 b	1,30 a
T4	0:60:20:20	0,04 c	0,03 c	0,06 c	1,40 c	0,01 c
T5	10:70:10:10	3,31 b	0,65 b	3,96 b	6,94 a	0,50 b

Legenda: EB – esterco bovino; THA - terra de horizonte A; CRPU – composto de resíduo da poda urbana; V – vermiculita. *Valores seguidos de letras diferentes na coluna, diferem entre si ($p < 0,05$), pelo teste de Kruskal-Wallis.

Nota-se que os resultados da massa seca estão relacionados diretamente com o desenvolvimento das mudas, pois os tratamentos T1 e T3, proporcionaram as médias significativamente superiores quando comparados aos demais, seguidos por T5. O maior desenvolvimento das raízes promove maior exploração do substrato e com isso, maior absorção de água e nutrientes, consequentemente um melhor desenvolvimento das mudas (Resende et al., 1995).

Novamente, os tratamentos com maior proporção de CRPU, foram aqueles que apresentaram os menores valores para todas as variáveis morfológicas (Tabela 15), sendo exceção T2 para a relação MSPA/MSR. No entanto, para o tratamento T5 (10:70:10:10), verificaram-se valores medianos para as variáveis, igualando-se estatisticamente a T1 e T3 para todas as características aos 60 dias e aos 90 em MSPA/MSR. A partir desses resultados constatou-se a tolerância das mudas de *C. glandulosa* a 10% do CRPU combinados com THA, EB e V, mesmo não estando biologicamente estabilizado.

Faria et al. (2014), atribuíram os altos valores de massa observados para MSPA e MSR para mudas de *Senna alata*, aos altos teores de Ca e Mg presentes no substrato, em que o Ca é o elemento que proporciona maior crescimento do sistema radicular e o Mg possui importante papel específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e na síntese de DNA e RNA.

No entanto, a observação feita por Faria et al. (2014), não foi confirmada nesse estudo. O tratamento T2, possui adequados teores de Ca e Mg, logo mesmo os substratos com CRPU contendo alguns dos teores de nutrientes em quantidades satisfatória para o desenvolvimento

das mudas, as mesmas apresentaram crescimento limitado.

A estagnação do desenvolvimento das mudas para T2 e T4, possivelmente está ligado aos baixos teores de N (Tabela 13) e P (Tabela 12), já que o N é requerido em grande quantidade para produção de novos tecidos e junto ao P são considerados os nutrientes que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas (Marshner, 1997).

Avaliar a relação MSPA/MSR ocasiona um melhor entendimento sobre essas variáveis (Rocha et al., 2013). José et al. (2009), consideram que essa relação deve ser menor que 2,0 para que o sistema radicular tenha um tamanho suficiente para permitir o suprimento de água para parte aérea. Entretanto, Caldeira et al. (2008), indicam que esse balanço deve ser de 2:1 demonstrando adequado equilíbrio entre PA e R.

Levando-se em consideração os valores referenciais encontrados na literatura, os tratamentos com desempenho insatisfatórios (T2 e T4), estariam adequados e os tratamentos com bom desenvolvimento estão acima do desejado, ou seja, com algum dos compartimentos desproporcional ao outro. Caldeira et al. (2013), justificam que a relação MSPA/MSR é menor em ambientes de menor fertilidade, podendo ser considerada estratégia da planta para retirar o máximo de nutrientes naquela condição. Esse padrão foi observado nesse estudo, pois não houve mortalidade de nenhuma das mudas para T2 e T4.

O índice de qualidade de Dickson (IQD), considera em seu cálculo a robustez (relação H/DC) e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda (MST e relação MSPA/MSR) (Caldeira et al., 2008). Segundo Abreu (2014), quanto maior o valor do IQD, melhor é a qualidade das mudas dentro daquele lote, em que, altos valores são alcançados quando as mudas apresentam baixos valores da relação H/DC (mudas sem estiolamento), baixos valores da relação MSPA/MSR (mudas com sistema radicular capaz de suprir a parte aérea), e um alto valor de MST.

De maneira similar aos parâmetros de qualidade anteriormente avaliados, para o T3 verificou-se a maior média (1,30) para IQD, seguido por T1 (0,90) e T5 (0,50). Os valores determinados em T2 e T4 para essa variável, são considerados como insuficientes.

São apresentados na tabela 16, os teores de nutrientes determinados nos compartimentos das mudas (PA e R) de *C. glandulosa* aos 60 e 90 dias. Para os nutrientes N, P, Ca e Mg foi observado o mesmo padrão verificado para as variáveis morfológicas, sendo que o tratamento T3 apresentou os maiores valores significativos seguido por T5 e T1.

Tabela 16. Teores de macronutrientes da parte aérea (PA) e raiz (R) das mudas de *C. glandulosa* aos 60 e 90 dias.

Trat.	PA					R				
	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²
(g kg ⁻¹)										
60 DIAS										
T1	73,23 a	11,35 b	0,11 b	4,83 b	3,51 a	58,80 a	17,61 a	0,16 bc	13,62 a	8,06 ab
T2	49,9 bc	5,10 c	0,24 a	0,69 c	0,78 b	76,17 a	13,41 a	0,26 a	0,70 c	0,65 c
T3	80,97 a	14,94 a	0,09 c	7,28 ab	5,52 a	57,07 a	22,42 a	0,16 bc	19,76 a	12,35 a
T4	35,78 c	3,80 c	0,20 ab	0,90 c	0,90 b	84,43 a	18,51 a	0,23 ab	0,75 c	0,69 c
T5	64,10 ab	13,17 ab	0,09 c	8,95 a	4,24 a	55,32 a	15,11 a	0,14 c	16 ab	6,53 b
90 DIAS										
T1	63,25 a	8,70 a	0,13 b	7,34 a	3,78 a	50,66 a	16,86 b	0,08 b	14,78 b	6,32 b
T2	39 c	4,18 b	0,14 a	2,40 b	1,45 bc	66,74 a	8,78 cd	0,19 a	1,11 c	0,72 c
T3	58,20 ab	9,10 a	0,08 b	9,46 a	5,34 a	56,99 a	25,70 a	0,08 b	29,37 a	11,33 a
T4	45,01 bc	5,01 b	0,15 a	1,52 b	1,22 c	57,82 a	8,04 d	0,15 a	1 c	0,94 c
T5	51,07 ac	8,07 a	0,08 b	6,18 a	3,40 ab	50,50 a	14,47 bc	0,07 b	13,41 b	5,90 b

Legenda: Trat. – tratamento. THA: terra de horizonte A; CRPU: composto de resíduo da poda urbana; N – nitrogênio P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; PA – parte aérea; R – raiz. *Valores seguidos de letras diferentes na coluna, diferem entre si (p<0,05), pelo teste de Tukey.

Para os tratamentos T2 e T4, foram verificadas as maiores médias significativas para os teores de potássio (K), tanto na PA quanto na R nos dois períodos de avaliação. Malavolta et al. (1989), esclarecem que o K não tem função estrutural na planta, mas está associado a maior resistência das plantas quando submetidas a condições adversas, como baixa disponibilidade de água e temperaturas extremas, por conta de sua função na abertura e fechamento dos estômatos.

De maneira geral, pode-se inferir que o composto de resíduo de poda urbana contribuiu negativamente para o crescimento das mudas de *C. glandulosa*. Através da análise da figura 31, verifica-se que as mudas que receberam CRPU e maior quantidade em sua composição, apresentaram qualidade visivelmente inferior em comparação ao tratamento apenas com esterco bovino, terra de horizonte A e vermiculita. Entretanto a composição com 10% EB + 70% THA + 10% CRPU + 10% V (T5), promoveu desenvolvimento mediano para as mudas, demonstrando que o composto pode ser utilizado na formulação de substratos, porém com restrições a quantidade empregada.

Vale ressaltar também, que há uma grande diversidade genética das espécies florestais nativas, sendo necessário mais estudos a fim de abranger um maior número de espécies, pois cada uma pode requerer composição de substrato diferente por possuir uma autoecologia diferente (Abreu et al., 2017), assim como a qualidade do composto.



Figura 31. Mudanças de *C. glandulosa*, aos 90 dias de idade, produzidas em diferentes formulações de substratos. Legenda: T1 (20:80:0:0); T2 (0:80:20:0); T3 (20:60:0:20); T4 (0:60:20:20); T5 (10:70:10:10).

4 CONCLUSÕES

O composto de resíduo da poda urbana pode ser utilizado na composição de substratos, porém é necessária combinação com outros componentes para equilibrar nutrição e características físicas do substrato.

Na composição dos substratos das mudas de *C. glandulosa* a adição do CRPU promoveu desenvolvimento mediano - regular em menor proporção, sendo a formulação 10% esterco bovino + 70% terra de horizonte A + 10% composto de resíduo da poda urbana + 10% de vermiculita.

As mudas produzidas nesse estudo com composto orgânico proveniente da poda arbórea não atingiram padrão mínimo para utilização. As características físicas e químicas do composto orgânico, produzido neste estudo, e terra de horizonte A utilizados, junto a não realização da adubação de base, inviabilizaram o desenvolvimento das mudas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. E *Handroanthus heptaphyllus* (vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1179 – 1190, 2017.
- ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais da Mata Atlântica**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado). UFRRJ, Seropédica, RJ, 2014.
- ANTUNES, L. F. S. **Produção de gongocomposto e sua utilização como substrato para mudas de alface**. 86 f. Dissertação (mestrado). UFRRJ, Seropédica, 2017.
- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Revista Nativa**, Sinop – MT, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017
- ARAÚJO, E. M.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 1, p. 16 – 23, 2017.
- ARTUR, A. G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARRETTO, V. C. M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 843 – 850, 2007.
- BARATTA JUNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2007.
- BERTI, C. L. F.; KAMADA, T.; SILVA, M. P.; MENEZES, J. F. S.; OLIVEIRA, A. C. S. Crescimento de mudas de baru em substrato enriquecido com o nitrogênio, fósforo e potássio. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 26, n. 2, p. 191 – 202, 2017.
- BRANCALION, P. H. S.; MONDO, V. H. V.; COELHO, A. D. L. Escarificação química para a superação da dormência de sementes de saguaraji-vermelho (*Colubrina glandulosa* Perk. - Rhamnaceae). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 119 - 124, 2011.
- CAETANO, M. C. T. **Substratos orgânicos para a produção de mudas de *Tabebuia heptaphylla* irrigadas com água potável e residuária**. 2016. 75 f. Tese (Doutorado), UNESP, Jaboticabal, 2016.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 27 – 33, 2008.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, Viçosa, vol. 37, n. 1, p. 31 – 39, 2013
- CAMARA, R.; FONSECA JÚNIOR, A. M.; SOUSA, A. C. O.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. Q. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de *Colubrina glandulosa* Perkins. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 449 – 458, 2017.
- CARNEIRO, J. G. A. **Efito da densidade sobre o desenvolvimento de alguns parâmetros morfofisiológicos de mudas de *Pinus taeda* L. Em viveiro e após o plantio**. Curitiba: UFPR, 1985. 106 p.
- COLODETE, C. M.; DOBBSS, L. B.; RAMOS, A. C. Aplicação das micorrizas arbusculares na recuperação de áreas impactadas. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 12, n. 1, p. 31-37, 2014.
- CRUZ, F. A. DA. **Instalação e calibração de lisímetro de pesagem e determinação da evapotranspiração de referência para a região de Seropédica-RJ**. 2005. 65 f., (Dissertação, mestrado)., UFRRJ, Seropédica, 2005.
- DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOVISI, A. A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A. M.,

PINHEIRO, E. R.; SOUZA, E. F. Aplicação de fósforo em mudas de *Acacia mangium* Willd. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 163-168, 1997.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 224 – 233, 2014.

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

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, V. W.; DELARMINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Uso de resíduos orgânicos na produção de mudas de *Senna alata* (L.) Roxb. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 1, n. 3, p. 133 – 146, 2014.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Biological Sciences**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 209 – 214, 2005.

GAZOLA, T. GUALBERTO, R. DIAS, M. F.; CIPOLA FILHO, M. L.; BELAPART, D.; CASTRO, E. B. Avaliação de substratos alternativos na produção de mudas e desenvolvimento de plantas de alface. **UNIMAR Ciências**, Marília, v. 24, n. 1-2, p. 33 – 39, 2015.

GOMES, J. M. **Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubetes e de dosagens de N-P-K**. 2001. 166 f. Tese (Doutorado), UFV, Viçosa, 2001.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655 – 664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. 116 p.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: ESALQ/USP, p. 309-350, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substrato para produção de mudas florestais. In: SOLO-SUELO- CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996. Águas de Lindóia-SP. **Relação de trabalhos**. Águas de Lindóia: SLCS/SBCS/ESALQ/USP/CEA-ESALQ/USP/SBM, 1996. 1 CD ROM.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi). **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

JÚNIOR, J. F. O.; SOUZA, J. C. S.; DIAS, F. O.; GONÇALVES, I. F. S.; SILVA, M. S. Caracterização do Regime de Vento no Município de Seropédica, Rio de Janeiro (2001-2010) Characterization of Wind Regime in Seropédica. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 447– 459, 2013.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 3, p. 348 – 354, 2016.

LISBOA, A. C.; MELO JÚNIOR, C. J. A. H. TAVARES, F. P. A. T.; ALMEIDA, R. B.; MELO, L. A.; MAGISTRALI, I. C. Crescimento e qualidade de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* em substrato com esterco bovino. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, p. 1-6, 2018.

LORENZI, H. (1998) **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 2 ed. Nova Odessa, Editora Plantarum, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 251 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa SDA Nº 17 de 21 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos.

Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 de maio 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Instrução Normativa SDA Nº. 25 de 23 de julho de 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 de julho de 2009

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 1997. 889 p.

MELO, L. A.; PEREIRA, G. A.; MOREIRA, E. J. C.; DAVIDE, A. C.; SILVA, E. V.; TEIXEIRA, L. A. F. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eremanthus erythropappus* sob diferentes formulações de substrato. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 234 – 242, 2014.

MESQUITA, E. F.; CHAVEZ, L. H. G.; FREITAS, B. V.; SILVA, G. A.; SOUSA, M. V. Produção de mudas de mamoeiro em função de substratos contendo esterco bovino e volumes de recipientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 7, n. 1, p. 58 – 65, 2012.

MUNGUAMBE, J. F. **Qualidade morfológica de mudas clonais de eucalipto na fase de expedição em viveiros comerciais**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado). UFLA, Lavras, 2012.

ROCHA, J. H. T. BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, K. B. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27 – 36, 2013.

SARRUGE, J. R.; HAAG, H. P. **Análise química das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56 p.

SILVA, R. F.; MARCO, R.; ALMEIDA, H. S. GROLLI, A. L. Proporções de vermicomposto e vermiculita na produção de muda de timbaúva e angico-vermelho. **Holos**, v. 8, p. 33 – 41, 2017

TEDESCO, MJ; GIANELLO, C; BISSANI, CA. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, p. 177-188. 1995.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 3ª ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

TOLEDO, F. H. S. F.; VENTURIN, N.; CARLOS, L.; DIAS, B. A. S.; VENTURIN, R. P.; MACEDO, R. L. G. Composto de resíduos da fabricação de papel e celulose na produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PE, v. 19, n. 7, p. 711–716, 2015.

CAPÍTULO III

ESTUDO DE CASO

Desenvolvimento de Filmes Biodegradáveis para Produção de Mudanças

RESUMO

Devido à crescente necessidade de substituição dos plásticos sintéticos, os plásticos biodegradáveis surgem como alternativa sustentável para as desvantagens geradas pelas embalagens constituídas de polietileno (PE) e polipropileno (PP). Assim, esse estudo de caso teve por objetivo desenvolver uma formulação de filme biodegradável para utilização como embalagens na produção de mudas florestais. Para tal, foram desenvolvidas quatro formulações (tratamentos: F1, F2, F3 e F4) à base de carboximetilcelulose, alginato de sódio, ágar ágar e amido solúvel, diluídas em água destilada e secas à temperatura ambiente por 21 dias. Após etapa de secagem, as formulações foram submetidas à reticulação por imersão em solução de CaCl_2 (5% m/m), em dois tempos (30 e 60 minutos). Realizou-se análises, preliminares, visuais (macro e microscopicamente), de solubilidade em água (quente e fria), flexibilidade (por dobradura) nos tratamentos reticulados e não reticulados. Posteriormente, os tratamentos reticulados foram submetidos à análise de biodegradabilidade, por degradação em solo, e avaliados quanto à perda de massa (%) em diferentes tempos (7, 14, 21 e 28 dias). Todos as formulações propostas formaram filmes. Os filmes, antes da reticulação, são solúveis em água, flexíveis, transparentes e com boa homogeneização. Após a reticulação, tornaram-se parcialmente insolúveis, rugosos e apresentaram coloração alterada. Microscopicamente, F1, F2 e F3 também apresentaram alterações em superfície. Todos os tratamentos apresentaram perda de massa para o teste de biodegradação em solo, constatando-se valores de perda de: F1 – 55%, F2 – 52%, F3: 50% e F4 – 4%. Com base nos resultados obtidos preliminarmente, conclui-se que as quatro formulações possuem características biodegradáveis, podendo ser utilizadas na produção de embalagens.

Palavras chave: Biopolímero; biodegradação; recipientes biodegradáveis.

ABSTRACT

Due to the increasing need for replacement of synthetic plastics, biodegradable plastics are a sustainable alternative to the disadvantages of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) packaging. Thus, this case study aimed to develop a biodegradable film formulation for use as packaging in the production of forest seedlings. To this end, four formulations (treatments: F1, F2, F3, and F4) based on carboxymethylcellulose, sodium alginate, agar, and soluble starch, diluted in distilled water and dried at room temperature for 21 days were developed. After drying step, the formulations were subjected to crosslinking by immersion in CaCl_2 solution (5% w/w) at two times (30 and 60 minutes). Preliminary, visual (macro and microscopically) analyzes of water solubility (hot and cold), flexibility (by folding) in cross-linked and non-cross-linked treatments were performed. Subsequently, cross-linked treatments were subjected to biodegradability analysis by soil degradation and evaluated for mass loss (%) at different times (7, 14, 21 and 28 days). All proposed formulations formed films. The films, before cross-linking, are water-soluble, flexible, transparent and with good homogenization. After crosslinking, they became partially insoluble, roughened and showed altered coloration. Microscopically, F1, F2, and F3 also presented surface changes. All treatments presented mass loss for the soil biodegradation test, with loss values of F1 - 55%, F2 - 52%, F3: 50% and F4 - 4%. Based on the preliminary results, it can be concluded that the four formulations have biodegradable characteristics and can be used in packaging production.

Keywords: Biopolymer; biodegradation; biodegradable containers.

1 INTRODUÇÃO

Os vários tipos de polímeros sintéticos (plástico) representam um importante papel na transformação do estilo de vida da sociedade e muitos benefícios na qualidade de vida podem ser atribuídos aos plásticos (Bolsoni, 2001). Os plásticos sintéticos mais utilizados na vida diária desde 1940 têm sido polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli (tereftalato de etileno) (PET) e poli (cloreto de vinila) (PVC) que, apesar do avanço no processamento e fabricação, geram dois grandes problemas: o uso de fonte não renovável para obtenção de sua matéria-prima e a grande quantidade de resíduos gerada para descarte (Arthur Junior, 2011; Franchetti e Marconato, 2006).

Piccoli (2000), sugere a substituição dos polímeros convencionais pelos similares biodegradáveis como alternativa para a problemática. Os plásticos biodegradáveis são polímeros que se degradam completamente por ataque microbiano em um curto espaço de tempo, sob condições apropriadas ao meio ambiente. Possuindo também outras importantes características como serem biocompatíveis, serem produzidos a partir de recursos renováveis como açúcares e ácidos graxos e por terem propriedades termoplásticas e características físicas e mecânicas semelhantes às dos polímeros sintéticos (Arthur Junior, 2011).

Filmes biodegradáveis são produzidos a partir de compostos macromoleculares de obtenção biológica e demandam, no mínimo, o uso de um material capaz de formar uma matriz com estrutura contínua e com interações entre suas moléculas (Correia, 2016). A escolha do material a ser utilizado para a produção dos filmes biodegradáveis depende diretamente da natureza do produto, propriedades físicas, função e da aplicabilidade. Dentre as principais matérias-primas estão as proteínas, lipídios e os polissacarídeos (Wolf, 2007).

O ágar-ágar é denominado como um fitocolóide com característica não-celulósica, que pode ser extraído da parede celular de diversos gêneros e espécies de algas marinhas vermelhas, as Agarófitas pertencentes à classe Rodophyta (Lopes et al., 2005). Segundo Fani (2008), o ágar-ágar possui uma vasta aplicação nas indústrias alimentícias, petrolífera, farmacêutica, de papel, têxtil, cosmética e na biotecnologia, devido as suas principais características e propriedades, como grande capacidade em absorver água, difícil degradabilidade por micro-organismos e consistência gelatinosa após a dissolução em água quente.

O amido é um polissacarídeo de reserva de plantas superiores e compreende duas frações de polímeros de glicose: amilose e amilopectina (98-99% do peso seco), com estruturas e funcionalidade diferentes. Mali et al. (2010), afirmam que a aplicação do amido na produção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade para formar filmes. As moléculas de amilose em solução, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de pastas opacas e filmes resistentes (Wurzberg, 1986).

Derivados hidrossolúveis de celulose possuem inúmeras aplicações devido a sua solubilidade em uma ampla faixa de solvente, sua termoplaticidade, sua atividade de superfície e acima de tudo sua alta capacidade de formação de filmes. A carboximetilcelulose de sódio (CMC) é um polímero natural, que possui a estrutura baseada no polímero de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-glucopiranosose da celulose, o qual sob condições normais, o efeito da temperatura na viscosidade é reversível ampliando o campo de aplicação (Oliveira, 2009). O alginato de sódio (AS) é um polissacarídeo de origem natural derivado principalmente de algas marinhas marrons, cuja característica estrutural consiste em cadeias lineares de $\beta(1\rightarrow4)$ -D-ácido manurônico e de $\alpha(1\rightarrow4)$ -L-ácido gulurônico.

Segundo Oliveira (2009), devido à grande semelhança estrutural, tanto o CMC quanto

o alginato de sódio podem ser utilizados na forma de filmes, géis ou hidrogéis (após reação de reticulação com cátions bi e tri valentes). Sendo utilizados na área farmacêutica em processos de encapsulação e liberação de princípios ativos, na indústria alimentícia como filmes comestíveis protetores, na indústria de cosméticos e na área agrícola como agente de liberação controlada de pesticidas e nutrientes.

Quando os filmes biodegradáveis são utilizados como suporte no encapsulamento de materiais e na utilização como embalagens, apresentam-se como barreiras, protegendo o produto de danos físicos e biológicos, a fim de aumentar sua vida útil reduzindo a perda dos nutrientes ou princípios ativos (Henrique et al., 2008).

Os viveiros de produção de mudas, em sua maioria, utilizam basicamente dois recipientes (embalagens) para a produção: sacos plásticos e tubetes que são constituídos de PE e PP. Uma alternativa para as desvantagens de ambos os recipientes sintéticos é a utilização de recipientes biodegradáveis, que possam ser colocados no solo junto com as mudas, se deterioram ao longo do tempo e são absorvidos pelo solo (Cazoti, 2011).

Nesse sentido, o objetivo desse estudo de caso consistiu em desenvolver uma formulação de filme biodegradável para futura utilização como recipientes na produção de mudas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento dos filmes biodegradáveis foram realizados no Laboratório de Tecnologia de Polímeros – Departamento de Tecnologia Química e no Laboratório de Gênese e Classificação do Solo – Departamento de Solos, situados na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ.

Ressalta-se que toda a metodologia adotada se deu por meio de testes adaptados, preliminares, para verificação da possibilidade do desenvolvimento de filmes biodegradáveis e posteriormente serão realizados os testes conclusivos para classificação dos filmes.

Para a formação dos filmes foram utilizados os seguintes biopolímeros: carboximetilcelulose (CMC), alginato de sódio (AS), amido solúvel, ágar ágar e cloreto de cálcio. Sendo produzidos pela técnica de evaporação de água (Lopez e Bodmeier, 1996).

Os filmes foram preparados através da dissolução de quantidades de CMC/AS/amido/ágar em água destilada, com temperatura de aproximadamente 90 °C, em diferentes proporções (Tabela 17). Após agitação de 1 hora, as soluções foram vertidas em placas de petri e secas a temperatura ambiente no período de 14 – 21 dias (Figura 32).

Tabela 17. Formulações propostas para produção dos filmes biodegradáveis.

Biofilmes	CMC	AS	Amido	Ágar
	(g)			
F1	4,75	4,75	0,5	0,10
F2	4,75	4,75	0,5	0,05
F3	5,00	5,00	-	0,05
F4	-	5,00	0,5	0,05

Legenda: Biofilmes – filmes biodegradáveis; AS -alginato de sódio; Ágar – ágar ágar.



Figura 32. Secagem dos filmes biodegradáveis em temperatura ambiente.

Após a completa secagem dos filmes, os mesmos foram retirados da placa de petri e separados em dois grupos de amostras para teste de solubilidade. O primeiro grupo foi devidamente acondicionado, momentaneamente, para teste sem nenhum outro tratamento; para o segundo grupo foi realizado o processo de reticulação por imersão.

Como agente reticulante foi utilizado o cloreto de cálcio (CaCl_2), solubilizado em água destilada. Preparou-se uma solução de CaCl_2 a 5% em 100 ml de água (5% m/m), posteriormente os filmes foram imersos na solução e deixados por um determinado período de tempo, sendo avaliados diferentes tempos de contato com a solução reticulante (30 e 60 minutos). Em seguida, os filmes foram retirados e secos a temperatura ambiente.

De posse dos dois grupos de filmes biodegradáveis, foram realizados os testes de solubilidade em água a frio e aquecido (aproximadamente 100°C) em ambos os grupos. As amostras foram colocadas sob a ação de água corrente por aproximadamente 15 minutos; imersas em béquer completo de água, em temperatura ambiente, durante 24 horas; e imersas em béquer com água fervente a 100°C , no período de 20 minutos.

Os filmes reticulados em CaCl_2 , foram submetidos a análise de biodegradação em solo. A avaliação da biodegradabilidade dos filmes foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Martucci e Ruseckaite (2009), com adaptações. O método baseia-se na avaliação da biodegradação dos filmes quando os mesmo são enterrados e expostos à microbiota natural encontrada no solo.

Prepararam-se quatro amostras de cada tratamento, as quais foram mensuradas utilizando paquímetro digital (resolução de 0,01 mm/0.0005" e exatidão de $\pm 0,03$ mm), apresentando dimensões de: 16 cm de comprimento, 2 cm de largura e a espessura variou por tratamento (F1: 0,13 a 0,30 mm; F2: 0,22 a 0,30 mm; F3: 0,19 a 0,30 mm; F4: 0,07 a 0,15 mm) (Figura 33). As amostras foram enterradas até 14 cm, em recipientes utilizados na produção de mudas com volume de 1,7 L (citrospote), preenchidos com terra de horizonte A e irrigados duas vezes ao dia para manutenção da umidade (Figura 34).



Figura 33. Amostras dos filmes biodegradáveis reticulados em CaCl_2 . F1 (1-1 à 1-4); F2 (2-1 à 2-4); F3 (3-1 à 3-4); e F4 (4-1 à 4-4).

Para tal, utilizou-se os primeiros 20 cm de um Argissolo Vermelho – Amarelo, com pH 6,2, contendo 456 g kg^{-1} de argila, 475 g kg^{-1} de areia e 69 g kg^{-1} de silte. O mesmo não foi esterilizado com a finalidade de manter os microrganismos vivos para atuar sobre os filmes biodegradáveis.

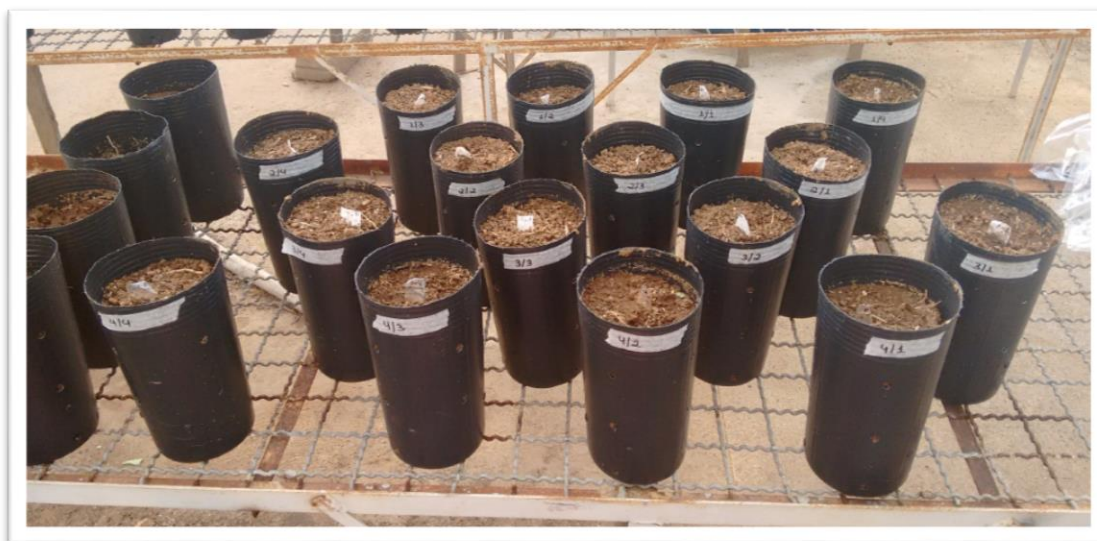


Figura 34. Amostras dos filmes biodegradáveis enterrados em terra de horizonte A para teste de biodegradação em solo.

O acompanhamento da biodegradação dos filmes foi realizada em intervalos específicos, antes de serem enterradas e após 7, 14, 21 e 28 dias. Em cada período de tempo estabelecido, uma amostra de cada tratamentos era retirada do solo cuidadosamente, lavada em água corrente para retirar os resquícios de terra, secas a temperatura ambiente por 7 dias e pesadas em balança analítica com precisão de quatro casas decimais.

O grau de biodegradação dos filmes foi determinada através da perda de massa (%),

pela equação (Nunes et al., 2016):

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{(M_{t0} - M_{ts})}{M_{t0}} \times 100$$

Em que:

M_{t0} = massa inicial – tempo 0 dias;

M_{ts} = massa após – tempos 7, 14, 21 e 28 dias.

Ao final dos testes, realizou-se análises de microscopia óptica (MO) das amostras não reticuladas, reticuladas e com 7, 14, 21 e 28 dias de exposição ao solo, em microscópio óptico da marca Olympikus CX 40 com ampliação de 250 vezes. Avaliou-se cronologicamente as alterações morfológicas na superfície das amostras resultantes da biodegradação.

Realizou-se também, teste de manuseio através de dobraduras para análise de flexibilidade e teste visual quanto a coloração e homogeneidade antes e após a reticulação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Formação dos filmes biodegradáveis

As quatro formulações propostas formaram filmes através do método adotado (Figura 35).

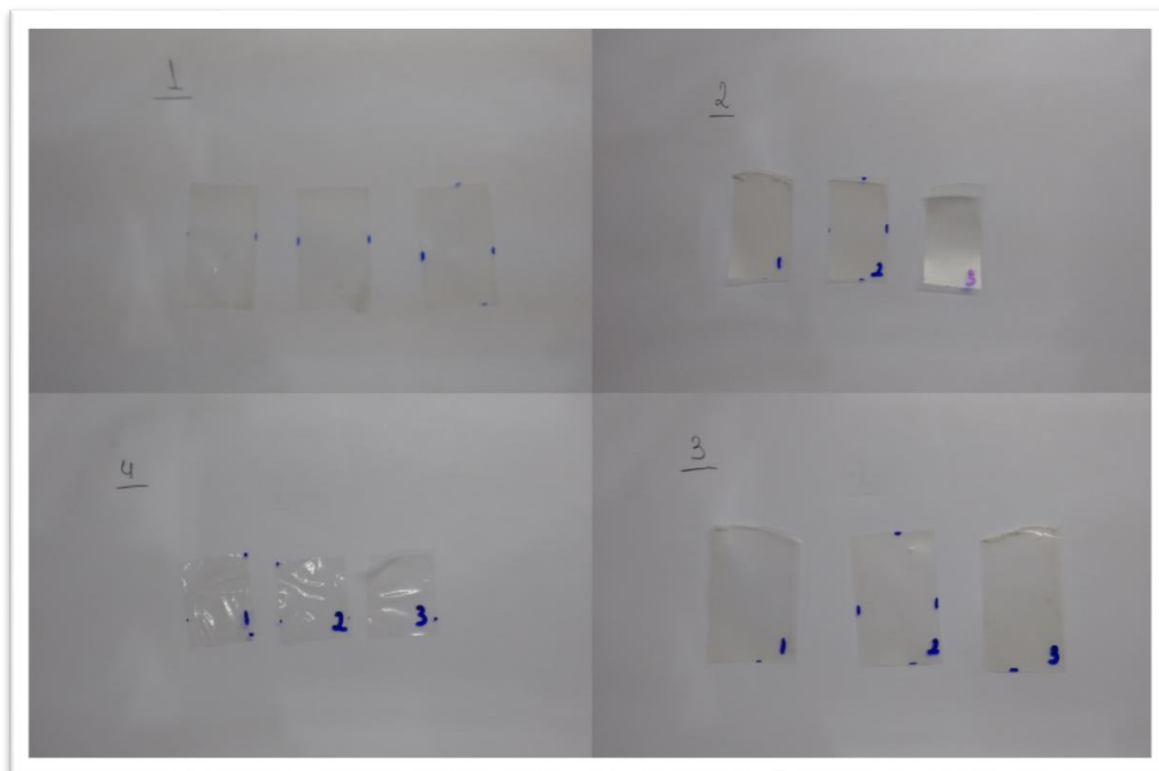


Figura 35. Filmes biodegradáveis formados a partir das diferentes formulações, sendo F1, F2, F3 e F4, respectivamente.

Observou-se por meio de análise visual e do manuseio das amostras, que todos os filmes

apresentaram características de homogeneização desejadas, antes da reticulação, sendo todos, transparentes, homogêneos e flexíveis. Para os tratamentos F3 e F4 constatou-se fácil manuseio, já os tratamentos F1 e F2 ofereceram dificuldade para retirada da placa de petri, sendo quebradiços.

Após o processo de reticulação por imersão em solução de CaCl_2 , todos os tratamentos apresentaram modificações avaliadas através da análise visual e de manuseio (Figura 36).

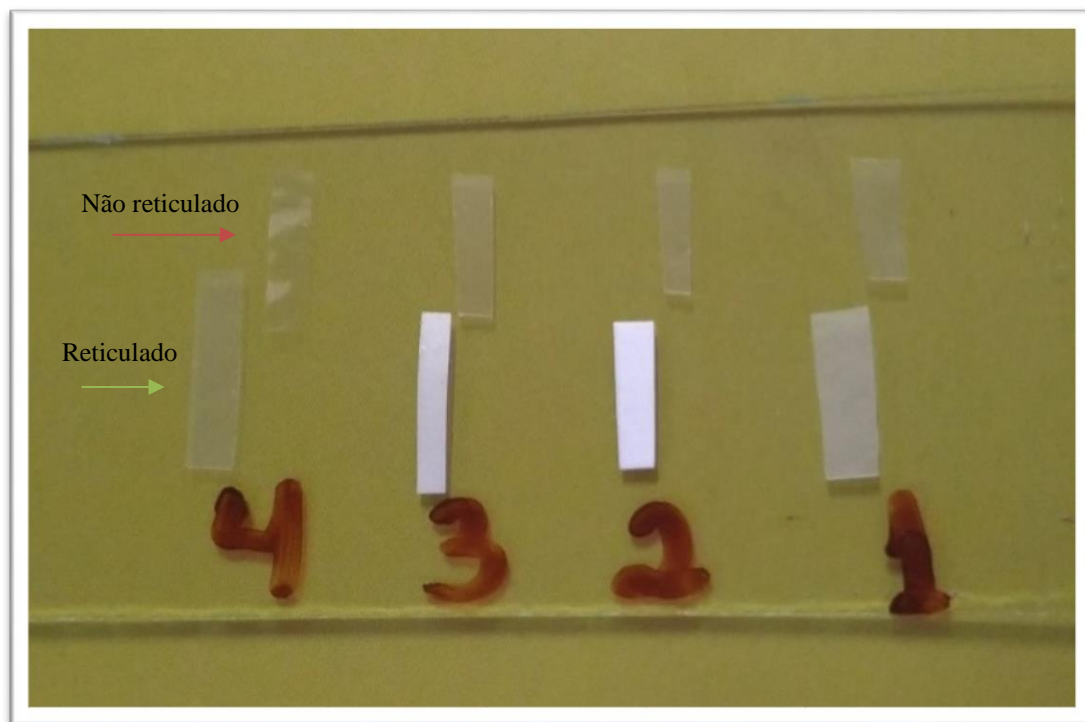


Figura 36. Filmes não reticulados na parte superior da imagem e filmes reticulados em solução de CaCl_2 na parte inferior.

Os tratamentos F2 e F3 perderam a transparência, mudando a coloração para brancos, tornando-se opacos. Já a formulação F1 apresentou uma semi-transparência e opacidade moderada, e o F4, que não possui CMC, foi o tratamento que menos apresentou alterações na coloração, permanecendo transparente. Quanto ao manuseio, todos os filmes enrijeceram, tornando-se menos flexíveis. O tratamento F4 não apresentou tantas alterações quanto os outros, sendo apenas verificadas sutis modificações.

Para as amostras submetidas à imersão em solução (30 e 60 minutos) testados para reticulação, apresentaram as mesmas características visuais e de manuseio realizadas nos filmes. O efeito do tempo de imersão sobre a solubilidade em água dos filmes torna-se menos pronunciados a partir de 30 minutos, podendo indicar início da saturação das cadeias de alginato por íons cálcio (Turbiani et al., 2009; Galiotta et al., 1998).

Com relação às análises de solubilidade em água a quente e frio, todos os tratamentos apresentaram o mesmo padrão. Sendo completamente solúveis antes da reticulação, dissolvendo em poucos segundos quando em contato com a água e insolúveis após o tratamento em solução de CaCl_2 . Inferindo uma efetividade do processo de reticulação, tornando a estrutura dos filmes mais resistentes, característica desejada para que ocorra uma durabilidade dos recipientes no período de produção em viveiro.

Turbiani et al. (2009), avaliando diferentes controles de reticulação em processo de produção de filmes plásticos biodegradáveis de alginato de sódio, salientam que a solubilidade em água dos filmes tende a diminuir com o tempo de exposição dos mesmos aos íons cálcio,

devido à formação de redes tridimensionais mais compactas, dificultando a penetração das moléculas de água.

A figura 37, mostra as alterações ocorridas na superfície dos filmes biodegradáveis após a reticulação.

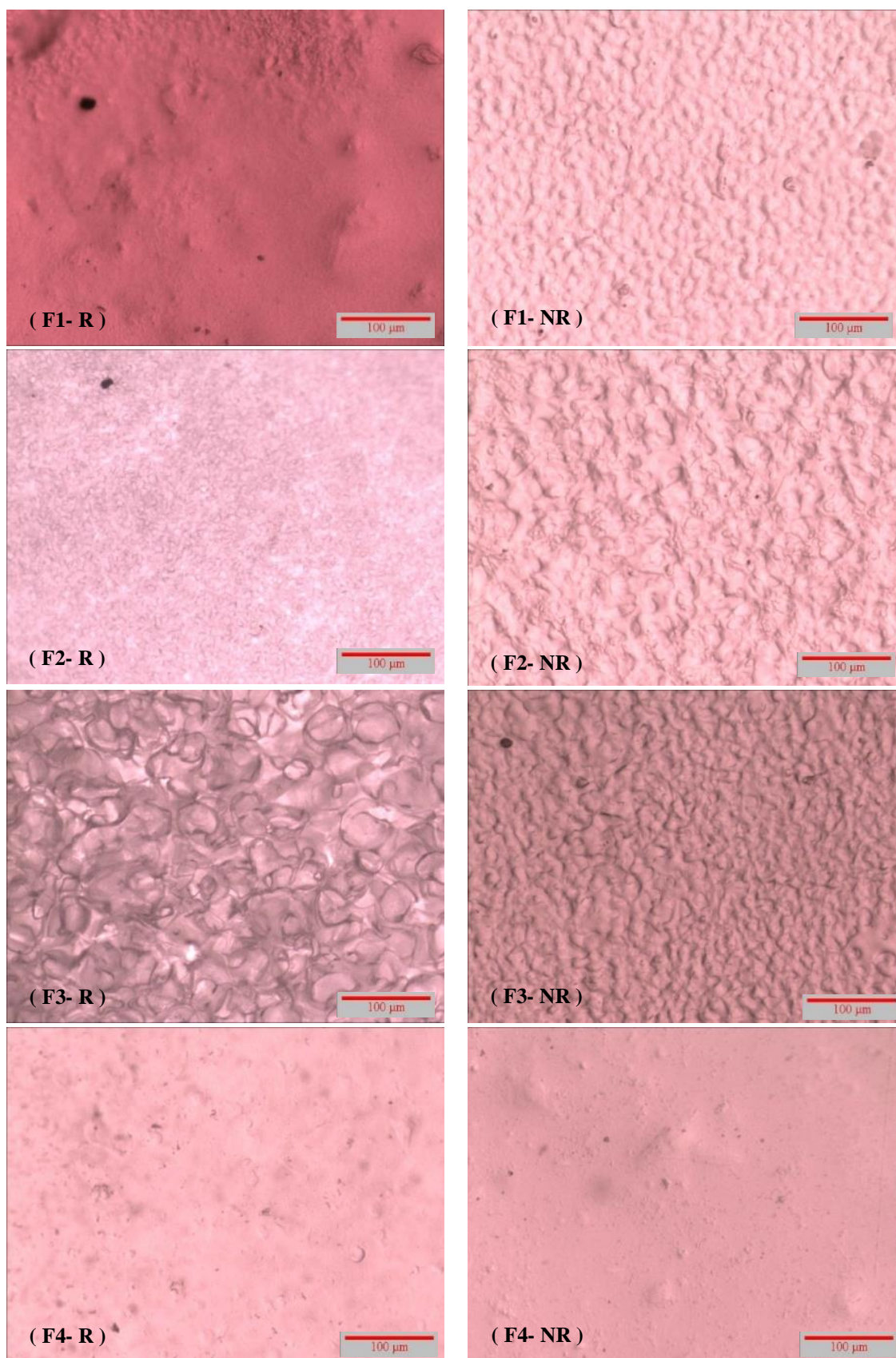


Figura 37. Microscopia óptica da superfície dos filmes antes e após reticulação por imersão em solução de CaCl_2 , em sequência F1, F2, F3 e F4. (R – Reticulada), (NR- Não reticulada).

Nota-se nos tratamentos F1 e F2, antes da reticulação, que há uma miscibilidade entre os componentes, porém ainda é possível perceber a existência de diferentes fases. Após o processo de reticulação, a miscibilidade aumenta, mas ainda percebe-se uma certa incompatibilidade de um dos componentes da formulação, não sendo possível identificar somente pela microscopia óptica (MO).

Avaliando o tratamento F3, é possível observar que a imiscibilidade aumenta, quando comparado as outras formulações, pois sem a adição do amido ocorreu a predominância de uma das fases, e esse domínio aumenta após o processo de reticulação. Em contrapartida, o tratamento F4, o qual não possui CMC, não é possível observar nenhuma das fases, sugerindo uma maior compatibilidade entre os componentes, ou seja, maior miscibilidade. Com isso, destaca-se a importância do amido para uma melhor homogeneização das formulações propostas, devido a sua alta compatibilidade com os demais componentes.

As observações feitas através da MO corroboram com as análises macroscópicas, pois a opacidade está diretamente ligada à separação de fases e/ou formação de cristais. Sendo, quanto maior a opacidade, maior será a imiscibilidade das fases, não permitindo a passagem de luz.

Zanela et al. (2015); Fakhoury et al. (2012); Garcia et al. (2006); entre outros estudos de produção de filmes biodegradáveis, observaram um aumento da opacidade dos materiais com o aumento da proporção de amido nas composições poliméricas, concluindo que o amido produz filmes mais opacos.

Por outro lado, Almeida et al. (2013), produziram filmes de amido de batata e celulose microbiana plastificados com glicerol pela técnica *casting* e observaram uma maior opacidade nos filmes em função do aumento da concentração de celulose microbiana, verificando que o amido não foi o fator importante na opacidade, mas sim o processo de produção dos materiais.

Segundo Nunes et al. (2016), estudos microscópicos são muito úteis para estimar mudanças que ocorrem na estrutura e composição dos materiais expostos a processos naturais, incluindo a degradação física, química e biológica. As mudanças ocorridas nos tratamentos F1, F2 e F3 são visíveis à microscopia óptica (Figura 37), em contrapartida para F4 não foi possível observar alterações. Faz-se necessário uma análise microscópica mais precisa para que seja possível afirmar quais componentes possuem maior compatibilidade e o quanto isso afeta no grau de solubilidade.

3.2 Biodegradabilidade dos filmes

A biodegradabilidade dos filmes está diretamente relacionada à solubilidade, pois quanto mais solúvel for o filme, maior será a sua degradação em contato com a água e com os microrganismos contidos no solo. Na Figura 38 são apresentados a aparência dos filmes ao decorrer dos 28 dias de avaliação.

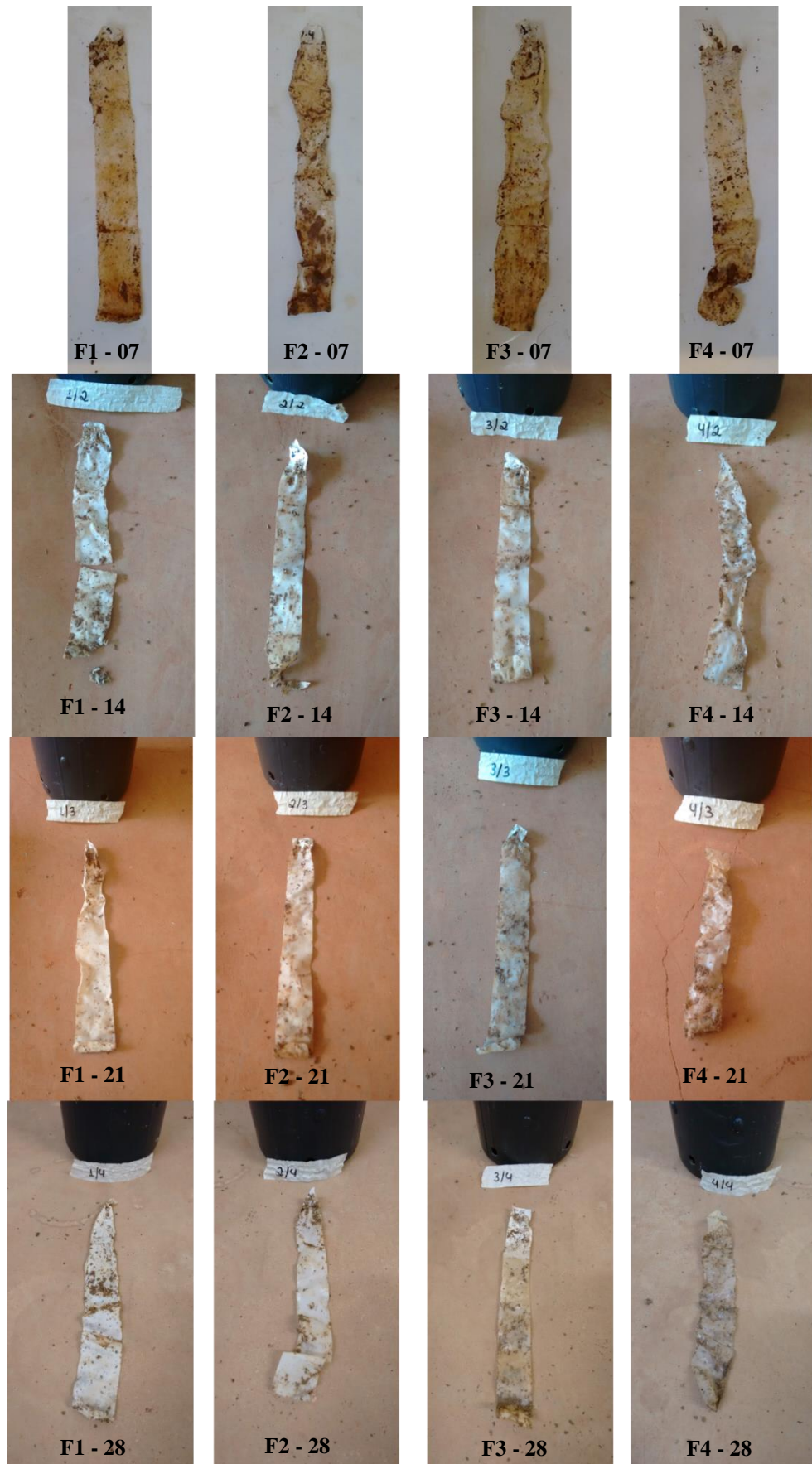


Figura 38. Diferentes formulações de filmes biodegradáveis, biodegradados em solo nos

diferentes tempos 7, 14, 21 e 28 dias.

Observa-se que macroscopicamente não houve uma deterioração significativa, porém ocorreu uma deformação superficial, sendo que em todos os tempos, os filmes apresentaram uma maior rugosidade. O manuseio das amostras evidenciou grande fragilidade para todos os tratamentos, em especial para F1, que mesmo sendo manipulado com muita cautela, fragmentava-se facilmente, principalmente após secagem. Com o decorrer do tempo, verificou-se o aumento da dificuldade da retirada dos resquícios de terra do material, pois este era incorporado aos filmes.

A análise por microscopia óptica, evidenciou modificação na superfície de todos os tratamentos (Figuras 39 e 40). No tratamento F1, ao decorrer dos 28 dias, verificaram-se pequenas fissuras em sua estrutura, sendo o tratamento com maior degradabilidade (Figura 39). Para o tratamento F2, a partir de 14 dias, pôde-se observar microfissuras e incorporação de terra, porém esse foi o tratamento que manteve a maior integridade superficial (Figura 39).

Já para o tratamento F3, verificou-se uma separação de fases (menor homogeneização) e ocorrência de interação das partículas que compõe o filme com a água, ocasionando uma grande alteração em uma das fases (Figura 40). Esse padrão pode estar relacionado com a ligação não efetiva entre o cálcio e a estrutura polimérica da CMC, logo não ocasionando uma reticulação por imersão satisfatória, pois o CMC solubiliza em água (Bertoldo et al., 2010). Pode-se constatar também, uma incorporação de terra aos 21 e 28 dias, acreditando-se que a partir desse tempo teve início uma maior ação da microbiota do solo.

O tratamento F4 apresentou a melhor miscibilidade dos compostos, provavelmente devido à hidrofiliabilidade do alginato de sódio (Figura 40). Oliveira (2009), explica que a adição de cálcio em soluções de alginato permite uma interação altamente específica entre os íons cálcio e as regiões de bloco gulurônico (G) presentes na estrutura deste polímero; em que os cátions preenchem as cavidades criadas pelo alinhamento dessas regiões. O mesmo não apresentou fissuras, porém a partir dos 7 dias de exposição ao solo, houve grande incorporação de terra ao filme, mesmo após lavagem.

As alterações ocorridas nas superfícies dos filmes, provavelmente são decorrentes da adição periódica de água, auxiliando a remoção de compostos solúveis, fazendo com que os filmes perdessem seu aspecto inicial e integridade estrutural, demonstrando uma possível degradabilidade em diferentes graus para cada formulação.

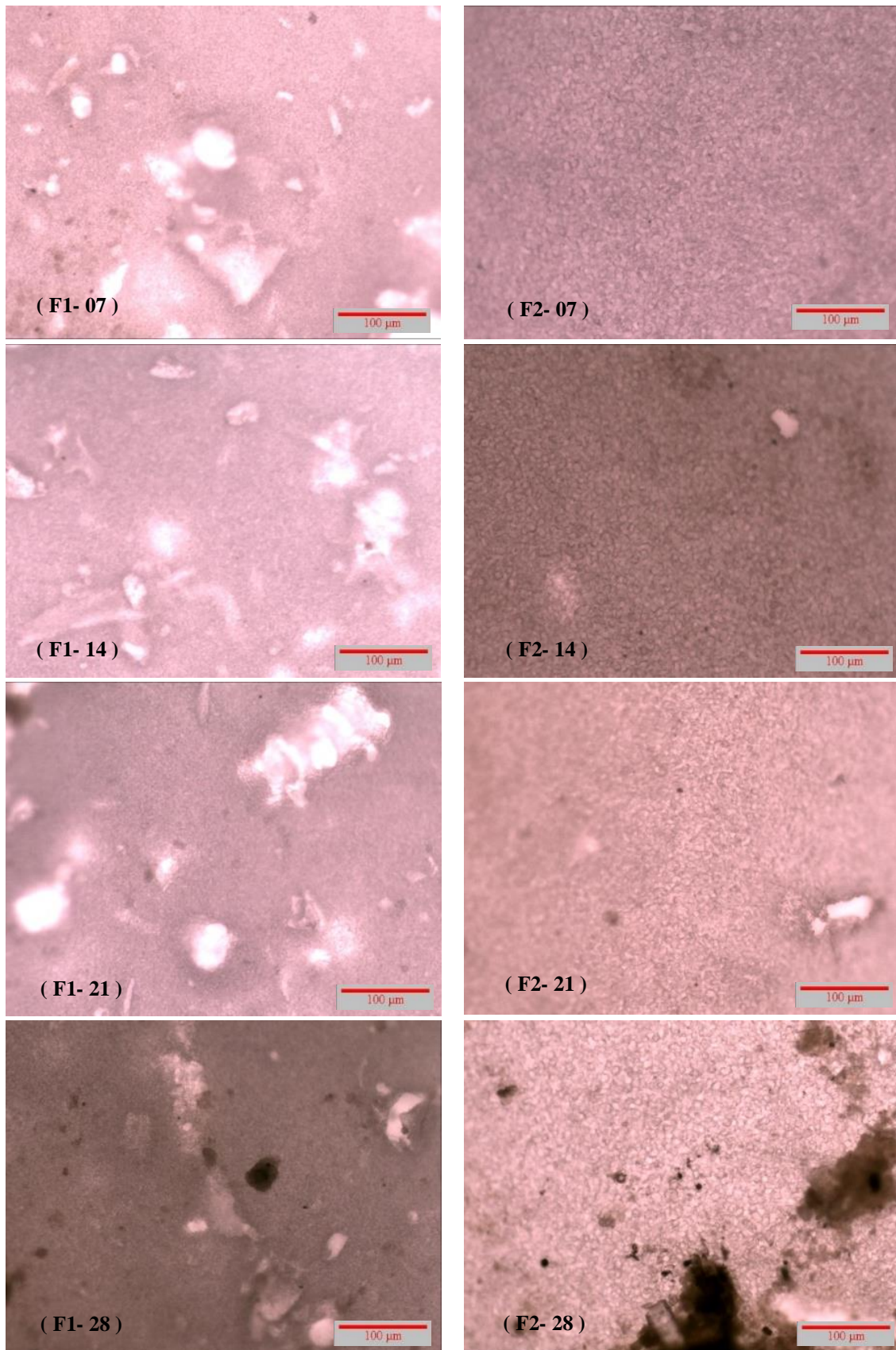


Figura 39. Microscopia óptica de superfície dos filmes F1 e F2, respectivamente, nos diferentes tempos de biodegradação em solo. Escala: 100 µm.

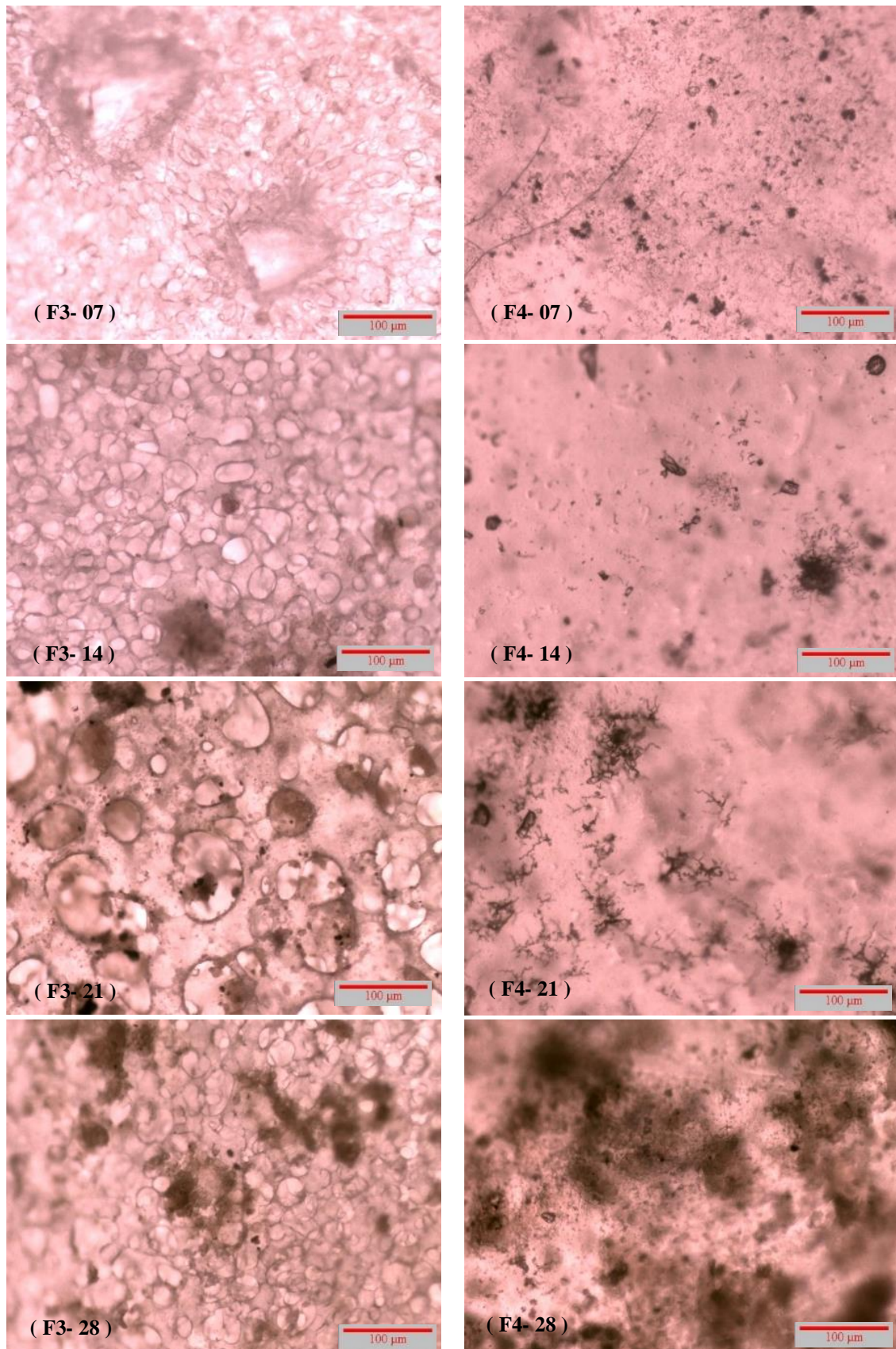


Figura 40. Microscopia óptica de superfície dos filmes F3 e F4, respectivamente, nos diferentes tempos de biodegradação em solo. Escala: 100 µm.

O índice quantitativo de degradabilidade dos filmes foi a perda de massa. A Figura 41 apresenta a perda de massa em função do tempo de biodegradação para as formulações avaliadas.

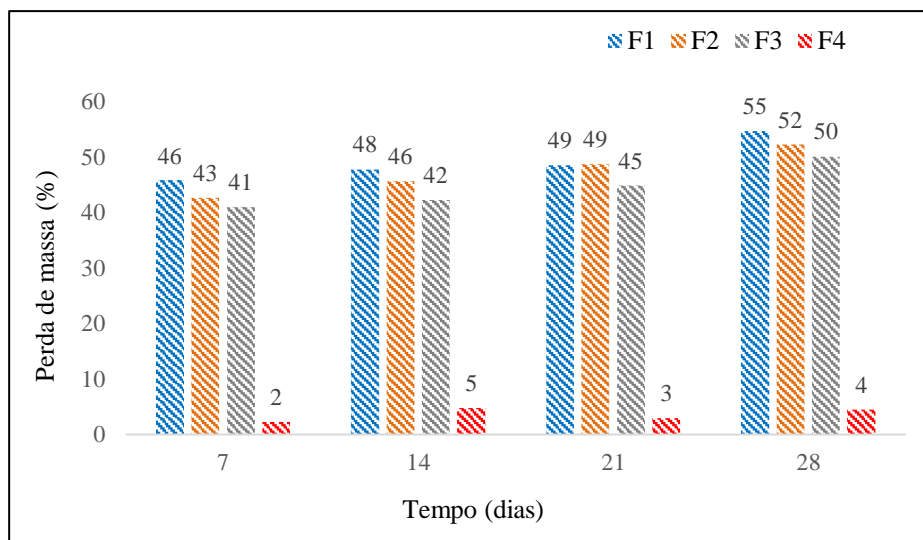


Figura 41. Perda de massa (%) das diferentes formulações de filmes biodegradáveis nos diferentes tempos (7, 14, 21 e 28 dias).

As amostras apresentaram altas taxas de perda de massa, com exceção do F4, o qual apresentou apenas 5% de perda após 14 dias de exposição ao solo. Ao final dos 28 dias os filmes apresentaram: 55% - F1, 52% - F2, 50% - F3 e 4% - F4. De acordo com Azwa et al. (2013), produtos derivados de fibras naturais, como a celulose e seus derivados (CMC), são altamente biodegradáveis, sendo que a perda da resistência interfacial entre fibras e matriz polimérica interferem no processo de degradação.

Assim, o tratamento F4, que não apresenta CMC em sua formulação e contém AS em maior quantidade com adequada reticulação em CaCl_2 , apresentou características de resistência à biodegradação superiores aos demais filmes. A biodegradação de um compósito ocorre com a degradação dos seus constituintes individuais, bem como com a perda de resistência interfacial entre eles (Azwa et al., 2013). Quanto maior a absorção de umidade, maior a suscetibilidade ao ataque por microrganismos (biodegradação).

Não existe uma norma para biodegradabilidade de materiais no Brasil, entretanto a norma Européia EN13432 (2000) requer que os plásticos biodegradáveis tenham 90% de sua massa fragmentada em água, CO_2 e biomassa no período de seis meses (Carissimi et al., 2018). Considerando os resultados obtidos até o 28º dia de exposição ao solo, os filmes F1, F2 e F3 foram degradados rapidamente e podem ser considerados materiais biodegradáveis.

Porém, com o objetivo de utilização para embalagens na produção de mudas nativas, é necessário uma integridade mínima da mesma de aproximadamente 4 a 6 meses, o filme F4 pode ser uma melhor alternativa devido à degradabilidade mais lenta.

Salienta-se que para uma melhor inferência das características dos filmes desenvolvidos com relação a sua degradabilidade e devida utilização, é necessária realização dos testes amplamente difundidos e recomendados na literatura (Carissimi et al., 2018; Silva et al., 2018; Nunes et al., 2016; Souza et al., 2016; Babae et al., 2015; Campagner et al., 2014; Azwa et al., 2013; Campos et al., 2010; Turbiani et al., 2009; Mohanty e Nayak, 2009; Galiotta et al., 1998). Os quais poderão ser realizados posteriormente diante dos resultados aqui apresentados, obtidos através dos testes preliminares.

4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nos testes preliminares, o presente estudo demonstrou ser possível produzir filmes biodegradáveis a partir de carboximetilcelulose, alginato de sódio, amido solúvel, ágar ágar e cloreto de cálcio.

Os estudos de degradabilidade dos filmes mostraram que as formulações F1, F2 e F3 possuem grau de degradação mais acelerado. A formulação F4, mesmo com perda de massa de apenas 4% no período avaliado, pode ser testada como embalagem para produção de mudas.

Há potencial para produção de embalagens biodegradáveis, para emprego com mudas, a partir dos filmes com características de biodegradabilidade, produzidos nesse estudo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, D. M., WOICIECHOWSKI, A. L., WOSIACKI, G., PRESTES, R. A., e PINHEIRO, L. A. Propriedades físicas, químicas e de barreira em filmes formados por blenda de celulose bacteriana e fécula de batata. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 23, n. 4, p. 538 - 546, 2013.
- ARTHUR JUNIOR, J. C. **Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxitirato mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto**. 128 f. Tese (Doutorado), ESALQ/USP, Piracicaba, 2011.
- AZWA, Z. N.; YOUSIF, B. F.; MANALO, A. C.; KARUNASENA, W. A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. **Materials and Design**, Elsevier, v. 47, p. 424 – 442, 2013.
- BABAE, M.; JONOOBI, M. HAMZEH, Y.; ASHORI, A. Biodegradability and mechanical properties of reinforced starch nanocomposites using cellulose nanofibers. **Carbohydrate Polymers**, 2015.
- BERTOLDO, J. G., COIMBRA, J. L. M.; BARILI, L. D.; VALE, N. M.; COAN, M. M. D.; OLIVEIRA, A. F.; SOLDI, V. Emprego de polímeros na qualidade tecnológica de grãos de feijão sob condições de armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 975 – 984, 2010.
- BOLSONI, E. **Estudo da reprocessabilidade do polietileno de baixa densidade**. 2001. 76 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, 2001.
- CAMPAGNER, M. R.; MORIS, V. G. S.; PITOMBO, L. M.; CARMO, J. B.; PAIVA, J. M. F. Filmes poliméricos baseados em amido e lignossulfonatos: preparação, propriedades e avaliação da biodegradação. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 24, n. 6, p. 740 – 751, 2014.
- CAMPOS, A.; MARCONATO, J. C.; FRANCHETTI, S. M. M. Biodegradação de filmes de PP/PCL em solo e solo com chorume. **Polímeros**, 2010.
- CARISSIMI, M.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Effect of microalgae addition on active biodegradab starch film. **Algal Research**, Elsevier, v. 32, p. 201 – 209, 2018.
- CAZOTTI, M. M. – Resíduos de Rochas Ornamentais Associados à Compostagem e o Desenvolvimento do Pinhão Manso, **XIX Jornada de Iniciação Científica do CETEM**, 2011.
- CORREIA, M. F. **Produção e caracterização físico-química de filmes a base de colágeno bovino, ágar-ágar e agarose**. 2016. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso II (Bacharel). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.
- ELLIS, R. P.; COCHRANE, M. P.; DALE, M. F. B.; DUFFUS, C. M.; LYNN, A.; MORRISON, I. M.; PRENTICE, R. D. M.; SWANSTON, J. S.; TILLER, S. A. Starch production and industrial use (Review). **Journal of Science Food and Agriculture**, London, v. 77, n. 3, p. 289 – 311, 1998.
- FANI, M.. **Agar-Agar - O mais antigo fitocolóide. Aditivos e Ingredientes**. São Paulo: Editora Insumos Ltda., v.56, mai/jun. 2008. 31p.
- FAKHOURY, F. M., MARTELLI, S. M., BERTAN, L. C., YAMASHITA, F. MEI, L. H. I., e QUEIROZ, F. P. C. Edible films made from blends of manioc starch and gelatin – Influence of diferente types of plasticizer and different levels of macromolecules on their properties. **LWT – Food Science and Technology**, v. 49, n. 1, p. 149 – 154, 2012.
- FRANCHETTI, S.M.M; MARCONATO, J.C. Polímeros biodegradáveis – uma solução para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.
- GALIETTA, G.; GIOIA, L. D.; GUILBERT, S.; CUQ, B. Mechanical and thermomechanical

properties of films based on whey proteins as affected by plasticizer and crosslinking agents. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 81, n. 12, p. 3123 – 3130, 1998.

GARCIA, M. A., PINOTTI, A., e ZARITZKY, N. Physicochemical, water vapor barrier and mechanical properties of corn starch and chitosan composite films. **Starch**, v. 58, n. 9, p. 453 - 463, 2006.

LOPES, C. M.; LOBO, J. M. S.; COSTA, P. Formas farmacêuticas de liberação modificada: polímeros hidrofílicos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Porto, v. 41, n. 2, p.143-155, 2005.

LOPEZ, C. R.; BODMEIER, R. Mechanical and water vapor transmission properties of polysaccharide films. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v. 22, n. 2, p. 1201 – 1209, 1996.

MALI, S. GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137 – 155, 2010.

MARTUCCI, J. F.; RUESECKAITE, R. A. Biodegradation of three-layer laminate films based gelatin under indoor soil conditions. **Polymer Degradation and Stability**, v. 94, n. 8, p. 1307 – 1313, 2009.

MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. Starch based biodegradable PBAT nanocomposites: Effect of starch modification on mechanical, thermal, morphological and biodegradability behavior. **Int Plastics Technol**, Índia, v. 13, n. 2, p. 163 – 185, 2009.

NUNES, M. B. S.; BARDI, M. A. G.; CARVALHO, L. H. Biodegradação em solo simulado de blendas de PBAT/TPS e seus biocompósitos com mesocarpo de babaçu. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos – REMAP**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 105 – 11, 2016.

OLIVEIRA, A. F. **Desenvolvimento, caracterização e aplicação de biofilmes e esferas obtidos a partir de carboximetilcelulose e alginato de sódio em processos de liberação controlada de nutrientes**. 2009. 171 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

PICCOLI, R.A.M.; QUIROZ, L.H.C.; FLEURY, A.; MATTOS, M.N.; OLIVEIRA, V.; BONOMI, A. Otimização da produção de polihidroxibutirato por via fermentativa, baseada num modelo matemático cibernético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000. Águas de São Pedro. **Anais...** Campinas: Universidade de Campinas, 2000. res. n. 839. 1 CD-ROM.

SILVA, D. D.; MELO, F. C.; SCHNEIDER, A. L. S.; EINLOFT, S. PEZZIN, A. P. T. Síntese e biodegradação em solo de copolímeros de PET-co-PLLA. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, 2018.

SOUZA, G.T. A. M.; FORTES NETO, P. FORTES, N. L. P.; DUARTE, E. C. N. F. A.; COSTA, R. A. C.; SARAIVA, A. F. Biodegradação de polietileno e bioplástico no solo. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 11, p. 1172 – 1180; 2016.

TURBIANI, F. R. B.; KIECKBUSH, T. G.; GIMENES, M. L. Processo de produção de filmes plásticos biodegradáveis de alginato e sódio – controle da reticulação. **In: Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros**, Artigo, Foz do iguaçu, 2009.

WOLF, K. **Propriedades físico-químicas e mecânicas de biofilmes elaborados a partir de fibra e pó de colágeno**. 2007. 103 f. Tese (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2007.

WURZBURG, O. B. Cross – linking starches. In: WURZBURG, O. B. *Modified starches: properties and uses*. **Boca Raton: CRC Press**, 1986. p. 41-53.

ZANELA, J.; REIS, M. O.; DIAS, A. P.; MALI, S. GROSSMANN, E. M. V.; YAMASHITA, F. Laminados biodegradáveis de blendas de amido de mandioca e poli(vinil álcool): efeito da formulação sobre a cor e opacidade. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**,

São Paulo, v. 25, n. 3, p. 326 – 329, 2015.

4 CONCLUSÕES GERAIS

Para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, como o resíduo de poda urbana, o processo de compostagem aeróbia de baixo custo, se mostra eficiente na transformação do resíduo em um composto bioestabilizado. Os compostos orgânicos gerados nesse processo, possuem boas características para serem empregados como substratos e/ou adubos orgânicos, mitigando uma necessidade de reaproveitamento de resíduos e conferindo características químicas e físicas favoráveis. Porém, o composto gerado neste estudo não completou o processo de transformação e estabilização.

A produção de mudas utilizando compostos orgânicos na formulação de substratos, é uma prática em que há necessidade de ser expandida, com cada vez mais estudos. O composto orgânico da poda urbana foi testado em condições mínimas (Experimento I): inviabilizando o desenvolvimento das mudas quando associado a outro composto com baixa fertilidade (terra de horizonte A – THA utilizada); e em condições favoráveis (Experimento II), apresentando comportamento mediano quando associado a ao esterco bovino (alta fertilidade) e THA.

As diferentes formulações de filmes biodegradáveis propostas nesse estudo a base de materiais amplamente difundidos e de origens naturais, se mostraram com grande potencial para finalidades que necessitam de uma maior durabilidade, sugerindo que a produção de mudas pode ser sustentável mantendo a qualidade das mudas produzidas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como proposta o reaproveitamento do resíduo da poda urbana, como substrato, através do processo de compostagem de baixo custo e o desenvolvimento de um recipiente biodrgradável, ambos para utilização na produção de mudas florestais.

Para um bom desempenho do processo de compostagem, percebe-se a necessidade de mais estudos em que sejam testados diferentes tamanhos de leiras, já que leiras de pequeno porte apresentam maiores dificuldades para manutenção das temperaturas termofílicas. Também é de suma importância pesquisas que agreguem resíduos orgânicos comerciais e residências na mistura com os resíduos verdes para compostagem, a fim de equilibrar a relação C/N, consequentemente produzindo um composto fértil, com boas características físicas e reaproveitando outro resíduo. Com a relação C/N equilibrada, podem ser feitos também experimentos com galhadas de diversos diâmetros.

Os testes realizados com o composto orgânico oriundo da poda, não apresentaram resultados satisfatórios utilizando a espécie *Colubrina glandulosa*. Sabendo que cada espécie florestal possui uma autoecologia diferente, requerendo formulações de substratos distintas, torna-se necessário estudos com outras espécies para uma melhor avaliação do mesmo. Contudo, devido a não estabilização do composto orgânico e utilização de solo pobre, a realização da adubação de base para produção das mudas, possivelmente, teria gerado resultados satisfatórios.

São inúmeras as pesquisas para desenvolvimento de materiais biodegradáveis, que requerem tempo e grandes investimentos financeiros. Não foi possível alcançar o produto final pretendido nesse estudo, devido a limitações estruturais e financeiras, porém diante da problemática de resíduos sólidos, é de suma importância a continuidade de estudos que visem a substituição das embalagens produzidas de polímeros sintéticos.

Para isso, é necessário o envolvimento da comunidade, das instituições de ensino, dos órgãos de pesquisa e do poder público para incentivo de boas práticas de sustentabilidade, conservação e recuperação dos recursos naturais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTHUR JUNIOR, J. C. **Uso de tubete e de minitubete de compósito de polihidroxibutirato mais pó de madeira na produção e no plantio de mudas seminais e clonais de eucalipto**. 128 f. Tese (Doutorado), ESALQ/USP, Piracicaba, 2011.
- ASSOCIAÇÃO DE MUNICÍPIOS COVA DA BEIRA (AMCB). **Central de Compostagem, 2006**. [Online]. Disponível em < <http://www.amcb.pt/> >.
- BOLSONI, E. **Estudo da reprocessabilidade do polietileno de baixa densidade**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química - UNICAMP, Campinas, 76 p., 2001.
- CALDEIRA, M. V. W.; ROSA, G. N.; FENILLI, T. A. B.; HARBS, R. M. P. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 27 – 33, 2008.
- FONSECA, T.G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 72 p., 2001.
- GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.; GARCIA, S.L.R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.
- HENRIQUE, C.M.; CEREDA, M.P.; SARMENTO, S.B.S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia dos alimentos**, Campinas, v. 28 n 1, p. 231-240, 2008.
- MARTINS, C. S.; CASTRO, P. M.; SANTOS, E. dos; Adilton Juarez b. Cunha; JUDITE, V. S.; PORTO, J. H.; THIAGO, bernardo; Rafael, C.; BERNARDO, T. **Companhia Energética de Minas Gerais**. Manual de arborização. Belo Horizonte: Cemig / Fundação Biodiversitas, 2011. 112 p.
- PICCOLI, R.A.M.; QUIROZ, L.H.C.; FLEURY, A.; MATTOS, M.N.; OLIVEIRA, V.; BONOMI, A. Otimização da produção de polihidroxibutirato por via fermentativa, baseada num modelo matemático cibernético. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000. Águas de São Pedro. **Anais...** Campinas: Universidade de Campinas, 2000. res. n. 839. 1 CD-ROM.
- OROZCO-CARDENAS, M. L.; NARVAEZ-VÁSQUEZ, J.; RYAN, C, A, “Hydrogen peroxide acts as a second messenger for the induction of defense genes in tomato plants in response to wounding, systemin, and methyl jasmonate.” **Plant Cell**, vol. 13, no. 1, pp. 179–191, 2001.
- ROSA, D.S.; LOTTO, N.T.; LOPPEL, D.R.; GUEDES, C.G.F. The use of roughness for evaluating the biodegradation of poly-b-(hydroxybutirate) and poly-b-(hydroxybutirateco-b-valerate). **Polymer Testing**, Amsterdam, v. 23, p. 3-8, 2004.
- RIBEIRO, T.R.A.A. **Estudo da utilização de embalagens multifoliadas para a produção de painéis**. Botucatu, 1998. 97p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.
- SAITER, O. **Utilização de resíduos agrícolas e florestais como fonte de energia para a secagem de grãos de *Coffea canephora* var. Conilon**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.
- SANTOS, P. L.; FERREIRA, R. A.; ARAGÃO, A. G.; AMARAL, L. A.; OLIVEIRA, A. S. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 237 - 245, 2012.
- SANTOS, I. J. A.; SILVA, J. A. G.; SILVA, J.; MENDES, T. R. M.; SOUZA, D. O.; SILVA,

G. S. Levantamento dos impactos ambientais e medidas mitigadoras para a recuperação de áreas degradadas do Rio Estiva. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 4, n. 1, p. 171-182, 2017
VALCARCEL, R.; SILVA, Z.S. Eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Floresta e Ambiente**, V.4, n.1, p.68-80. 1997.
VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S.; SCARAMUZZA, J. F. Resíduos orgânicos como substrato para produção de mudas de guanandi. **UNICIÊNCIAS**, v. 18, n. 2, p. 91-97, 2014.