

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PROPRIEDADE**  
**INTELECTUAL**

Rodrigo Teixeira Soares Moreira

**TECNOLOGIA P4TREE PARA RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO DE URINA E SEU**  
**USO COMO FERTILIZANTE: Um estudo de caso de teste de tecnologia em uma**  
**parceria hélice tríplice**

Belo Horizonte

2022

Rodrigo Teixeira Soares Moreira

**TECNOLOGIA P4TREE PARA RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO DE URINA E SEU  
USO COMO FERTILIZANTE: Um estudo de caso de teste de tecnologia em uma  
parceria hélice tríplice**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual.

Orientador: Prof. Dr. Rochel Montero Lago

Belo Horizonte

2022

043

Moreira, Rodrigo Teixeira Soares.

Tecnologia P4Tree para recuperação de fósforo de urina e seu uso como fertilizante: um estudo de caso de teste de tecnologia em uma parceria hélice tríplice [manuscrito] / Rodrigo Teixeira Soares Moreira. – 2022.

78 f.: il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rochel Montero Lago.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual.

1. Inovação tecnológica. 2. Fosfatos. 3. Adsorção. 4. Fertilizantes. 5. Urina. I. Lago, Rochel Montero. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. III. Título.

CDU: 608.5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM INOVAÇÃO TECNOLÓGICA E PROPRIEDADE INTELECTUAL

### FOLHA DE APROVAÇÃO

**"TECNOLOGIA P4TREE PARA RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO DE URINA E SEU USO COMO FERTILIZANTE:  
UM ESTUDO DE CASO DE TESTE DE TECNOLOGIA EM UMA PARCERIA HÉLICE TRÍPLICE"**

**RODRIGO TEIXEIRA SOARES MOREIRA**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 06 de junho de 2022, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes membros:

**DR. OTTAVIO RAUL DOMENICO RIBERTI CARMIGNANO**  
**PEDRAS CONGONHAS LTDA**

**DR. FABIANO GOMES FERREIRA DE PAULA**  
**ESCALAB**

**PROF. DR. ROCHEL MONTERO LAGO – ORIENTADOR**  
**ICEX/UFMG**

Belo Horizonte, 06 de junho de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Rochel Montero Lago, Professor do Magistério Superior**, em 08/06/2022, às 07:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ottavio Raul Domenico Riberti Carmignano, Usuário Externo**, em 24/06/2022, às 08:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabiano Gomes Ferreira de Paula, Usuário Externo**, em 27/06/2022, às 09:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1511173**

e o código CRC **1E0746FA**.

Dedico este trabalho à minha filhinha Mari  
Gomes Soares (*In memoriam*) que passou por  
este mundo de forma meteórica, mas o  
suficiente para encher meu coração de amor e  
ternura.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado forças diante de todas as adversidades que passei no curso deste trabalho.

Ao Prof. Rochel Lago por ter me incentivado e ter me feito acreditar que eu seria capaz de desenvolver este mestrado, além de toda a paciência e compreensão neste período. Agradeço por ter aceitado ser meu orientador. O aprendizado foi além da academia.

Ao Dr. Marcelo Vichiato por ter me auxiliado na parte agronômica.

À Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica por meio da Miriam, gerente do Jardim Botânico, e do Guto, Presidente, que me concederam redução de carga horária na jornada de trabalho. E acreditaram na importância do desenvolvimento deste trabalho no Jardim Botânico.

À minha amada esposa Marcelle, que sempre esteve ao meu lado nos momentos de alegria e tristeza, sendo sempre meu porto seguro, me dando forças e incentivos nos momentos em que mais precisei.

Aos meus pais, Moreira e Maria Nilva, por terem me concedido uma educação na qual não mediram esforços para me matricular em escolas de referência e, principalmente por me proporcionarem uma educação familiar com princípios, valores, regras, comportamentos e escolhas que moldaram o meu caráter.

As estagiárias Fernanda e Ketrin que auxiliaram na fase de preparo da P4Tree para iniciar o experimento com as mudas na casa de vegetação.

Ao Caio e Sheila do Jardim Botânico por me ajudarem a desmontar a estrutura do experimento, com as mudas.

Gostaria de agradecer a todos os estudantes de graduação e pós-graduação da UFMG que participaram do projeto P4Tree durante a confecção deste trabalho.

*“Ah! Se Deus me ouvisse e mandasse pra mim  
Aquela que eu amo e um dia partiu  
Deixando a tristeza junto de mim  
Ah! Voltaria pra mim toda a felicidade  
Sairia do peito a dor da saudade  
Renascia uma vida a caminho do fim  
Ah! Eu lhe peço senhor  
Ah! Traz de volta esse amor  
Senhor está perto o meu fim  
Eu lhe peço meu Deus  
Tenha pena de mim”*

Almir Rogério (música Se Deus me ouvisse).

## RESUMO

A tecnologia P4Tree consiste em um material que adsorve fosfato presente em efluentes industriais ou domésticos, tal como na urina, se tornando um potencial fertilizante. Essa tecnologia desenvolvida por pesquisadores do Departamento de Química da UFMG, em conjunto com a empresa Brandt Meio Ambiente apoiado por um financiamento FUNTEC BNDES. Este trabalho descreve a formatação da parceria entre UFMG, BRANDT Meio Ambiente, Pedras Congonhas, Belotur e o Jardim Botânico da FPMZB para o teste da tecnologia nos carnavais de Belo Horizonte. A primeira edição da parceria ocorreu em 2018 e foi firmado um “Termo de autorização para teste de Tecnologia” entre Belotur e UFMG para aplicação em banheiros químicos selecionados, durante o Carnaval de Belo Horizonte. Uma produção em escala piloto de 7 kg do produto foi feita em conjunto com a empresa Pedras Congonhas. No segundo teste em 2020, a tecnologia P4Tree foi aplicada em 110 banheiros utilizando 70 kg. Os materiais recolhidos dos banheiros foram esterilizados e estudados como fertilizantes em uma parceria com Jardim Botânico da FPMZB. Ao longo do estudo foram feitas análise de pH, teor de fósforo, cálcio, magnésio e potássio das amostras do solo. Testes de incubação em solo por 30, 60 e 90 dias mostraram que o P4Tree proveniente do carnaval adsorveu fosfato e liberou no solo, indicando um potencial na utilização como fertilizante. No experimento com plantas utilizou duas espécies: tamboril e mutamba totalizando 336 mudas, com 5 dosagens diferentes de P4Tree, além da testemunha e do fertilizante referência superfosfato simples. Observou-se que o P4Tree é fortemente alcalino e tende a elevar o pH do solo, tendo sido necessário neutralizá-lo antes de sua aplicação. A mutamba é uma espécie muito sensível e foi fortemente prejudicada pelo aumento de pH. Por outro lado, o uso de P4Tree para o tamboril mostrou resultados promissores.

Palavras-chave: P4tree. Adsorção de fosfato. Fertilizante. Urina.

## ABSTRACT

The P4Tree technology consists of a material that adsorbs phosphate present in industrial or domestic effluents, such as urine, becoming a potential fertilizer. This technology was developed by researchers from the Department of Chemistry at UFMG, together with the company Brandt Meio Ambiente, supported by a FUNTEC BNDES financing. This work describes the formatting of the partnership between UFMG, BRANDT Meio Ambiente, Pedras Congonhas, Belotur and the FPMZB Botanical Garden to test the technology in the carnivals of Belo Horizonte. The first edition of the partnership took place in 2018 and a “Technology Testing Authorization Term” was signed between Belotur and UFMG for application in selected chemical toilets during the Belo Horizonte Carnival. A pilot scale production of 7 kg of the product was carried out in conjunction with the company Pedras Congonhas. In the second test in 2020, P4Tree technology was applied in 110 bathrooms using 70 kg. The materials collected from the toilets were sterilized and studied as fertilizers in a partnership with Jardim Botânico da FPMZB. Throughout the study, analysis of pH, phosphorus, calcium, magnesium and potassium content of soil samples was carried out. Incubation tests in soil for 30, 60 and 90 days showed that P4Tree from Carnival adsorbed phosphate and released it into the soil, indicating a potential for use as a fertilizer. In the experiment with plants, two species were used: tamboril and mutamba, totaling 336 seedlings, with 5 different dosages of P4Tree, in addition to the control and the simple superphosphate reference fertilizer. It was observed that P4Tree is strongly alkaline and tends to raise the pH of the soil, having been necessary to neutralize it before its application. Mutamba is a very sensitive species and was strongly harmed by the increase in pH. On the other hand, the use of P4Tree for tamboril showed promising results.

**Keywords:** P4tree. Phosphate adsorption. Fertilizer. Urine.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Logo Belotur.....	30
Figura 2 - Logo Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica.....	31
Figura 3 - Logo BRANDT meio ambiente.....	32
Figura 4 - Logo Pedras Congonhas.....	32
Figura 5 - Logo UFMG.....	33
Figura 6 - Banheiros químicos adesivados e plotados carnaval Belotur.....	34
Figura 7 - Sachês contendo P4Tree em formato pastilha (esquada) e em formato de pellet (direita).....	35
Figura 8 - Secagem do material P4Tree após esterilização.....	36
Figura 9 - Solo doado e depositado no Jardim Botânico de BH para os experimentos.....	37
Figura 10 - Árvore adulta do tamboril.....	38
Figura 11 - Árvore adulta de mutamba.....	39
Figura 12 - Germinação de sementes de mutamba (esquerda) e tamboril (direita).....	40
Figura 13 - Solo incubado com P4Tree.....	41
Figura 14 - Resultado da análise de solo para pH aos 30, 60 e 90 dias de incubação com P4Tree.....	42
Figura 15 - Resultado da análise de solo para fósforo aos 30, 60 e 90 dias de incubação com P4Tree.....	43
Figura 16 - Resultado da análise de solo para cálcio aos 30, 60 e 90 dias de incubação com P4Tree.....	45
Figura 17 - Resultado da análise de solo para magnésio dos 30 aos 90 dias de incubação com P4Tree.....	46
Figura 18 - Mudanças de mutamba transplantadas em recipientes de 1,7 dm <sup>3</sup> .....	47
Figura 19 - Experimentos em casa de vegetação com Mutamba após 120 dias.....	49
Figura 20 - Raízes das mudas de mutamba Tratamento T1.....	49
Figura 21 - Raízes das mudas de mutamba tratamento T4.....	50
Figura 22 - Raízes das mudas de mutamba tratamento T2.....	50
Figura 23 - Mudanças de tamboril transplantadas em recipientes de 1,7 dm <sup>3</sup> .....	51
Figura 24 - Mudanças de tamboril aos 120 dias de experimento.....	52
Figura 25 - Alturas das mudas de tamboril medido aos 30, 60, 90 e 120 dias.....	55
Figura 26 - Diâmetro do coleto das mudas de tamboril medido aos 30, 60, e 120.....	56
Figura 27 - Massa seca raiz, parte aérea e massa seca total.....	57

Figura 28 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T1 .....	58
Figura 29 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T2 .....	58
Figura 30 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T3 .....	59
Figura 31 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T4 .....	59
Figura 32 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T5 .....	60
Figura 33 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T6 .....	60
Figura 34 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T7 .....	61
Figura 35 - Resultado da análise de solo para pH da espécie tamboril ao final de 120 dias. ....	62
Figura 36 - Resultado da análise de solo para fósforo da espécie tamboril ao final de 120 dias. .....	63
Figura 37 - Teor de fósforo da massa seca ao final do experimento de mudas de tamboril ....	64
Figura 38 - Resultado da análise de solo para cálcio da espécie tamboril ao final de 120 dias. .....	65
Figura 39 - Resultado da análise de solo para magnésio da espécie tamboril ao final de 120 dias. .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise de fertilidade da amostra de subsolo que será utilizada na preparação do substrato empregado no experimento. ....	37
Tabela 2 - Teores de matéria orgânica e granulometria do solo encontrados na amostra de subsolo utilizada na preparação do substrato empregado no experimento.....	37
Tabela 3 - Quantidades de P4Tree utilizadas na incubação do solo.....	41
Tabela 4 - Tratamentos para mutamba. ....	48
Tabela 5 - Tratamentos para tamboril.....	51
Tabela 6 – Valores médios de altura de mudas (cm) de tamboril, produzidas em diferentes tratamentos aos 30, 60, 90 e 120 após o transplântio. ....	53
Tabela 7 - Valores médios do diâmetro do coleto (mm) de mudas de tamboril, produzidas em diferentes tratamentos aos 30, 60, 90 e 120 após o transplântio. ....	54

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
ATP	Adenosina Trifosfato
BELOTUR	Empresa Municipal de Turismo de Belo Horizonte
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CTA	Centro Técnico de Aeronáutica
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
ETT	Escritório de Transferência de Tecnologia
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e a Agricultura
FIOCRUZ	Fundação Oswaldo Cruz
FPMZB	Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica
GRUTAM	Grupo de Tecnologias Ambientais
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IMA	Instituto Mineiro de Agropecuária
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PUC-RJ	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
U-E	Universidade-Empresa
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFOP	Universidade Federal de Ouro Preto
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UNB	Universidade de Brasília
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USIMINAS	Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais
USP	Universidade de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.2 OBJETIVO .....	16
1.2.1 Objetivos específicos.....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Interação Universidade-Empresa.....	17
2.2 Transferência de Tecnologia da Universidade para o Mercado .....	18
2.3 Tríplice hélice e parcerias estratégicas .....	21
2.4 Fósforo e sua importância .....	22
2.5 Importância do fósforo na agricultura/escassez/importação .....	22
2.6 Problema ambiental do fósforo: efluentes industriais e urina .....	23
2.7 Recuperação de fósforo .....	24
2.8 Adsorventes de fósforo.....	24
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Produção do P4Tree .....	26
3.2 Testes no carnaval .....	26
3.3 Coleta, armazenamento e esterilização P4Tree .....	27
3.4 Preparo para uso em casa de vegetação.....	28
3.5 Experimentos nos vasos .....	28
3.6 Medidas realizadas em laboratório .....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>30</b>
4.1 Atores envolvidos no teste da tecnologia P4Tree: Belotur, a FPMZB, Brandt meio ambiente, Mineração Pedras Congonhas e UFMG. ....	30
4.2 Arranjo UFMG-BELOTUR-Brandt- Pedras Congonhas-FPMZB.....	33
4.3 Uso nos carnavais da Belotur .....	34
4.4 O time UFMG que acompanhou o P4Tree e Campanha de comunicação .....	35
4.5 Testes de esterilização .....	36
4.6 Testes em casa de vegetação .....	36
4.6.1 A escolha do solo.....	36
4.6.2 Escolha das espécies.....	38
4.6.3 Germinação das sementes.....	40
4.7 Testes preliminares de incubação inicial do solo .....	40
4.7.1 Efeito do P4Tree no pH do solo incubado.....	41

4.7.2 Análise do teor de P no solo incubado .....	42
4.7.3 Análise do teor de Ca no solo incubado .....	44
4.7.4 Análise do teor de Mg no solo incubado .....	45
4.8 Experimento uso de P4Tree como fonte de fósforo no cultivo de mudas florestais: Mutamba e Tamboril .....	46
4.8.1 Estudos com a Mutamba .....	46
4.8.2 Estudos com o Tamboril.....	50
4.8.3 Altura, diâmetro do coleto, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea e massa seca total das mudas de tamboril aos 30, 60, 90 e 120 dias no experimento .....	52
4.8.4 pH do solo ao final de 120 dias no cultivo de Tamboril .....	61
4.8.5 Teor de fósforo no solo e na planta ao final de 120 dias de experimento .....	62
4.8.6 Teor de cálcio no solo ao final de 120 dias de experimento.....	64
4.8.7 Teor de magnésio no solo ao final de 120 dias de experimento.....	65
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>66</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia P4Tree consiste de um produto desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob coordenação do professor Rochel Lago no Grupo de Tecnologias Ambientais (GRUTAM) em conjunto com a empresa Brandt Meio Ambiente e também com a empresa Pedras Congonhas que buscava novas aplicações para o serpentinito extraído de sua mina. Posteriormente, essa tecnologia foi licenciada para a empresa Brandt Meio Ambiente. O P4Tree é constituído por materiais e minerais já comumente utilizados na agricultura. Os processos de síntese, sua composição e aplicação em efluentes estão protegidos pelo depósito de patente pela UFMG BR1020170116557.

O princípio teórico da proposta é que o elemento fósforo na forma de fosfato presente em efluentes industriais ou domésticos, tal como na urina, seja adsorvido pelo P4Tree e que este possa ser utilizado como fornecedor de fósforo no cultivo de plantas. Para o desenvolvimento do P4Tree foram realizadas no Laboratório de Química da UFMG testes preliminares para determinação da composição adequada do P4Tree para o fornecimento de um material com maior capacidade adsortiva de fosfato.

Para que projeto se tornasse viável, havia uma demanda da UFMG em firmar parcerias com instituições da Prefeitura de Belo horizonte. A Empresa Municipal de Turismo de Belo Horizonte S/A (Belotur), conheceu a tecnologia P4Tree em um evento de inovação realizado na ACMinas, e surgiu interesse em firmar parceria com a Universidade para teste do produto oriunda da tecnologia. A primeira edição da parceria ocorreu em 2018 e foi firmado um “Termo de autorização para teste de Tecnologia” entre Belotur e UFMG. Assim, foi montado um plano de trabalho para a condução dos testes da tecnologia intitulada como “Composição para Adsorção de Fósforo e/ou Nitrogênio de Efluentes Líquidos, Processos, Produtos e Usos” e “Sistema Capturador de Nutrientes da Urina” para aplicação em banheiros químicos selecionados, durante o Carnaval de Belo Horizonte 2018.

Os resultados alcançados com o projeto em 2018 foram positivos, especialmente quando são analisados os dados de mídia espontânea, com repercussão nacional. Além dos resultados obtidos nessa aproximação com o meio acadêmico, de ampliação dos projetos associados ao Carnaval e de buscar novas áreas de conexão do evento com a cidade. Dessa forma, surgiu o interesse comum entre Belotur e UFMG em replicar e ampliar o projeto em novas edições que

ocorreram em 2019 e 2020. Devido à pandemia provocada pela COVID-19 não foi possível a realização em 2021.

Diante disso, também em 2018, o Prof. Rochel Lago apresentou o Projeto P4Tree ao Jardim Botânico da Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica – FPMZB para que os ensaios agronômicos da tecnologia fossem realizados na produção de plantas. O Jardim Botânico possui um viveiro de produção de mudas que pode ser definido como local em que plantas são cultivadas a pleno sol ou em casas de vegetação ou estufas e exibidas, sobretudo para fins de pesquisa, educação e recreação, conforme Andrade *et al.*, (2013). Por ter a pesquisa como uma das missões do Jardim Botânico, os gestores da instituição, logo manifestaram interesse em contribuir com o projeto e realizar os experimentos com o P4Tree no viveiro de produção de mudas. Em 2019 firmou-se entre FPMZB e a UFMG o “Termo de Autorização para Teste de Tecnologia obtida de Patente” documento no qual autorizava a FPMZB realizar testes da tecnologia P4Tree aplicada no carnaval para produção de mudas florestais utilizadas na arborização urbana de Belo Horizonte, cuja finalidade seria entendimento do possível potencial de fertilização do P4Tree, por meio da disponibilização de fósforo.

Em fase posterior, foram realizados experimentos de cultivo inicial de plantas arbóreas utilizando o P4Tree no substrato de cultivo como fornecedor de macronutriente fósforo.

## **1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA E DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

Primeiramente, o fósforo é um elemento escasso, finito, extraído de rochas fosfáticas, portanto, obtido de fonte não renovável. Ao mesmo tempo, o fósforo também é um importante contaminante ambiental, estando presente em resíduo de efluentes domésticos e industriais, sendo fonte de contaminação por meio da disposição inadequada em corpos hídricos provocando a eutrofização artificial, (CORDELL *et al.*, 2009).

Além disso, na produção de culturas agrícolas, o fósforo juntamente com o nitrogênio e potássio formam o clássico trio “NPK” de macronutrientes essenciais mais demandados pelas plantas para garantir elevadas taxas de produtividade, (PANTANO *et al.*, 2016). Os símbolos “NPK” representam respectivamente: Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

Sendo assim, é necessário conhecer a demanda nutricional de cada espécie, entretanto, quando começamos a realizar pesquisas de “povoamentos florestais”, há pouca ou quase nenhuma informação sobre a necessidade mineral das espécies nativas, (CECONI, 2006).

Esta dissertação descreve o desenvolvimento de uma tecnologia para capturar fósforo de urina coletada em banheiros químicos utilizados no carnaval de Belo Horizonte e experimentação do produto desenvolvido como fonte de fósforo para o cultivo de mudas de espécies arbóreas. E também como foram feitas as parcerias estratégicas para o teste e transferência dessa tecnologia.

## **1.2 OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi descrever a parceria UFMG - Empresa Municipal de Turismo de Belo Horizonte S/A (Belotur) – BRANDT meio ambiente – Pedras Congonhas Extração Arte Indústria Ltda - Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica (FPMZB) para testar a tecnologia P4Tree através da captura do nutriente fósforo de urina humana em banheiros químicos do carnaval de Belo Horizonte e seu teste como fertilizante para espécies florestais.

### **1.2.1 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram:

- a) Descrever um caso de inovação com uma parceria tríplice hélice;
- b) Produzir e testar o material P4Tree nos banheiros químicos do carnaval Belotur;
- c) Analisar a interação do P4Tree no solo;
- d) Avaliar o uso do P4Tree como fonte de fósforo no cultivo de mudas de duas espécies florestais

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Interação Universidade-Empresa

A universidade possui o papel de disseminar o conhecimento, além de realizar pesquisas em diversas áreas. Tais estudos são importantes e demonstram quão estreitamente o desenvolvimento do ensino superior está relacionado com o crescimento da economia e da sociedade. Portanto, a universidade tem um papel fundamental de desempenhar a conexão entre educação, pesquisa e inovação (PALEARI, *et al.*, 2015).

A evolução dos estudos acadêmicos é um ponto positivo para os diversos setores de inovação tecnológica, sem a participação efetiva do Estado e das empresas privadas, não seria possível alavancar resultados positivos para as diversas tecnologias, (RAPINI, *et al.*, 2016).

Diante desses estudos, as interações universidades empresas (U-E) os destaques das escolas públicas são: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio grande do Sul (UFRGS) e Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), que juntas representam mais de 67% das interações, relata Silva e Suzigan, (2018). Ao passo que, o país possui pelo menos uma Instituição Pública em cada um dos 26 Estados e Distrito Federal.

Historicamente, de acordo com Rapini *et al.*, (2017) as Universidades brasileiras foram criadas a partir da década de 20, o que nos mostra o quanto estávamos em atraso na busca inerente ao conhecimento. Entretanto, a função do ensino naquele momento era de graduar, não havia um cenário amplo de pesquisa e, a moderada pesquisa era feita por estudiosos independentes em institutos tais como: Instituto Butantã e o Instituto Oswaldo Cruz (MELLO *et al.*, 2011).

Segundo Araújo *et al.*, (2015) a universidade tem desempenhado um papel que vai além de formar pessoas capacitadas, ela tem sido indicada como um importante protagonista no processo inovativo, através da transferência de tecnologia, do empreendedorismo acadêmico, e do desenvolvimento de bases científicas e tecnológicas. O elevado desempenho acadêmico está associado a qualidade da pesquisa, cujo domínio do complexo conjunto de conhecimento tem estimulado interações com empresas (GARCIA *et at.*, 2014).

Hoje, a universidade é um importante ator no meio econômico com o marketing do saber, essa seria a primeira dimensão. A segunda dimensão, seria o Estado implementando leis específicas para que ocorra a transferência de tecnologia da Universidade para empresas privadas. Além disso, temos a terceira dimensão, na qual temos a criação de instituições

trilaterais, que possuem a produção de alta tecnologia, dentre elas, estão os centros tecnológicos, universidades corporativas, instituições governamentais de capital empreendedor, afirma (PARANHOS *et al.*, 2018).

A interação Universidade e Empresa (U-E) possui seus benefícios e desafios, haja vista que, a pesquisa muitas vezes é vista como um fator de pouca importância para os leigos, porém é preciso salientar que tanto na indústria, quanto na saúde há grande vantagem do papel da U-E. Tal como existem dificuldades, também há sucessos: Soja (IAC/ESALQ/EMBRAPA); Mineração (Eng. Materiais e Metalurgia/UFMG); Soro, Vacinas (Fiocruz/Butantã); Embraer (ITA e CTA); Petrobrás-COPPE-UFRJ e Unicamp, relatou (SUZIGAN e ALBUQUERQUE, 2008).

## **2.2 Transferência de Tecnologia da Universidade para o Mercado**

Transferência de tecnologia pode ser definida como um processo de compartilhamento de know-how, conhecimento técnico de uma instituição para outra, não apenas o produto ou processo é transferido, mas também o conhecimento de seu uso e aplicação (BOZEMAN, 2000).

Os Escritórios de transferência de tecnologia (ETT), são responsáveis por ampliar a comercialização do conhecimento acadêmico. De acordo com Silva e Suzigan (2018), a indústria metalúrgica percebeu a necessidade de melhorar seus conhecimentos tecnológicos, com isso obteve-se na UFMG o curso de pós-graduação em engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade.

Entretanto, Lundvall *et al.*, (2002) afirmam que nem sempre ocorrerá a interação U-E e, ela quando ocorre, a Universidade tem o conhecimento das necessidades da sociedade, podendo contribuir com avanços médicos e, também de outros setores, podendo estar ou não ligados a tecnologia.

Sessa e Grassi (2018) elencam alguns desafios da interação universidade-empresa:

- O ponto de vista de que o Estado deve financiar as atividades de pesquisa nas universidades para conferir autonomia aos pesquisadores ainda predomina.
- O número de docentes devidamente capacitados para executar projetos de pesquisa é insuficiente nas universidades.
- A pesquisa básica é mais valorizada em relação à pesquisa aplicada nas universidades.
- Falta de experiência por parte dos pesquisadores das universidades no setor produtivo.

Porém, em Paranhos *et al.*, (2018), a interação entre o setor privado e as Universidades Públicas pode gerar diversos resultados positivos para a sociedade. A parceria U-E em geral é exclusiva, pois uma indústria não quer compartilhar com a concorrência suas novidades e descobertas, por meio dos estudos acadêmicos. Tal como o P4tree licenciado para empresa, outras inovações também possuem segredo industrial e patentes.

Antes, a Universidade era apenas um castelo de graduação e suas pesquisas internas, atualmente o seu papel vem modificando tanto seu estilo, quanto o meio social onde se localiza. Portanto, a universidade atual dissemina além de seus conhecimentos, sua postura empreendedora, realizando conexões com instituições privadas, aumentando o leque da pesquisa interna e também os estudos voltados para as necessidades das empresas (RAPINI *et al.*, 2017).

As interações U-E ainda são poucas, outro fator, é a questão dos pesquisadores da rede, são 91 interações, sendo que 51% são de apenas 8 pesquisadores, que em média possuem 6 relacionamentos simultâneos. Além disso, a localização da empresa, não dá impedimento de criar redes. A USIMINAS, por exemplo, possui 10 interações, sendo 3 pesquisadores da USP, 3 da UFMG, e um em cada uma das organizações a seguir: UFSCAR, UFOP, PUC-RJ e IPT, fatos também mostrados pelos autores (DIAS *et al.*, 2018).

Em destaque, a UFMG que é a Líder em depositantes de patentes no país, dados de 2016, tendo 70 pedidos, relatório do INPI (Instituto Nacional de Propriedades Industrial), além desses, os pedidos como coautora chega a 91. A instituição teve em 2015, um recorde de 56 depósitos. (UFMG, 2017).

Não obstante a UFMG, possui diversas parcerias, o Outlab, foi idealizado como primeiro programa de aceleração dos laboratórios do Brasil, visando uma atuação no ecossistema de inovação e empreendedorismo. É de suma importância ressaltar que a tecnologia e inovação desenvolvidas nos centros de ensino e pesquisa cedem combustível para a economia e colaboram com o desenvolvimento social. A UFMG destacou que as equipes de 25 laboratórios participaram de nove semanas para aprimorarem a expansão de suas áreas comerciais (UFMG, 2016).

Em 2016, 50% eram da área da biotecnologia, assim mais uma marca em pedidos de patentes em biotecnologia no Brasil, tendo nesses pedidos, tecnologias como diagnóstico para dengue e doença de chagas. Depois da Biotecnologia, as outras áreas em que mais depositaram patentes em 2016, foram engenharia, farmácia e química. (UFMG, 2016).

Segundo Fioravante e Aguirre (2013), as universidades são meios de extrema importância para a ampliação do conhecimento e também para realizar pesquisas acadêmicas. Já as empresas, têm buscado na ciência meios para otimizar a produção e aumentar a competitividade, dessa forma a interação universidade e empresas promove a transferência de conhecimento e experiências. A Petrobras tem destaque nesse papel, ela possui característica e capacidade de cooperação (GIELFI *et al.*, 2017).

A Petroleira, teve sua criação na década de 50, assim nasceu uma das maiores empresas brasileiras com capital 100% público, hoje ela é um S/A, tal como o Banco do Brasil uma empresa de economia mista, a empresa trouxe consigo uma revolução na economia brasileira, a sua criação trouxe grandes transformações econômicas (Fioravante e Aguirre, 2013). Os efeitos das políticas de investimentos em P&D da Petrobrás, têm promovido interações entre a empresa e universidades em busca de novos conhecimentos e capacidades baseadas em pesquisas (GIELFI *et al.*, 2017).

A Petrobras faz diversas parcerias com centros de pesquisa e Universidades. Por vários motivos, além de ser difícil a imitação neste setor, destacando que a empresa tem uma qualificação de profissionais mais capacitadas do que a média, com isso os bens e serviços demandados pela Petrobrás possuem especificidades, portanto não estão disponíveis no mercado. As amplas parcerias de cooperação de pesquisa e desenvolvimento (P&D), podem resultar em inovações que suprem as necessidades da empresa, (FIORAVANTE e AGUIRRE, 2013).

Ao mapear as parcerias entre universidade e empresa no Brasil, para Fioravante e Aguirre (2013), as interações ocorrem de acordo as demandas nacionais, quando avaliados os dados do Cnpq, percebem-se as desigualdades regionais, nas quais, se espelham na produção técnico científica e na inovação. Diante disso, notou-se maior interação nos campos das ciências das Engenharias e Agricultura, já no campo da Saúde e biologia há um potencial em ascensão com áreas relacionadas a biotecnologia, entretanto essas conexões ainda são primárias.

As questões do desenvolvimento das criações em inovações, a ligação da ciência com a inovação, tal processo é proveitoso tanto para empresas quanto para as instituições. Atualmente, o Brasil com grande chance de desenvolvimento econômico, investe em tecnologia e pesquisa. (FIORAVANTE; AGUIRRE, 2013).

Outra interação importante é do setor de farmácia, a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), vinculado ao Ministério da Saúde, e o Instituto Butantã, vinculado à Secretaria de Saúde de São Paulo. Essas instituições oferecem cursos de pós-graduação e prestam grande papel para a

sociedade. A interação com indústrias farmacêuticas é dada por meio de pesquisa e, atividades conjuntas de P&D, e também para patentes. Porém a principal instituição em interações e com maior número de pesquisadores, é a universidade, isso ocorre também nas demais áreas (PARANHOS e PERIN, 2018).

### **2.3 Tríplice hélice e parcerias estratégicas**

O conceito da Hélice tríplice proposto por Etzkowitz (2003), é baseado na concepção da universidade empreendedora como agente indutor das interações entre as empresas e o governo. Nesse modelo, as empresas atuam como local de produção; o governo como fonte de relações contratuais que garantam interações e trocas de conhecimento e a universidade como fonte de novos conhecimentos e tecnologias.

Segundo Etzkowitz (2003), as universidades têm sido particularmente vistas como suporte de apoio à inovação, seja possibilitando a capacitação de pessoas, produto de pesquisa e conhecimento para as empresas e, mais recentemente, aumentando seu envolvimento na criação de empresas que constituem a tecnologia derivada do conhecimento dessas instituições.

Dessa forma, Etzkowitz & Zhou (2017) demonstram que o modelo da Hélice Tríplice parte da premissa que a interação entre universidade-indústria-governo é a chave para viabilizar as condições para o crescimento econômico e desenvolvimento de uma sociedade baseada no conhecimento. A medida que as esferas institucionais “assumem o papel do outro” equipara-se a um processo de inovação em formato de espiral entre as três hélices.

Segundo Leydesdorff (2000), os limites entre público e privado, ciência e tecnologia, universidade e indústrias estão em fluxo. As universidades e as empresas estão exercendo papéis que antes eram atribuições dos outros setores. Delinear essas relações é cada vez mais uma questão de políticas de ciência e tecnologia em diferentes níveis. As universidades estão procurando atender melhor às necessidades das empresas, que por sua vez tendem a buscar as qualificações das universidades como fonte de conhecimento (MEDEIROS, 2020).

Para Etzkowitz (2003), as universidades têm sido tipicamente vistas como uma estrutura de apoio à inovação, fornecendo mão de obra qualificada, resultados de pesquisa e conhecimento para a indústria. As universidades têm se envolvido cada vez mais na formação de empresas, e muitas vezes com base em novas tecnologias oriundas de pesquisas acadêmicas. O governo é a fonte das relações contratuais que promovem interações e intercâmbio estáveis. E a indústria é a protagonista no campo da produção (ETZKOWITZ; ZHOU, 2017).

De acordo com Valente (2010), a interação entre o governo-universidade-indústria, é indispensável para haver uma “inovação sustentável”, assim, a pesquisa, a ciência e a tecnologia são fatores intrínsecos ao modelo de hélice tríplice, tema hoje já abordado em vários países pelo mundo.

#### **2.4 Fósforo e sua importância**

O elemento químico fósforo foi descoberto em 1669 pelo alquimista Hennig Brandt quando o extraiu acidentalmente da urina humana. Desde então, tornou-se o primeiro elemento descoberto com técnicas científicas modernas. O fósforo é o sexto elemento mais abundante nos organismos vivos. Está presente desde o DNA (Ácido Desoxirribonucleico) que armazena e transmite as informações genéticas dos seres vivos ao ATP (Adenosina Trifosfato), molécula presente em todos os processos metabólicos (SHARPLEY *et al.*, 2018).

O fósforo apresenta um leque variado de aplicações em diversas atividades produtivas, mas é na agricultura, sob a forma de fertilizante, que ele se destaca. Em termos gerais, a rocha fosfática é a única fonte viável desse elemento, estando contida nos depósitos de origens sedimentares, ígneas e biogênicas (SOUZA e FONSECA, 2009).

#### **2.5 Importância do fósforo na agricultura/escassez/importação**

O Fósforo é um macronutriente, ou seja, a planta precisa de quantidades elevadas desse elemento, ele que gera e armazena energia importante na fotossíntese. Há muitos anos já se falava na exaustão das fontes naturais de fósforo, que é um nutriente essencial e insubstituível para a produção agrícola (EMBRAPA, 2022).

O Brasil é um grande produtor e exportador de grãos. Com isso, os fertilizantes possuem papel fundamental no cenário econômico e social. E diante disso o país ampliou sua demanda por fertilizantes a partir de 1960, que naquela década em apenas 30% das terras cultivadas utilizava-se fertilizantes, hoje o país é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, segundo a ANDA (2022) (Associação Nacional para Difusão de Adubos). De acordo com a FAO (2021), a segurança alimentar está ligada diretamente a disponibilidade de alimentos no mundo. Diante disso, para a alta produtividade de alimentos, é necessário termos quantidades satisfatórias dos macronutrientes e micronutrientes. Dessa forma, o fósforo, como fertilizante, proporcionou suporte para produção comercial de alimentos (SHARPLEY *et al.*, 2018).

Em um cenário de importação de 50% dos fertilizantes fosfatados, a economia do agronegócio e a própria população sentem os reflexos da alta da variação cambial na produção de alimentos. É certo que o país explora rochas fosfáticas nas jazidas que estão espalhadas pelo território nacional, principalmente nas cidades de Catalão-GO, Patos de Minas-MG, Araxá-MG, (DAMINATO; BENITZ, 2015).

De acordo com Dias (2018), pelo fato do fósforo em sua forma primária (encontrado em rochas fosfáticas) ser uma fonte finita na natureza, a perspectiva de escassez leva os pesquisadores a alertar para a necessidade de se pensar em sistemas de produção que racionalizem o uso desse insumo. É importante ressaltar que o país necessita criar tecnologias para recuperar de forma sustentável nutriente como o fósforo, a Embrapa produz estudos para que a atual realidade seja diferente (EMBRAPA, 2022).

## **2.6 Problema ambiental do fósforo: efluentes industriais e urina**

A produção de fertilizantes inorgânicos, em larga escala teve início no século passado (Embrapa, 2022) e tem aumentado fortemente nos últimos anos (PANTANO *et al.*, 2016). Além disso, a projeção do aumento populacional mundial é alarmante, cerca de 2,3 bilhões a mais de pessoas, isso fará que a demanda por alimentos se amplie ainda mais, para que haja segurança alimentar, de acordo com a (FAO, 2022).

Com isso, o uso de fertilizantes deverá ser ampliado, dentre eles o P, o que poderá causar mais danos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2022). O seu excesso, ( $> 0,02 \text{ mg L}^{-1}$ ), quando lançado em corpos hídricos, provenientes de efluentes de esgoto não tratados e da atividade agrícola, pode desencadear o processo de eutrofização (SELIEM *et al.*, 2016).

Segundo Carvalho (2004), a eutrofização é um processo de poluição de cursos d'água, como rios e lagos, que resulta num aumento de nutrientes essenciais para o fitoplâncton (algas) e plantas aquáticas superiores, dentre eles o fósforo. Os efeitos se manifestam com a quebra do equilíbrio ecológico, pois passa a haver mais produção de matéria orgânica do que o sistema é capaz de decompor. A questão da eutrofização artificial, é um problema ocasionado pela falta de oxigenação na água, que irá resultar na maior produção de algas, que irão bloquear a entrada de luz na água, assim gerando a morte dos peixes e biota do local, que irá ampliar o número de bactérias neste ambiente (MORAES, 2019).

## 2.7 Recuperação de fósforo

Antes da revolução industrial o uso de fósforo era por dejetos de animais, a seguir passaram a ser usados os fertilizantes químicos e com o aumento da produtividade de alimentos e maior produção de ração, ocasionada pelo aumento expressivo no consumo de carnes a demanda por fertilizante aumentou. Diante exposto, é necessário possuir estratégias sustentáveis ao uso das rochas fosfáticas, pois o esgotamento da rocha fosfática pode levar a concentração da produção em poucos países, aumentando dessa forma o custo da produção. (VAN VUUREN *et al.*, 2010).

Visando obter fósforo de fontes secundárias, pesquisas foram desenvolvidas na recuperação desse elemento por meio da precipitação de estruvita. De acordo com Souza (2017) a estruvita é um composto formado por concentrações equimolares de fósforo, nitrogênio e magnésio, podendo ser utilizada como fertilizante. Em sua pesquisa, concluiu que o reator em escala piloto para precipitação de estruvita obteve bom desempenho. Portanto, estudos com objetivo de obter fósforo de fontes renováveis são de suma importância tanto para questão ambiental quanto para questão econômica (MARONEZE *et al.*, 2014).

## 2.8 Adsorventes de fósforo

Como já citado, a alta demanda de nutrientes para a produção de alimentos mundialmente é intensa, sendo necessário pensar em formas sustentáveis e mais acessíveis para se obter os fertilizantes (ITPS, 2015).

É de grande importância selecionar um eficiente adsorvente de fósforo, visto que são poucas opções estudadas, a adsorção é um dos métodos mais eficientes para o processo de remoção do fósforo dos efluentes. Para que um produto seja eficiente como adsorvente, o mesmo deve possuir a capacidade de adsorção e área de superfície específica elevada, pois em geral, quanto maior a superfície específica maior será a capacidade de adsorção. Também é importante que o sólido seja química, mecânica e termicamente estável, que promova uma cinética de adsorção rápida e seja economicamente viável (BONILLA-PETRICIOLET *et al.*, 2017).

Segundo Kahan e Ansari (2005), o fósforo, é um dos nutrientes que mais afetam negativamente as águas, ele é um dos grandes vilões da eutrofização, assim sendo mais difícil o processo remoção com métodos convencionais.

Braun (2018) avaliou a adsorção de fósforo por carvão ativado comercial impregnado com óxidos de ferro (CAG-Fe). Para isso, foi feita uma forma de mecanismo de impregnação que resultou em maior capacidade de adsorção de fósforo. Ainda, foi definido que o adsorvente deve ser mantido em ambiente inerte após a preparação, para manter as características de desempenho.

Uma forma alternativa de remoção destes nutrientes dos efluentes, pode ser por meio da precipitação de estruvita ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ). Tal possibilidade, é uma das mais econômicas no que tange a recuperação do fósforo, a estruvita é muito eficaz para deslocar o P em forma de fosfato, assim tendo um ponto ótimo entre 80,85% a 84,58% da quantidade de fósforo total (GERHARDT, 2018).

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Produção do P4Tree**

Após vários estudos e experimentos realizados no Departamento de Química da UFMG buscando desenvolver tecnologias para a recuperação de fosfato presente na urina e em outros efluentes, chegou-se à formulação do P4Tree. A tecnologia é composta em sua maior parte por materiais e minerais utilizados na agricultura como corretores de pH em solos. Dentre eles, o serpentinito que é um dos materiais base desenvolvidos na tecnologia, que após passarem por um tratamento térmico em laboratório, adquirem a propriedade de captura e adsorção do fósforo de forma seletiva. Os processos de síntese do material, sua composição e aplicação em efluentes estão protegidos pelo depósito de patente pela UFMG, BR1020170116557.

Em escala de laboratório foi possível a produção de gramas do P4Tree. No entanto, para realizar os testes no carnaval seriam necessários quilos do produto. Diante disso, iniciou-se uma colaboração com a empresa Pedras Congonhas com sede em Nova Lima – MG, que é parceira da UFMG, para produzir o P4Tree em maior quantidade. No primeiro momento, em 2018 foi fabricado 7 Kg de P4Tree em formato de pastilhas, mas visando obter uma maior superfície de contato, chegou-se ao formato de pellet com menor granulometria, sendo produzido 120 Kg, que foram utilizados nos carnavais de 2019 e 2020.

#### **3.2 Testes no carnaval**

No carnaval em 2018, a operação piloto consistiu na implementação do material P4Tree em 6 banheiros químicos durante um dia de carnaval, que foram instalados em pontos estratégicos da cidade – dois fixos, próximos ao palco montado na Avenida Brasil, e quatro volantes alocados na Praça da Liberdade, no desfile do bloco da Esquina, no Bairro Santa Tereza, na passagem do bloco Filhos de Tchá Tchá, na Regional Barreiro e no desfile do bloco do Peixoto, no Bairro Santa Efigênia. Todos foram adesivados e plotados pela Belotur em parceria com a empresa de banheiros químicos contratada, e contou com dois profissionais de apoio em cada banheiro para explicar o projeto.

No eixo Sustentabilidade e Inovação do planejamento das diretorias de Eventos e Políticas de Turismo e Inovação da Belotur, no carnaval 2019, os testes foram replicados e ampliados para 100 banheiros químicos, devido ao sucesso ocorrido no ano anterior. Que foram

divididos em 25, nos quatro dias e em dois locais diferentes do carnaval de Belo Horizonte, pré-estabelecidos e sugeridos pela Belotur, com objetivo de experimentar públicos diferentes que frequentam os blocos de cada local e horário. Os locais sugeridos foram: palco da Avenida Brasil e palco da Praça da Estação.

Para o carnaval 2019, a equipe P4Tree propôs a necessidade de realizar um teste preliminar no pré-carnaval. O foco principal foi entender a logística do banheiro, a disposição do sachê e consequentemente a esterilização posterior ao recolhimento do material. Realizou o teste pré-carnaval no dia 15 de fevereiro de 2019, no palco da Rua Goiás com apenas um banheiro químico. A retirada do material foi tratada em parceria com Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFMG.

No carnaval 2020 planejou-se a inserção da tecnologia P4Tree em 110 banheiros químicos, distribuídos em 4 dias e 2 locais diferentes. Assim como nos anos anteriores todos os banheiros foram adesivados e plotados pela Belotur. Os locais sugeridos para instalação dos banheiros químicos foram: Rua Araguari, Barro Preto e Palco infantil no Parque Municipal Américo Renné Gianneti que é patrimônio ambiental mais antigo de Belo Horizonte.

### **3.3 Coleta, armazenamento e esterilização P4Tree**

A instalação dos sachês foi feita pela equipe P4Tree nos banheiros químicos uma hora antes do início do fluxo de pessoas e a coleta do material foi realizada por uma pessoa devidamente capacitada em manusear resíduos ao final de cada dia, por volta das 19 horas, quando esperava-se não haver mais fluxo de foliões. Todos os sachês foram inseridos em bombonas de 50 litros e transportado para o laboratório de Química da UFMG para esterilização. Já no laboratório, adicionou-se hipoclorito de sódio até que todos os sachês ficassem submersos nas bombonas, cujo objetivo foi promover a esterilização do produto a um baixo custo.

Foi feito também um teste de esterilização térmica em estufa a 120 C° por 72 horas após o P4Tree ficar em contato com hipoclorito de sódio. Devido ao grande volume do material, o P4Tree foi colocado em 6 bandejas e retiradas amostras para realização do teste. Foram utilizados três métodos para constatar unidades formadoras de colônia: PCA - Ágar Padrão, CIP - Ágar acrescido de ciprofloxacina e TRIAZOL – Ágar acrescido de Trimetoprina + Sulfametoxazol.

### 3.4 Preparo para uso em casa de vegetação

As bombonas contendo material utilizado nos carnavais 2019 e 2020 foram transportadas para o Jardim Botânico da FPMZB, local onde os sachês contendo o P4Tree foram lavados em água corrente para remoção do hipoclorito de sódio e também das impurezas. Após esse processo, o material foi colocado para secar em estufa agrícola. Passados 7 dias, o material estava totalmente seco, os sachês foram cortados, o P4tree foi retirado e novamente armazenado em bombonas e enviado à empresa Pedras Congonhas para trituração até que obtivesse a consistência de pó, com intuito de aumentar a superfície de contato. Quando o material retornou com a granulometria apropriada, iniciou-se a realização dos testes, que foram realizados para medir o pH e os resultados mostraram uma alta basicidade.

### 3.5 Experimentos nos vasos

O experimento com o P4Tree utilizado no carnaval foi conduzido no viveiro de produção de mudas do Jardim Botânico da Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica de Belo Horizonte, município de Belo Horizonte – MG, situado entre as coordenadas 19°51'31" S e 44°00'42" W.

Para o experimento, utilizou-se frutos de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) e mutamba (*Guazuma ulmifolia*) que foram coletados de matrizes localizadas na Zoobotânica e beneficiados de forma manual para extração das sementes, sendo estas selecionadas de acordo com a integridade do tegumento, regularidade da forma e uniformidade do tamanho, descartando-se sementes malformadas e com danos físicos aparentes.

Para acelerar o processo de germinação das sementes foi feita a quebra de dormência com escarificação mecânica para espécie tamboril, com utilização de um moto-esmeril no lado oposto ao hilo. E a escarificação térmica com água à 90° C, por 5 minutos para as sementes de mutamba. Após a superação da dormência as sementes foram germinadas em sementeiras dentro de estufa agrícola com irrigação automatizada.

Após a germinação das sementes, as plântulas foram transplantadas para recipientes de polietileno com volume de 1,7 dm<sup>3</sup>, e foram previamente adubados com 300 mg de N, 100 mg de K, 50 mg de S, 15 mg de Mg e micronutrientes, e também com diferentes concentrações de P4Tree e acondicionadas em estufa agrícola com irrigação manual.

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema fatorial 7 x 2, com 4 repetições, totalizando 56 parcelas experimentais. Foram utilizadas 6 plantas por parcela, sendo 168 plantas por espécie, totalizando 336 plantas. Os tratamentos experimentais consistiram de sete (07) composições do substrato de cultivo e duas (02) espécies arbóreas. As composições do substrato foram: solo sem fertilização com fósforo ou P4tree (testemunha); solo com 200 mg.Kg<sup>-1</sup> de P de superfosfato simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – fertilizante fosfatado convencional utilizado pelo Jardim Botânico da FPMZB (SS); solo com 200 mg.Kg<sup>-1</sup> de P4Tree estéril sem neutralizar e solo fertilizado com 4 doses crescentes de P4Tree (100 mg.Kg<sup>-1</sup>; 200 mg.Kg<sup>-1</sup>; 400 mg.Kg<sup>-1</sup>; 800 mg.Kg<sup>-1</sup>) neutralizados do 0,2 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Na condução do experimento foram avaliadas nas plantas as seguintes variáveis: altura de planta aos 30, 60, 90 e 120 dias; diâmetro do colo da muda aos 30, 60, 90 e 120 dias; biomassa seca da raiz; biomassa seca da parte aérea; biomassa seca total; teor inicial de fósforo no solo; teor final de fósforo no solo; pH inicial do solo; pH final do solo; teor e conteúdo de fósforo nos tecidos da raiz e da parte aérea das plantas.

### **3.6 Medidas realizadas em laboratório**

Medidas de pH do solo utilizado no experimento e testes de neutralização do P4Tree foram realizados no laboratório do Escalab. Para medição do pH, utilizou-se um pHmetro da marca pHTEK, foram preparadas amostras com uma quantidade mista de solo misturado ao P4Tree e adicionado 50 mL de água.

Para neutralização do P4Tree foram utilizados 20g do material triturado, completou-se com água até alcançar o peso de 100g de solução. A solução foi deixada em agitação magnética por 5 minutos. A solução de ácido sulfúrico utilizada foi a de concentração 1 mol/L. O método utilizado para adição do ácido foi a titulação volumétrica. Durante todo o processo foi utilizado um pHmetro para acompanhamento do valor de pH que inicialmente estava em 13,32. A titulação foi feita de 1 mL em 1 mL de solução, observando cautelosamente a diminuição do pH. Após adicionar 23 mL de solução, observou-se a pequena diferença no pH da mistura. A partir de então, a solução foi adicionada de 2 mL em 2 mL, e no final, um maior volume de uma só vez, até que se atingiu o pH de 3,71, utilizando 75 mL de solução de ácido sulfúrico, no total.

O P4Tree utilizado no experimento com as mudas florestais foi neutralizado com ácido sulfúrico 0,2 M conforme.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atores envolvidos no teste da tecnologia P4Tree: Belotur, a FPMZB, Brandt meio ambiente, Mineração Pedras Congonhas e UFMG.

O projeto P4Tree, do ponto de vista institucional, foi constituído de um arranjo complexo envolvendo cinco organizações de naturezas diferentes: a UFMG, a Belotur, a FPMZB (Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica), a Brandt meio ambiente, a Mineração Pedras Congonhas e UFMG. Conforme proposto por Etzkowitz (2003), a interação dos atores acima citados forma a hélice tríplice, sendo o governo representado pela Belotur e FPMZB, as empresas representadas pela Brandt meio ambiente e Pedras Congonhas e a universidade representada pela UFMG. A seguir apresenta-se os atores.

A Belotur, Empresa Municipal de Turismo de Belo Horizonte S/A é uma empresa pública da administração indireta municipal, com personalidade jurídica de direito privado, patrimônio próprio e autonomia administrativa, técnica e financeira vinculada à Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico da Prefeitura de Belo Horizonte, Figura 1.

Figura 1 - Logo Belotur.



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte.

A Belotur foi criada pelo Artigo 14 da Lei Municipal Nº 3.237 de 11 de agosto de 1980, tem por missão executar a Política Municipal de Turismo de Belo Horizonte, supervisionar, coordenar e orientar todas as atividades inerentes ao desenvolvimento do turismo, lazer e serviços relacionados, seguindo o disposto na legislação municipal e nas normas regulamentares decorrentes. Assim como, promover a capital mineira para que se torne um polo de destino turístico de renome nacional e internacional. (BELO HORIZONTE, 2019). O turismo é um importante transformador da economia e da sociedade, podendo promover inclusão social e gerar oportunidades de emprego e renda. Sob essa perspectiva, Belo Horizonte recebeu recentemente, em março 2021, a visita técnica de representantes do Ministério do Turismo e da Wakalua Inovation Hub, cujo objetivo foi apresentar a cidade, seu ecossistema de

inovação, seu potencial turístico. A capital mineira está no processo de seleção que receberá o primeiro Hub de Inovação no Turismo do Brasil, concorrendo com outros quatro municípios (Maceió, Salvador, Rio de Janeiro e Foz do Iguaçu), (BELO HORIZONTE, 2021).

A Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica - FPMZB foi criada a partir da fusão entre a Fundação Municipal de Parques com a Fundação Zoobotânica por meio do Decreto 16.684, de 31 de agosto de 2017, com a principal missão de promover ações e programas de educação e manejo ambientais, atividades de lazer, esporte, cultura e cidadania, Figura 2.

O Jardim Botânico de Belo Horizonte foi instituído em 5 de junho de 1991. Desempenha importante papel em programas educativos, pesquisa e conservação das espécies da flora, principalmente mineira. Por nove anos atuou no bairro Betânia, zona Oeste da capital, e em 2001, transferido para a atual estrutura onde divide espaço com o Jardim Zoológico na região da Pampulha (BELO HORIZONTE, 2017).

Segundo Pereira e Costa (2010), os Jardins Botânicos são espaços protegidos que contribuem na formulação de políticas públicas e no desenvolvimento de programas de ensino e pesquisa. São instituições de referência na área da botânica aplicada e fitossanitarismo. Tem como prioridade pesquisas e ações voltadas à proteção da flora regional, com foco em espécies raras, endêmicas e ameaçadas de extinção. Assim como conscientizar a população sobre os danos provocados pela ação humana na perda da biodiversidade.

Figura 2 - Logo Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica.



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte.

A Brandt Meio Ambiente é uma empresa com experiência em programas e estudos na área ambiental, desenvolvidos no Brasil e em outros países, Figura 3. Estruturada na forma de um sistema de “Disciplinas Core” – onde há um profissional especialista para cada disciplina, o que possibilita uma equipe técnica coerente e consistente para a garantia de sua prestação de serviços.

Sua missão é fornecer soluções efetivas para os desafios socioambientais, por meio da análise do ambiente, da espacialização geográfica das informações e da construção de

estratégias integradas, com o compromisso de proporcionar retorno ambiental, econômico e social para nossos clientes e para a sociedade.

Figura 3 - Logo BRANDT meio ambiente



Fonte: BRABDT meio ambiente.

A mineradora Pedras Congonhas Extração Arte Indústria Ltda, localizada em Nova Lima/MG, Figura 4, é uma empresa consolidada no mercado, tendo sido fundada em 1971 e iniciado suas atividades no fim da década de 70. Como o próprio nome indica, inicialmente a mineração era voltada para obtenção de pedras ornamentais, mas depois de algum tempo a produção foi direcionada para a indústria siderúrgica, sendo atualmente considerada a principal cliente do minério. Além da comercialização do minério para aplicações siderúrgicas destaca-se também utilização na construção civil.

A mineradora produz diversos tipos de agregados como vários tipos de brita e pedras para diversas aplicações. Busca-se atender as necessidades de cada cliente, adaptando a granulometria e as características do que é produzido. A empresa busca inovar, tendo um setor de desenvolvimento de novos produtos. Para isso, conta com colaboradores formados nas áreas das engenharias Química, Civil, de Minas e também em Geologia.

Figura 4 - Logo Pedras Congonhas.



Fonte: Mineradora Pedras Congonhas.

A UFMG é uma instituição pública de ensino superior - Figura 5, fundada em 7 de setembro de 1927. Tem por finalidade a geração, o desenvolvimento, a transmissão e a aplicação de conhecimentos por meio do ensino, da pesquisa e da extensão, compreendidos de forma indissociada e integrados na educação e na formação científica e técnico-profissional de cidadãos imbuídos de responsabilidades sociais, bem como na difusão da cultura e na criação filosófica, artística e tecnológica (UFMG, 2022).

Figura 5 - Logo UFMG.



Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais

#### **4.2 Arranjo UFMG-BELOTUR-Brandt- Pedras Congonhas-FPMZB**

A tecnologia P4Tree foi criada pelo Departamento de Química da UFMG dentro do projeto FUNTEC – Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico do BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social cujo objetivo é apoiar financeiramente projetos de P&D nos Institutos de Tecnologia em parceria com empresas, a fim de levar o conhecimento da academia ao mercado, estimulando o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o País. A proposta do projeto foi desenvolver e aprimorar, através de parceria indústria/academia/setor público, material para captura de fósforo na urina humana utilizando a tecnologia P4Tree.

Nesse contexto, a tecnologia foi desenvolvida em conjunto com a empresa Brandt Meio Ambiente e também com a empresa Pedras Congonhas que buscava novas aplicações para o serpentinito extraído de sua mina. Posteriormente, a tecnologia foi licenciada para a Brandt Meio Ambiente.

A Belotur, após ter conhecimento da tecnologia quis testar o potencial do ponto de vista do marketing em seu carnaval de rua. O projeto de implementação do P4Tree no carnaval de 2018 de Belo Horizonte foi celebrado através de acordo de parceria entre a Belotur e a UFMG. Foi criado um “Termo de Autorização de Teste de Tecnologia” com intuito de formalizar a

utilização da tecnologia desenvolvida pela UFMG em um espaço público, investigando-se aspectos técnicos e comportamentais de usuários.

Também em 2019, a UFMG e a FPMZB celebraram o “Termo de Autorização para Teste de Tecnologia obtida de Patente” documento no qual autorizava a FPMZB realizar testes da tecnologia P4Tree aplicada no carnaval para produção de mudas florestais utilizadas na arborização urbana de Belo Horizonte, cuja finalidade seria entendimento do possível potencial de fertilização do P4Tree, por meio da disponibilização de fósforo, uma vez que, tal tecnologia inovadora tem o poder de adsorver o fósforo da urina.

### 4.3 Uso nos carnavais da Belotur

Para cada banheiro químico (Figura 6) foi instalado um sachê contendo 400 g do material P4Tree. No carnaval de 2018, utilizou-se o P4Tree em formato de pastilha e, nos carnavais 2019 e 2020, o P4Tree foi utilizado em formato de pellet, Figura 7. A mudança no formato e volume do produto visou aumentar a superfície de contato. Já a massa do sachê, foi dimensionada a partir da quantidade necessária para capturar o fósforo proveniente da urina, considerando um reservatório contendo cerca de 220 litros de dejetos.

Figura 6 - Banheiros químicos adesivados e plotados carnaval Belotur.



Fonte: Arquivo pesquisadores P4Tree.

A instalação dos sachês foi feita de forma manual, utilizando saliências internas ao banheiro na própria superfície do vaso para fixá-lo, de forma que o mesmo permanecesse pendurado no tanque, sem atingir o chão. Desta forma, o material teria um contato ótimo com todo o dejetos depositado.

Figura 7 - Sachês contendo P4Tree em formato pastilha (esquada) e em formato de pellet (direita).



Fonte: Arquivo pesquisadores P4Tree.

#### **4.4 O time UFMG que acompanhou o P4Tree e Campanha de comunicação**

Um time de monitores do Departamento de Química da UFMG foi selecionado para acompanhar o uso do P4Tree no carnaval. A partir de questionário eletrônico a inscrição para participação como Promotores do Carnaval foram registradas 56 inscrições de alunos de pós-doutorados, doutorandos, mestrandos e graduandos interessados em participar. O treinamento foi realizado no Departamento de Química da UFMG para a conscientização e apresentação do P4Tree aos foliões. Todos estavam devidamente uniformizados com camisas e identificação produzidas pela Belotur. O material de divulgação foi impresso em papéis reciclados em parceria com a empresa Papel Semente, no total de 3000 prospectos, reforçando o cunho sustentável da ação. Além disso, foram produzidos 300 relicários para plantio em parceria com a empresa Broto ao Cubo, sendo que 100 deles foram distribuídos para influenciadores digitais, que divulgaram previamente a ação, e o restante foi distribuído para foliões presentes no Parque Municipal, cujo público era mais familiar.

## 4.5 Testes de esterilização

A instalação dos sachês foi feita pela equipe P4Tree nos banheiros químicos uma hora antes do início do fluxo de pessoas e a coleta do material foi realizada por uma pessoa com experiência em manusear resíduos ao final de cada dia. Todo material foi inserido em bombonas de 50 litros e transportado para o laboratório de Química da UFMG para esterilização. Já no laboratório, adicionou-se hipoclorito de sódio até que todos os sachês ficassem submersos na bombona. O material ficou submerso em hipoclorito de sódio, após esse período foi lavado em água corrente, colocado para secar em estufa agrícola por 7 dias, Figura 8.

Figura 8 - Secagem do material P4Tree após esterilização.



Fonte: Autoria própria

## 4.6 Testes em casa de vegetação

### 4.6.1 A escolha do solo

A terra de subsolo utilizada na preparação do substrato não possui procedência definida, foi adquirida por meio de doação, Figura 9. Amostra do material foi encaminhada ao Laboratório de Análise de Solo do Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA) para realização de análises de fertilidade e pH, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 01 e 02.

Figura 9 - Solo doado e depositado no Jardim Botânico de BH para os experimentos.



Fonte: Autoria própria

Tabela 1 - Resultado da análise de fertilidade da amostra de subsolo que será utilizada na preparação do substrato empregado no experimento.

H <sub>2</sub> O	H + Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P*	K*	SB	T	t	m	V
pH		cmol.carga/dm <sup>3</sup>			Mg/dm <sup>3</sup>		cmol.carga/dm <sup>3</sup>			%	
5,8	2,17	0,13	0,30	0,10	0,3	12	0,43	2,60	0,56	23,19	16,43

\*Extrator Mehlich 1

O solo utilizado mostrou um pH de 5.8 indicando sua natureza ácida que é uma característica de solos brasileiros. A concentração de Al<sup>3+</sup> foi de 0.13 cmol/dm<sup>3</sup> mostrando que no solo em questão não há problema de toxidez por alumínio. O teor de Ca<sup>2+</sup> foi de 0,30 cmolc/dm<sup>3</sup> e de Mg<sup>2+</sup> 0,10 cmolc/dm<sup>3</sup> indicando valores considerados muito baixos. A concentração de P foi de 0,3 mg/dm<sup>3</sup> valor considerado muito baixo, também característica de solos brasileiros pobre em fósforo. O teor de K foi de 12 mg/dm<sup>3</sup>, assim como os demais nutrientes também é considerado baixo.

Tabela 2 - Teores de matéria orgânica e granulometria do solo encontrados na amostra de subsolo utilizada na preparação do substrato empregado no experimento.

MO	C	Areia	Silte	Argila
dag/kg		-----%-----		
1,06	0,62	39,54	5,83	54,63

Observa-se que teor de matéria orgânica desse solo foi de 1.06 dag/kg que indica um solo pobre. A fração areia 39,5%, silte 5,8% e argila 54,6% caracterizam o solo como argiloso.

#### 4.6.2 Escolha das espécies

##### Tamboril

O Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) da família Leguminosae-Mimosoideae é uma planta decídua no inverno, heliófita de grande porte, seletiva higrófila, pioneira, dispersa em várias formações florestais. É indicada para reflorestamentos de áreas degradadas de preservação permanente, principalmente por seu rápido crescimento inicial (LORENZI, 2002).

De acordo com Morim *et al.*, (2020), a espécie não é endêmica do Brasil, ocorre nos seguintes domínios fitogeográficos Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Com as seguintes ocorrências confirmadas nos estados: Bahia, Ceará. Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina.

Segundo Carvalho (2003) é uma espécie com grande plasticidade ecológica, e suas raízes apresentam micorrizas arbusculares e associam-se com *Rhizobium*. Sua madeira pode ser usada em construções navais e civil, já para produção de energia não é indicada por produzir lenha de má qualidade.

A espécie foi escolhida pela sua rusticidade e rápido crescimento na fase de viveiro, Figura 10.

Figura 10 - Árvore adulta do tamboril.



Fonte: Google imagens.

## Mutamba

A Mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam.) pertence à família Sterculiaceae é uma planta semidecídua, heliófita, pioneira, característica das formações secundárias ocorre em quase todo o país, desde a Amazônia até o Paraná principalmente na floresta latifoliada semidecídua. Cresce em lugares abertos e margem de rios, devido ao rápido crescimento é indicada reflorestamento de áreas degradadas. A árvore apresenta bela copa que proporciona ótima copa, podendo ser utilizada com sucesso no paisagismo em geral (LORENZI, 2002).

Segundo Colli-Silva (2020) é uma espécie nativa, não endêmica do Brasil. Encontrada nos domínios fitogeográficos: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal. Com ocorrências confirmadas em todos os estados brasileiros.

A madeira de mutamba pode ser empregada de várias maneiras, como obras internas, carpintaria em geral, marcenaria, postes e violinos. É uma espécie considerada excelente para produção de energia com poder calorífico 18,400KJ/Kg, (CARVALHO, 2006).

As espécies foram escolhidas para o experimento devido ao rápido crescimento na fase de muda, o que daria uma resposta mais rápida ao estudo proposto. A escolha dessa espécie se deu pelo rápido crescimento na fase de viveiro, e pela experiência de cultivo no Jardim Botânico, Figura 11.

Figura 11 - Árvore adulta de mutamba.



Fonte: Google imagens

### 4.6.3 Germinação das sementes

Os frutos de tamboril foram coletados em outubro de 2019, de matrizes localizadas na Fundação Zoobotânica diretamente das árvores quando se verificou o início da queda espontânea e beneficiados com auxílio de martelo para remoção das sementes. Para superação da dormência, realizou-se a escarificação mecânica em moto esmeril. Após a escarificação, as sementes foram colocadas em sementeira contendo areia em estufa agrícola, recebendo irrigação de forma automatizada cinco vezes ao dia. A germinação ocorreu após 7 dias.

Os frutos de mutamba foram coletados em novembro de 2019, de matrizes localizadas no Parque das Mangabeiras após a queda espontânea e beneficiados manualmente utilizando um martelo para remoção das sementes. Para superação da dormência e remoção da mucilagem, as sementes foram imersas em água à 60° C por um período de 15 minutos. Após o tratamento térmico, as sementes foram colocadas para secar a sombra, e então colocadas para germinar em sementeira contendo leito de areia em estufa agrícola recebendo irrigação de forma automatizada cinco vezes ao dia. A germinação ocorreu após 9 dias, Figura 12.

Figura 12 - Germinação de sementes de mutamba (esquerda) e tamboril (direita).



Fonte: Autoria própria

### 4.7 Testes preliminares de incubação inicial do solo

Amostras de solo foram incubadas com P4Tree em diferentes concentrações, Tabela 3, com intuito de verificar o comportamento do P4Tree no solo em estudo. Manteve-se a umidade aproximada de 50% por um período de 90 dias, Figura 13. A cada 30 dias retirava-se amostras e enviava-se ao laboratório para realizar análise química de fertilidade e pH.

Tabela 3 - Quantidades de P4Tree utilizadas na incubação do solo.

<b>Identificação</b>	<b>Proporção dos componentes</b>
T1	Solo sem adição de P4Tree
T2	Solo com 5 g/dm <sup>3</sup> de P4Tree
T3	Solo com 20 g/dm <sup>3</sup> de P4Tree
T4	Solo com 20 g/dm <sup>3</sup> de P4Tree (neutralizado)
T5	Solo com 50 g/dm <sup>3</sup> de P4Tree

Figura 13 - Solo incubado com P4Tree.

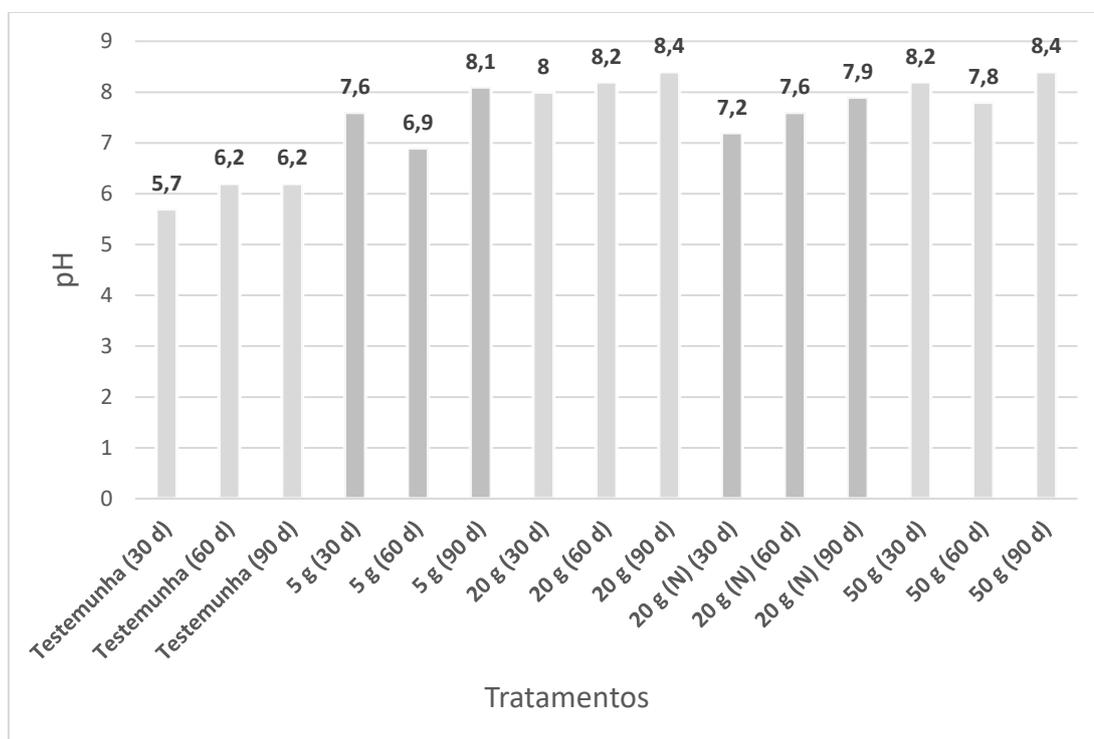


Fonte: Autoria própria

#### 4.7.1 Efeito do P4Tree no pH do solo incubado

Observa-se no gráfico da Figura 14 que a amostra do solo testemunha mostrou pH entre 5,7 em 30 dias chegando a 6,2 após 90 dias. Com a adição de 5 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree observou-se um aumento de pH 6,9-8,1. Para a dosagem de 20 g/dm<sup>3</sup> observou-se pH de 8,0-8,4. Esses resultados mostram claramente um forte impacto do P4Tree no pH do solo. Foi utilizando também uma amostra de P4Tree neutralizada com ácido sulfúrico. Experimentos com dosagem de 20 g/dm<sup>3</sup> neutralizado mostraram um menor impacto no pH do solo chegando a valores de 7,2 com 30 dias a 7,9 com 90 dias. Quando se adiciona 50 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree ao solo o pH é elevado para 8,2, chegando a 8,4 ao final de 90 dias. Os resultados demonstram que ao se adicionar P4Tree no solo, mesmo que pequena quantidade há um aumento significativo do pH.

Figura 14 - Resultado da análise de solo para pH aos 30, 60 e 90 dias de incubação com P4Tree.



Fonte: Autoria própria

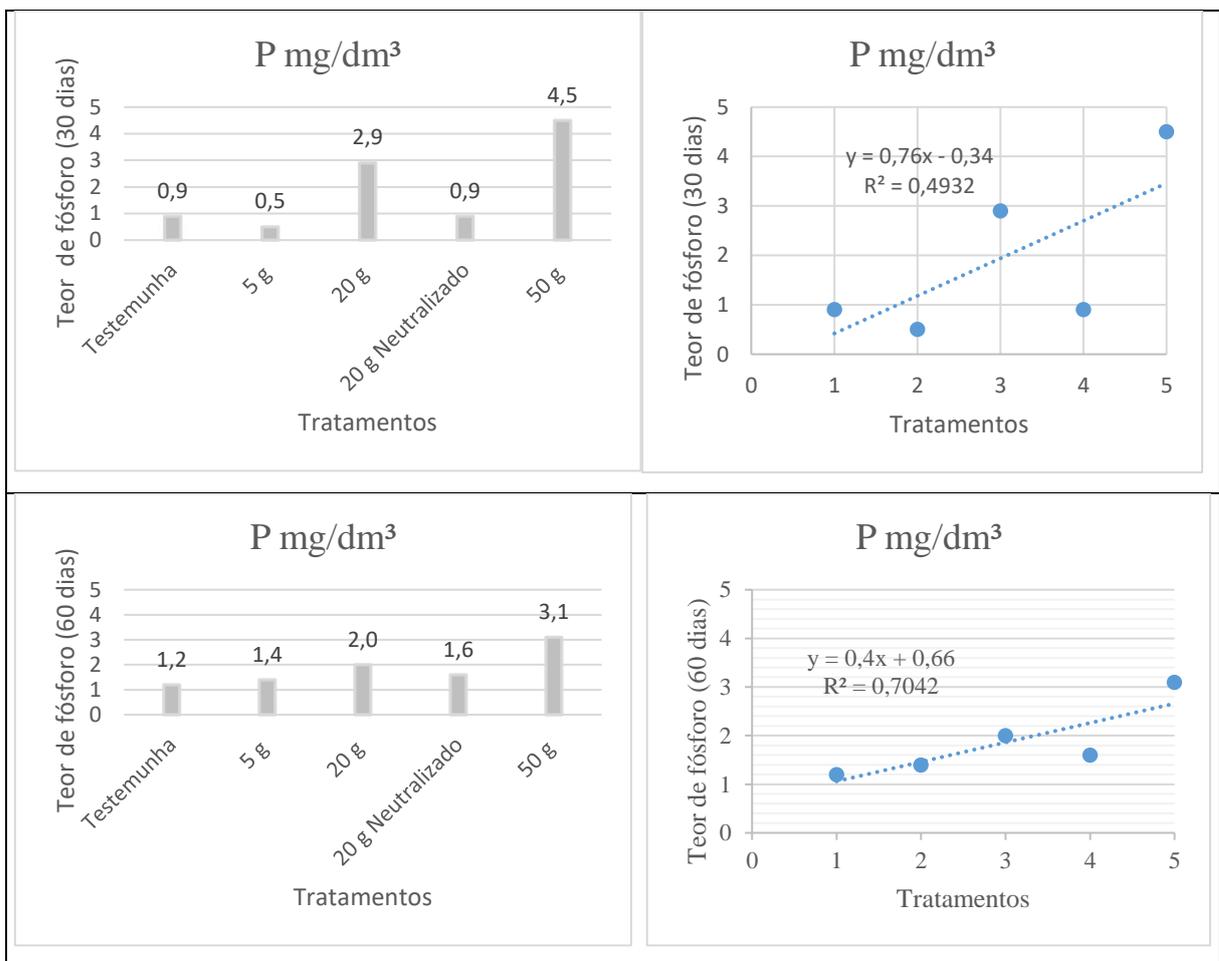
#### 4.7.2 Análise do teor de P no solo incubado

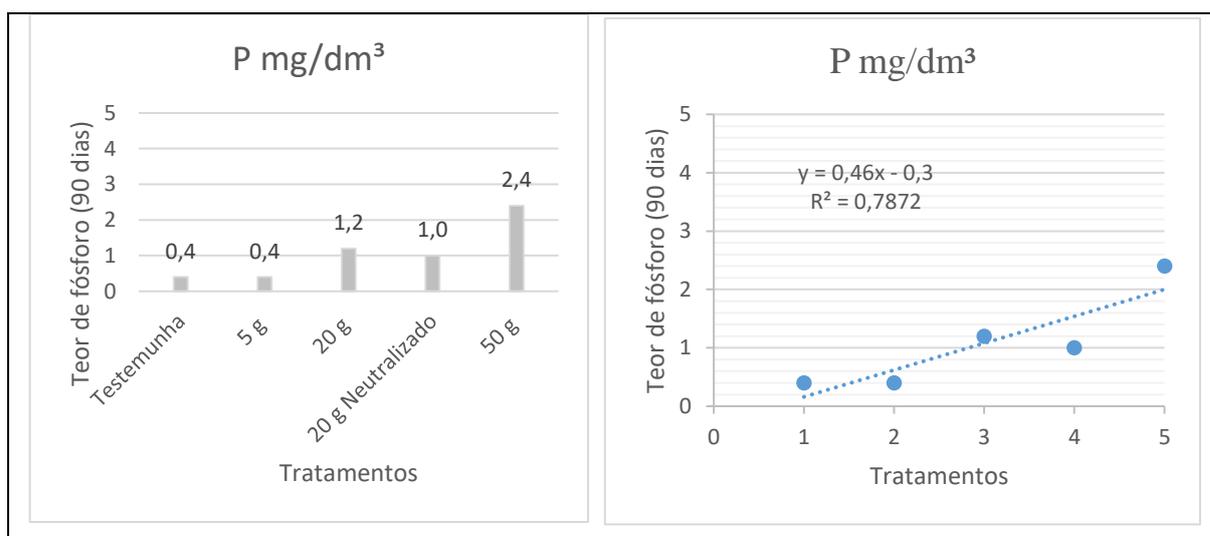
Nos gráficos da Figura 15, o teor de fósforo da testemunha aos 30 dias apresentou 0,9 mg/dm<sup>3</sup>, passando a 1,2 mg/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e ao final de 90 dias 0,4 mg/dm<sup>3</sup>. Por ser a testemunha não se esperava uma variação como a constatada. Já no tratamento com 5g/dm<sup>3</sup> de P4Tree o valor foi de 0,5 mg/dm<sup>3</sup> após de 30 dias, 1,4 mg/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e 0,4 mg/dm<sup>3</sup> aos 90 dias, indicando que a quantidade utilizada foi baixa para disponibilizar o nutriente fósforo. Ao se adicionar 20g/dm<sup>3</sup> de P4Tree de P4Tree obteve-se aos 30 dias 2,9 mg/dm<sup>3</sup> de fósforo, passando para 2,0 mg/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e chegando a 1,2 mg/dm<sup>3</sup> aos 90 dias. Constata-se que com essa dosagem o nutriente fósforo da tecnologia P4Tree foi disponibilizado para o solo. No tratamento utilizando 20g/dm<sup>3</sup> de P4Tree neutralizado o valor do fósforo aos 30 dias foi de 0,9 mg/dm<sup>3</sup>, atingindo 1,6 mg/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e reduzindo para 1,0 mg/dm<sup>3</sup> depois de 90 dias. A neutralização com ácido sulfúrico não se mostrou positiva para disponibilização de fósforo no solo. No tratamento com 50 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree obteve-se aos 30 dias 4,5 mg/dm<sup>3</sup>, reduzindo para 3,1 mg/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e chegando ao valor de 2,4 mg/dm<sup>3</sup> ao final de 90 dias. A tecnologia foi capaz de disponibilizar o nutriente fósforo para o solo. Também foi observado que os valores

tendem a decrescer com o passar do tempo, o nutriente fósforo é fortemente adsorvido pelos coloides do solo o que explica o decréscimo com o passar do tempo.

Ao analisar os resultados separadamente do nutriente fósforo mês a mês durante a incubação, observa-se que nos primeiros 30 dias de incubação, o P4Tree não obteve valor significativo para o tratamento de 5 g/dm<sup>3</sup> em comparação à testemunha. Já no tratamento de 20 g/dm<sup>3</sup>, o valor de P passou a 2,9 mg/dm<sup>3</sup>, três vezes maior em comparação com a testemunha. Ao analisar o tratamento 20 g/dm<sup>3</sup> neutralizado, o resultado não variou em relação à testemunha. No tratamento de 50 g/dm<sup>3</sup> o resultado obtido foi significativo em relação à testemunha, apresentando valor de 4,5 mg/dm<sup>3</sup>.

Figura 15 - Resultado da análise de solo para fósforo aos 30, 60 e 90 dias de incubação com P4Tree.



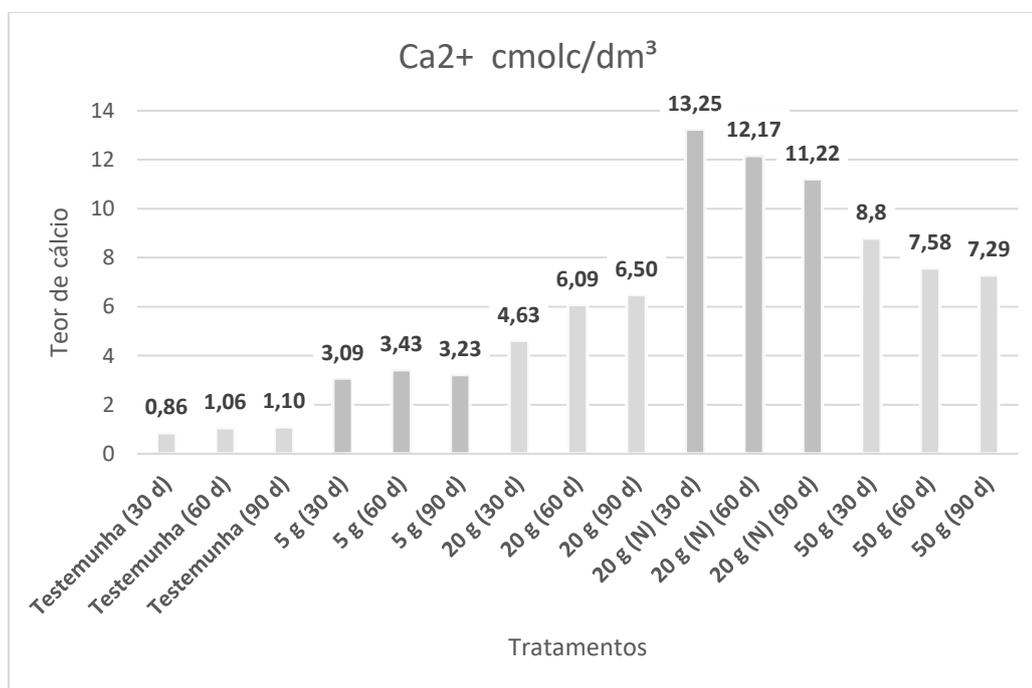


Fonte: Autoria própria

#### 4.7.3 Análise do teor de Ca no solo incubado

Os resultados da incubação para cálcio estão na Figura 16. A testemunha entre 30 e 90 dias mostrou valores de 0,86 cmolc/dm<sup>3</sup>, 1,06 cmolc/dm<sup>3</sup> e 1,10 cmolc/dm<sup>3</sup>. Ao se adicionar 5g/dm<sup>3</sup> de P4Tree ao solo o valor de Ca<sup>2+</sup> foi 3,09 cmolc/dm<sup>3</sup> após 30 dias, 3,43 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e de 3,23 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 90 dias os valores indicam que mesmo em pequena quantidade o P4Tree foi capaz de disponibilizar o nutriente cálcio ao solo. O tratamento com 20g/dm<sup>3</sup> de P4Tree mostrou valores de 4,63 a 6,50 cmolc/dm<sup>3</sup> demonstrando a disponibilização de Ca<sup>2+</sup> está associada a quantidade adicionada. No tratamento 20 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree neutralizado os valores foram significativamente superiores a mesma quantidade sem que se utilizasse ácido sulfúrico, atingindo 13,25 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 30 dias, passando a 12,17 cmolc/dm<sup>3</sup> após 60 dias e chegando a 11,22 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 90 dias. Já no tratamento de 50 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree atingiu-se entre 30 e 90 dias valores de 8,8 cmolc/dm<sup>3</sup>, 7,58 cmolc/dm<sup>3</sup> e 7,29 cmolc/dm<sup>3</sup> ao se comparar com a testemunha verifica-se claramente o poder da tecnologia P4Tree em disponibilizar cálcio para o solo. A liberação de cálcio é devida a presença de concentrações relativamente elevadas de CaO, fator que também contribui para elevação do pH como já mencionado anteriormente.

Figura 16 - Resultado da análise de solo para cálcio aos 30, 60 e 90 dias de incubação com P4Tree.

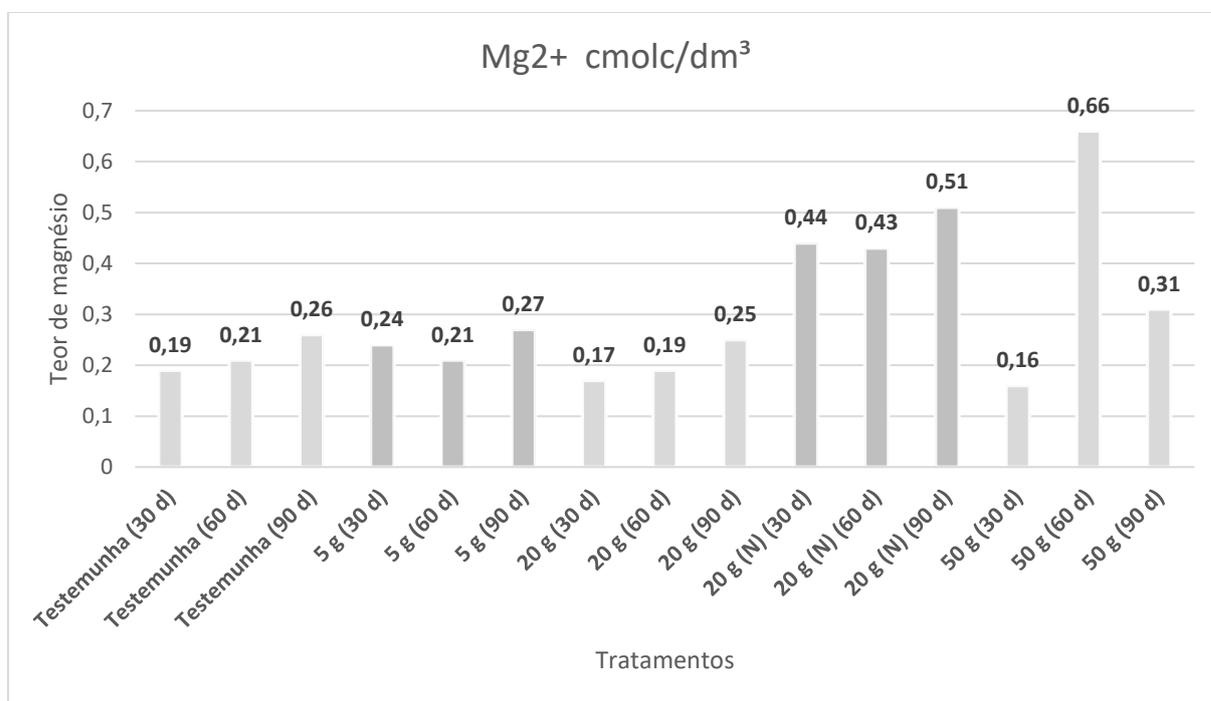


Fonte: Autoria própria

#### 4.7.4 Análise do teor de Mg no solo incubado

Para o nutriente Mg (Figura 17), os valores da testemunha variaram de 0,19 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 30 dias, passando a 0,26 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 90 dias. No tratamento de 5g/dm<sup>3</sup> de P4Tree os valores aumentaram para 0,24 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 30 dias, chegando ao 0,27 cmolc/dm<sup>3</sup> no final de 90 dias. O aumento no teor de magnésio está relacionado a composição química do P4Tree cujo um dos componentes, no caso o serpentinito, é rico em óxido de magnésio (MgO). No tratamento com 20g/dm<sup>3</sup> de P4Tree os valores de 30 a 90 dias ficaram em 0,17-0,25 cmolc/dm<sup>3</sup>. No tratamento cujo o P4Tree 20g/dm<sup>3</sup> foi neutralizado com ácido sulfúrico ocorreu um aumento significativo em comparação com o tratamento de mesma concentração sendo que aos 30 dias atingiu valor de 0,44 cmolc/dm<sup>3</sup> atingindo 0,51 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 90 dias. Já no tratamento de 50 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree os valores de 30 dias foram 0,16 cmolc/dm<sup>3</sup>, 0,66 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 60 dias e de 0,31 cmolc/dm<sup>3</sup> aos 90 dias, nesta última análise houve alguma falha no procedimento, pois os valores para 90 dias não deveriam ser inferiores aos demais.

Figura 17 - Resultado da análise de solo para magnésio dos 30 aos 90 dias de incubação com P4Tree.



Fonte: Autoria própria

#### 4.8 Experimento uso de P4Tree como fonte de fósforo no cultivo de mudas florestais: Mutamba e Tamboril

##### 4.8.1 Estudos com a Mutamba

Para o experimento, utilizou-se frutos de mutamba (*Guazuma ulmifolia*) que foram coletados de matrizes localizadas no Parque das Mangabeiras e beneficiados de forma manual para extração das sementes, sendo estas selecionadas de acordo com a integridade do tegumento, regularidade da forma e uniformidade do tamanho, descartando-se sementes malformadas e com danos físicos aparentes.

Para acelerar o processo de germinação das sementes foi feita a quebra de dormência por meio de escarificação térmica com água à  $60^{\circ} C$ , por 15 minutos. Após a superação da dormência as sementes foram colocadas para germinar em sementeiras dentro de estufa agrícola com irrigação automatizada.

Após a germinação das sementes, as plântulas foram transplantadas para recipientes de polietileno com volume de  $1,7 dm^3$  (Figura 18), e foram previamente adubados com  $300 mg/dm^3$  de N,  $100 mg/dm^3$  de K,  $50 mg/dm^3$  de S,  $15/dm^3$  mg de Mg e micronutrientes, e

também com diferentes concentrações de P4Tree e acondicionadas em estufa agrícola com irrigação manual.

Figura 18 - Mudanças de mutamba transplantadas em recipientes de 1,7 dm<sup>3</sup>



Fonte: Autoria própria

Os tratamentos experimentais consistiram de sete (07) composições do substrato de cultivo da seguinte forma: solo sem fertilização com fósforo ou P4tree (testemunha); solo com 2,5 g/dm<sup>3</sup> superfosfato simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) equivalente a 200 mg.kg<sup>-1</sup> de P – fertilizante fosfatado convencional utilizado pelo Jardim Botânico da FPMZB (SS); solo com 30,6 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree estéril sem neutralizar, equivalente a 200 mg.kg<sup>-1</sup> de P de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e solo fertilizado com 4 doses crescentes de P4Tree 15,3 g/dm<sup>3</sup>; 30,6 g/dm<sup>3</sup>; 61,2 g/dm<sup>3</sup> e 122,4 g/dm<sup>3</sup> o que equivale a (100 mg.Kg<sup>-1</sup>; 200 mg.kg<sup>-1</sup>; 400 mg.Kg<sup>-1</sup>; 800 mg.kg<sup>-1</sup> de P de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) neutralizados do 0,2 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, conforme Tabela 4.

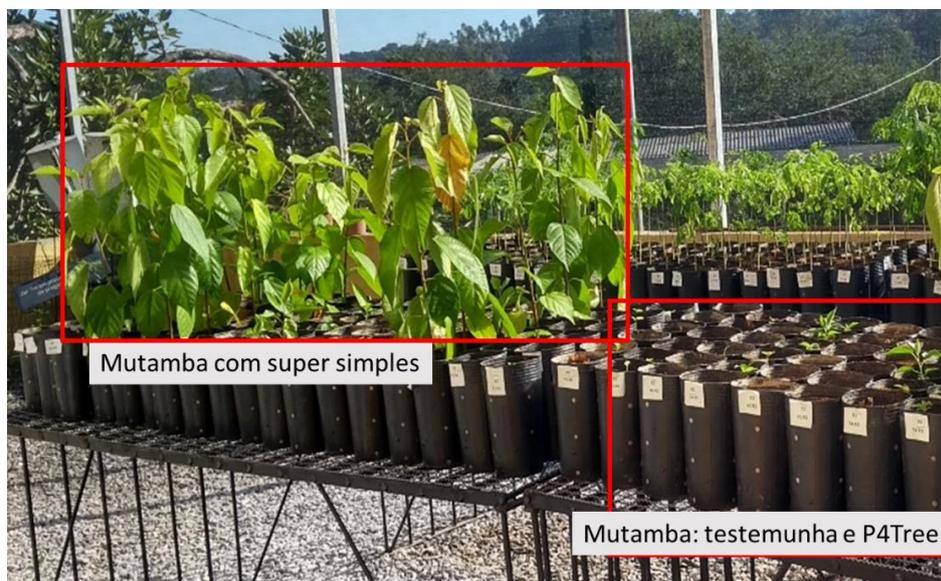
Tabela 4 - Tratamentos para mutamba.

Nº	IDENT	TRATAMENTOS
1	T1	Solo sem adição de nutrientes ou P4Tree
2	T2	2,5 g/dm <sup>3</sup> (Solo com 200 mg.Kg <sup>-1</sup> de P de superfosfato simples (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ))
3	T3	30,6 g/dm <sup>3</sup> (Solo com 200 mg.Kg <sup>-1</sup> de P4Tree estéril)
4	T4	15,3 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 100 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)
5	T5	30,6 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 200 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)
6	T6	61,2 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 400 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)
7	T7	122,4 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 800 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)

Aos 30 dias após implantação do experimento observou-se que as mudas de mutamba apresentaram desenvolvimento semelhantes nos tratamentos de (T1, T4, T5, T6 e T7). Com isso, foi visto que os tratamentos com P4Tree tiveram comportamentos semelhantes em relação à testemunha. Já no tratamento no T2 (200 mg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) a mutamba adaptou-se melhor, o que é esperado, já que se trata de um adubo usual. Entretanto, na avaliação de T3 tivemos uma perda considerável das mudas, que pode ser explicado pelo P4Tree não ter sido neutralizado. Já nos T4 ao T7 (P4tree neutralizado), o resultado foi pouco considerável, embora esperássemos melhores resultados. Entre os tratamentos com P4Tree neutralizado, o T4 foi o que apresentou os melhores resultados tanto em crescimento das mudas, quanto em menor índice de perdas.

Aos 60 dias, o tratamento T3 teve perda de aproximadamente 96% das mudas, restando apenas um indivíduo no tratamento. Tal resultado se justifica pelo tratamento não ter sido neutralizado com ácido. O T2 segue o padrão de desenvolvimento observado aos 30 dias, destacando-se dos demais tratamentos. No T4, a média de crescimento das plantas foi superior à T1 (testemunha) e também aos demais tratamentos com P4Tree T5, T6 e T7. Estes começam a apresentar perdas acentuadas de mudas em relação à medição do mês anterior. Aos 90 e 120 dias, os tratamentos com P4Tree para a espécie mutamba, com exceção do T4, apresentaram alta taxa de perdas de mudas inviabilizando a análise estatística, Figura 19.

Figura 19 - Experimentos em casa de vegetação com Mutamba após 120 dias.



Fonte: autoria própria

Nas Figuras 20, 21 e 22 observa-se o corte das raízes da mutamba aos 120 dias. A embalagem de papel utilizada como referência possui 25 cm de altura por 9,5 cm de comprimento. Consta-se que o tratamento T1 em que não houve adição de fósforo o desenvolvimento do sistema radicular foi inferior ao tratamento T4 em que houve adição de P4Tree e, ao tratamento T2 com adição de superfosfato simples.

Figura 20 - Raízes das mudas de mutamba Tratamento T1

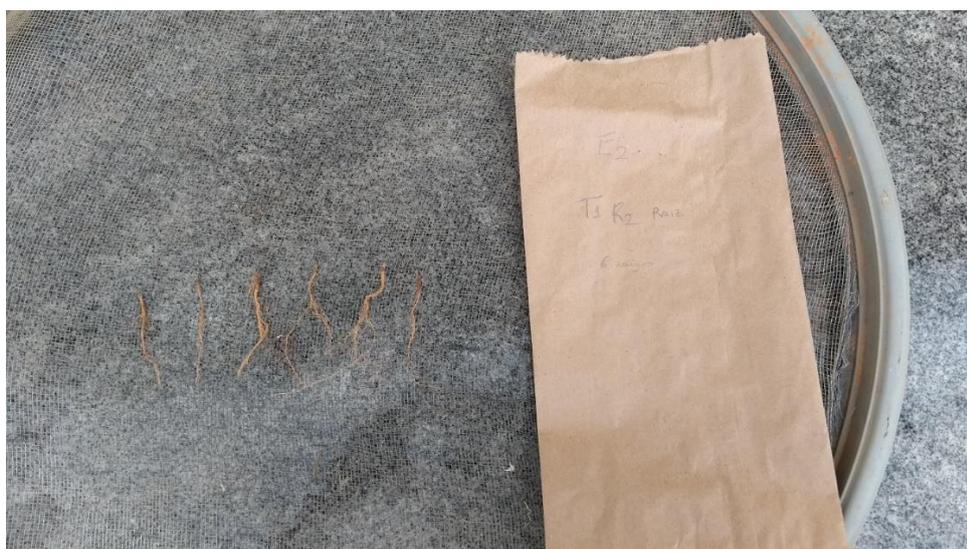


Figura 21 - Raízes das mudas de mutamba tratamento T4



Fonte: Autoria própria

Figura 22 - Raízes das mudas de mutamba tratamento T2



Fonte: Autoria própria

#### 4.8.2 Estudos com o Tamboril

As plântulas foram transplantadas para recipientes de polietileno com volume de 1,7 dm<sup>3</sup> (Figura 23), e foram previamente adubados com 300 mg/dm<sup>3</sup> de N, 100 mg//dm<sup>3</sup> de K, 50 mg/dm<sup>3</sup> de S, 15 mg/dm<sup>3</sup> de Mg e micronutrientes, e também com diferentes concentrações de P4Tree e acondicionadas em estufa agrícola com irrigação manual.

Figura 23 - Mudanças de tamboril transplantadas em recipientes de 1,7 dm<sup>3</sup>



Fonte: Autoria própria

Os tratamentos experimentais consistiram de sete (07) composições do substrato de cultivo da seguinte forma: solo sem fertilização com fósforo ou P4tree (testemunha); solo com 2,5 g/dm<sup>3</sup> superfosfato simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) equivalente a 200 mg.kg<sup>-1</sup> de P – fertilizante fosfatado convencional utilizado pelo Jardim Botânico da FPMZB (SS); solo com 30,6 g/dm<sup>3</sup> de P4Tree estéril sem neutralizar, equivalente a 200 mg.kg<sup>-1</sup> de P de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e solo fertilizado com 4 doses crescentes de P4Tree 15,3 g/dm<sup>3</sup>; 30,6 g/dm<sup>3</sup>; 61,2 g/dm<sup>3</sup> e 122,4 g/dm<sup>3</sup> o que equivale a (100 mg.kg<sup>-1</sup>; 200 mg.kg<sup>-1</sup>; 400 mg.kg<sup>-1</sup>; 800 mg.kg<sup>-1</sup> de P de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) neutralizados do 0,2 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Tratamentos para tamboril.

Nº	IDENT	TRATAMENTOS
1	T1	Solo sem adição de nutrientes ou P4Tree
2	T2	2,5 g/dm <sup>3</sup> (Solo com 200 mg.kg <sup>-1</sup> de P de superfosfato simples (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ))
3	T3	30,6 g/dm <sup>3</sup> (Solo com 200 mg.kg <sup>-1</sup> de P4Tree estéril)
4	T4	15,3 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 100 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)
5	T5	30,6 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 200 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)
6	T6	61,2 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 400 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)
7	T7	122,4 g/dm <sup>3</sup> (Solo com P4Tree 800 mg. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> Neutralizado)

#### **4.8.3 Altura, diâmetro do coleto, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea e massa seca total das mudas de tamboril aos 30, 60, 90 e 120 dias no experimento**

Na Figura 24, observa-se as mudas de tamboril aos 120 dias de experimento. Ao analisar os dados verificou-se que para os tratamentos avaliados, os valores de altura, diâmetro do coleto (diâmetro no qual é medido na base da planta), massa seca da parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total tendem a aumentar em função do tempo (Figuras 25, 26 e 27). Na tabela 6, ao examinar os resultados da análise estatística pelo Teste Scott-Knott (1974), observa-se que aos 30 dias após o início do experimento, as alturas das mudas de tamboril nos tratamentos T1, T2, T4 e T5 não apresentaram diferenças estatísticas entre si e, foram estatisticamente superiores aos tratamentos T3, T6 e T7 a 95% de probabilidade. Aos 60, 90 e 120 dias após início do experimento, o tratamento T2 foi estatisticamente superior aos demais tratamentos, sendo estes iguais pelo Teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade. Constata-se que o P4Tree não apresentou efeito positivo no desenvolvimento de altura para mudas de tamboril nas doses aplicadas em relação à testemunha.

Figura 24 - Mudas de tamboril aos 120 dias de experimento.



Fonte: Autoria própria

Tabela 6 – Valores médios de altura de mudas (cm) de tamboril, produzidas em diferentes tratamentos aos 30, 60, 90 e 120 após o transplântio.

	Tempo (dias)								
	30		60		90		120		
Tratamentos	T1	28,06	A	29,84	B	30,42	B	30,58	B
	T2	29,57	A	39,68	A	44,48	A	44,53	A
	T3	23,61	B	26,22	B	27,34	B	27,43	B
	T4	27,61	A	30,13	B	30,65	B	30,73	B
	T5	26,86	A	28,79	B	31,33	B	31,50	B
	T6	26,10	B	28,12	B	29,80	B	30,59	B
	T7	25,26	B	27,55	B	29,42	B	29,65	B

Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott (1974) ( $P > 0,05$ ). T1 – Testemunha; T2 - 2,5 g/dm<sup>3</sup> fosfato super simples; T3 - 30,6 g/dm<sup>3</sup> P4Tree estéril; T4 - 15,3 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado; T5 - 30,6 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado; T6 - 61,2 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado; T7 - 122,4 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado.

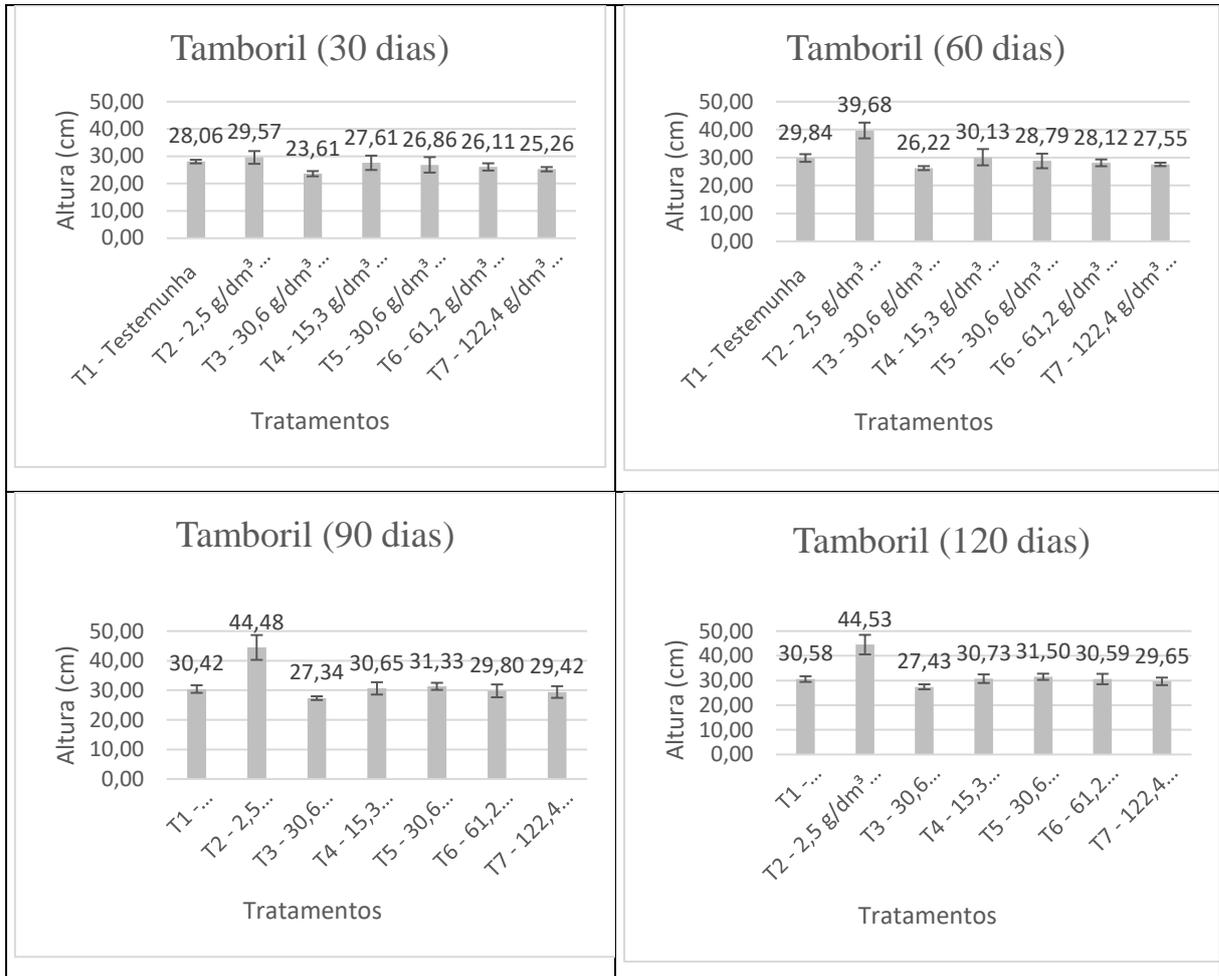
Ao se analisar o crescimento dos diâmetros do coleto das mudas de tamboril, Tabela 7, utilizando-se o Teste Scott-Knott (1974) a 95% de probabilidade, observa-se que aos 30 dias após implantação do experimento, não houve diferença estatística entre os tratamentos, sendo portanto, todos iguais. Aos 60 e 90 dias, o tratamento T2 foi estatisticamente superior aos demais, sendo estes, iguais entre si. Aos 120 dias, o tratamento T2 foi estatisticamente superior aos demais, seguidos dos tratamentos T4, T5, T6 e T7. Os tratamentos T1 e T3 obtiveram os resultados estatísticos inferiores aos demais. Verifica-se que para diâmetro do coleto, a adubação com P4Tree de todos os tratamentos foram estatisticamente superiores à testemunha. O Tratamento T3 em que o P4Tree não foi neutralizado com ácido sulfúrico obteve o mesmo resultado da testemunha T1, cujo substrato não recebeu nenhum tipo de adubação fosfatada. Nos tratamentos em que foi utilizado P4Tree neutralizado com ácido sulfúrico como fonte de fósforo para as mudas, o crescimento em diâmetro foi superior em comparação à testemunha (Tabela 7). Nas (Figuras 28-34) observa-se como foi o desenvolvimento do sistema radicular em amostras, em cada tratamento do experimento.

Tabela 7 - Valores médios do diâmetro do coleto (mm) de mudas de tamboril, produzidas em diferentes tratamentos aos 30, 60, 90 e 120 após o transplântio.

		Tempo (dias)							
		30		60		90		120	
Tratamentos	T1	3,36	A	3,50	B	3,85	B	3,91	C
	T2	3,36	A	5,01	A	7,52	A	8,12	A
	T3	3,19	A	3,84	B	3,87	B	3,89	C
	T4	3,23	A	3,56	B	4,01	B	4,05	B
	T5	3,34	A	3,84	B	4,15	B	4,32	B
	T6	3,30	A	3,82	B	4,28	B	4,40	B
	T7	3,22	A	3,76	B	3,98	B	4,06	B

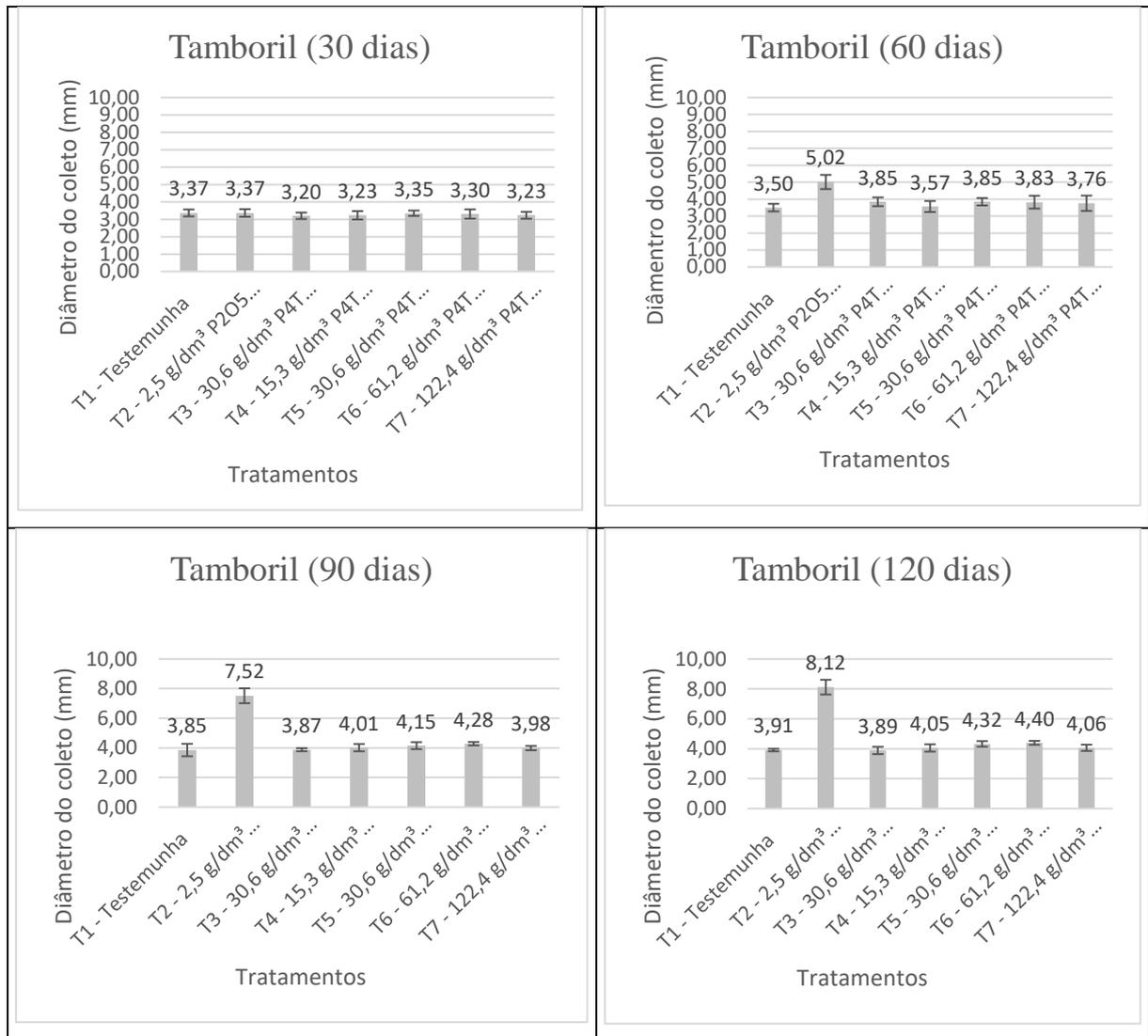
Médias seguidas pela mesma não diferem entre si pelo Teste Scott-Knott (1974) ( $P > 0,05$ ). T1 – Testemunha; T2 - 2,5 g/dm<sup>3</sup> fosfato super simples; T3 - 30,6 g/dm<sup>3</sup> P4Tree estéril; T4 - 15,3 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado; T5 - 30,6 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado; T6 - 61,2 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado; T7 - 122,4 g/dm<sup>3</sup> P4Tree Neutralizado.

Figura 25 - Alturas das mudas de tamboril medido aos 30, 60, 90 e 120 dias.



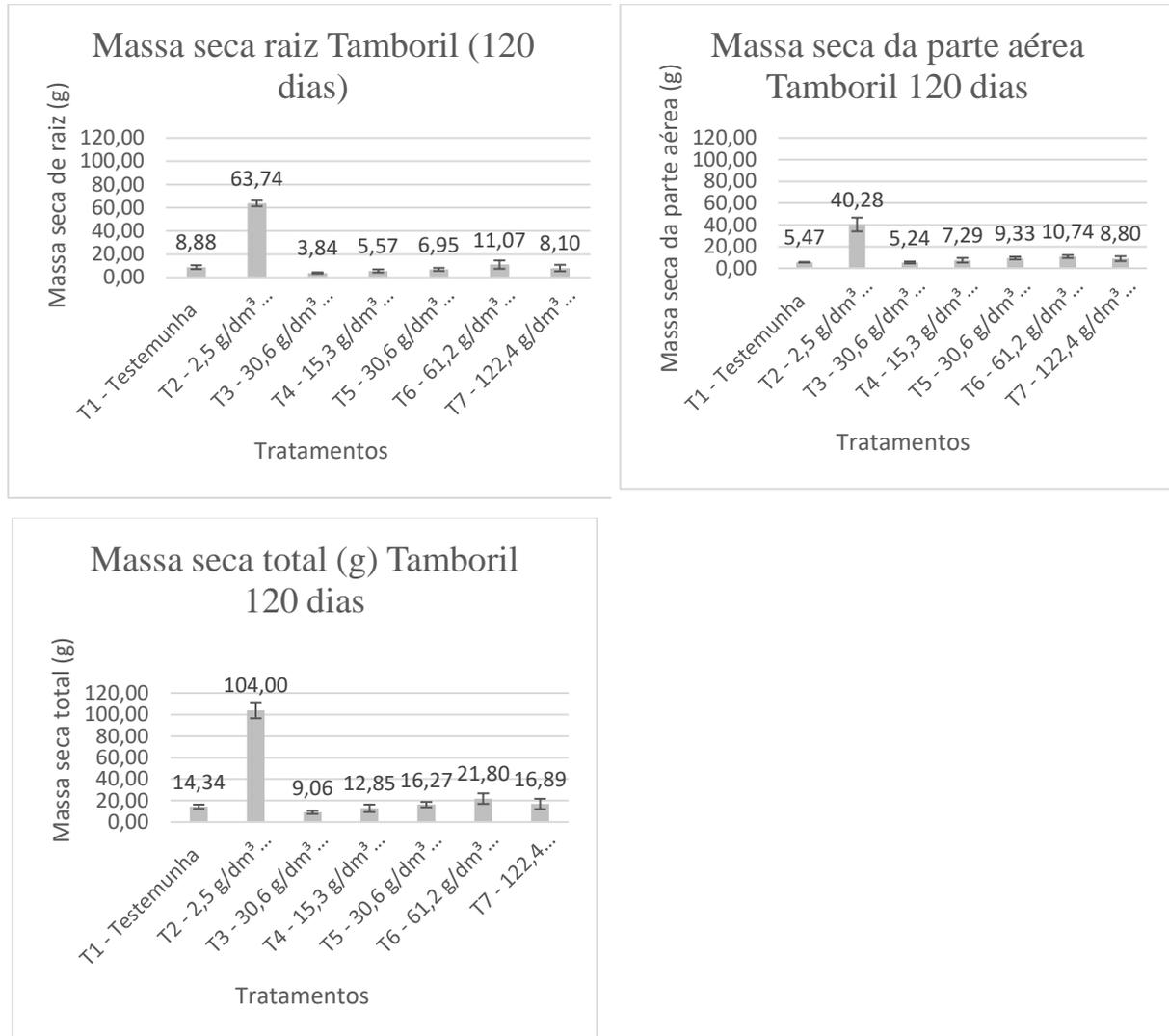
Fonte: Autoria própria

Figura 26 - Diâmetro do coleto das mudas de tamboril medido aos 30, 60, e 120



Fonte: Autoria própria

Figura 27 - Massa seca raiz, parte aérea e massa seca total.



Fonte: Autoria própria

Figura 28 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T1



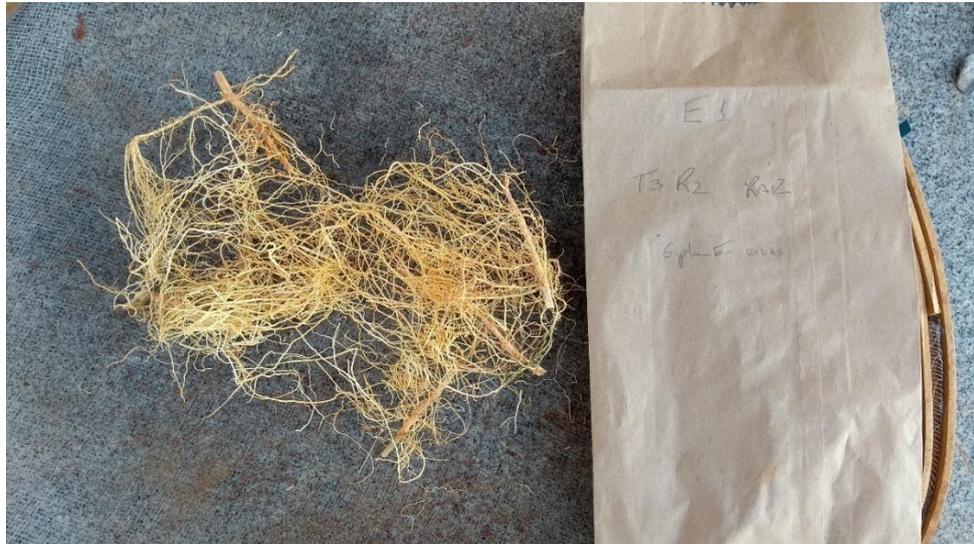
Fonte: Autoria própria

Figura 29 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T2



Fonte: Autoria própria

Figura 30 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T3



Fonte: Aatoria própria

Figura 31 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T4



Fonte: Aatoria própria

Figura 32 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T5



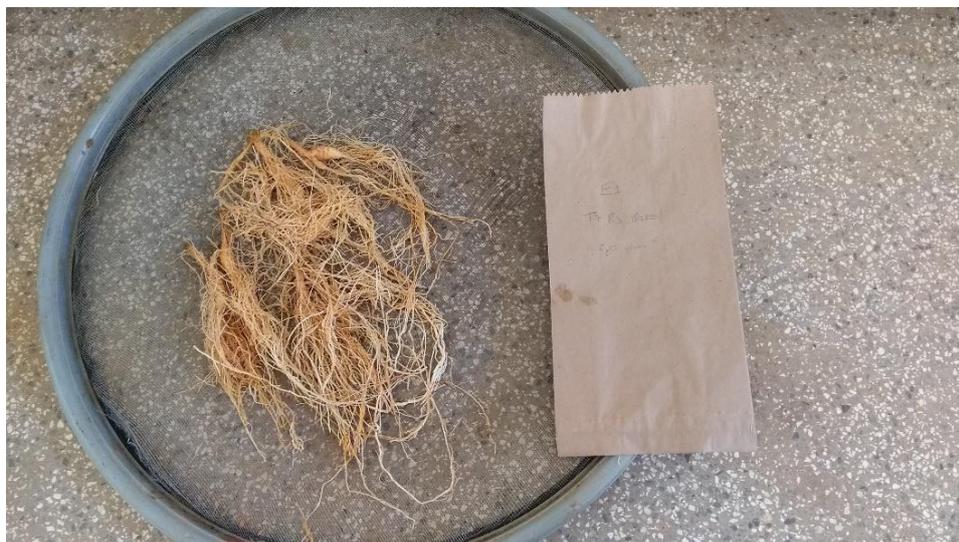
Fonte: Autoria própria

Figura 33 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T6



Fonte: Autoria própria

Figura 34 - Raízes das mudas de tamboril no tratamento T7

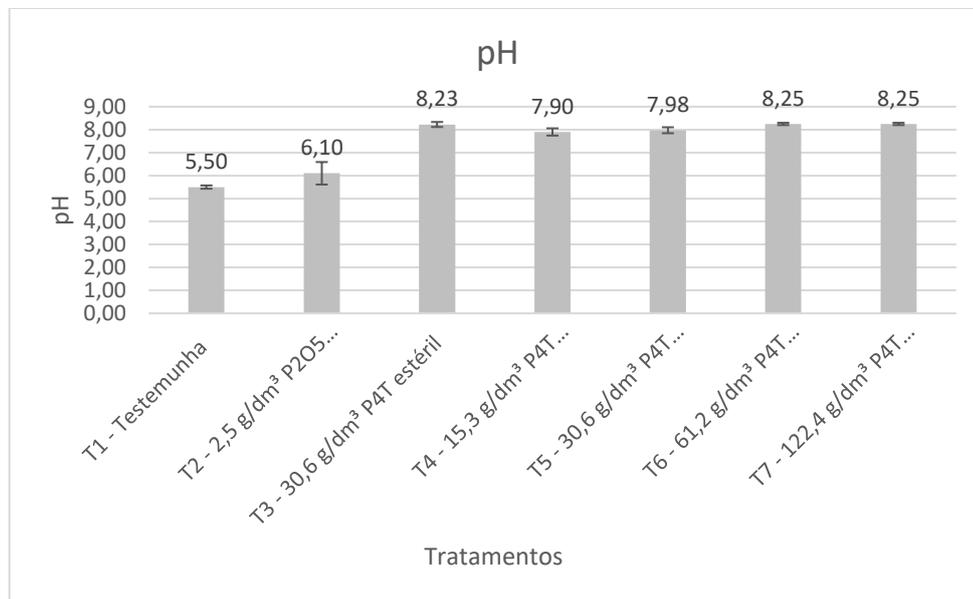


Fonte: Autoria própria

#### 4.8.4 pH do solo ao final de 120 dias no cultivo de Tamboril

Na Figura 35, a testemunha apresentou valor de pH de 5,50 caracterizando a natureza ácida do solo. No tratamento T2 com adição 200 mg/dm<sup>3</sup> de fosfato super simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), o pH foi de 6,10, cabe ressaltar, que não foi adicionado calcário para correção do pH. Já no tratamento T3 em que o P4Tree não passou pelo processo de neutralização, os valor de pH foi de 8,23 evidenciando o forte poder de basicidade do produto. Nos tratamentos T4, T5, T6 e T7, o P4Tree foi neutralizado com 0,2 M de ácido sulfúrico, visando reduzir a basicidade do produto. Os valores de pH no tratamento T4, com adição de 100 mg/dm<sup>3</sup> de P4Tree foi de 7,9, mesmo neutralizando o pH continuou alto. No tratamento T5, com adição de 200 mg/dm<sup>3</sup> de P4Tree os valores de pH foram de 7,98. Porém, foi observado, que nos tratamentos T6 400 mg/dm<sup>3</sup> P4Tree e T7 800 mg/dm<sup>3</sup> de P4Tree, os valores foram de 8,25, demonstrando que mesmo ao se adicionar o dobro da dose do produto, não houve diferença significativa do valor de pH.

Figura 35 - Resultado da análise de solo para pH da espécie tamboril ao final de 120 dias.

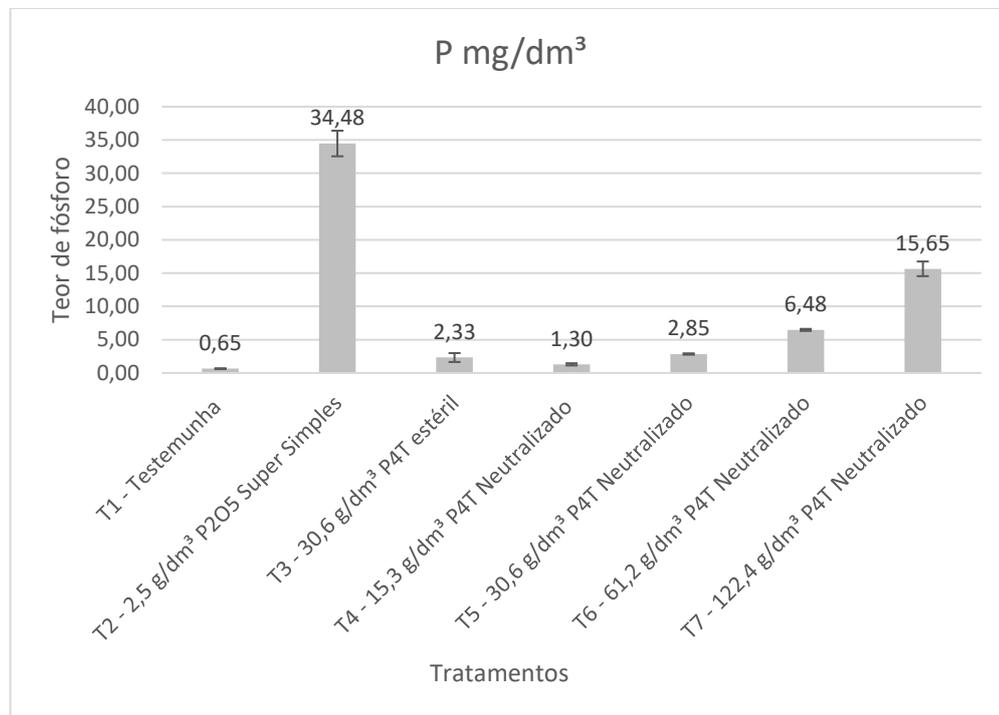


Fonte: Autoria própria

#### 4.8.5 Teor de fósforo no solo e na planta ao final de 120 dias de experimento

O nutriente chave na discussão do projeto é o fósforo, a Figura 36 demonstra o comportamento do P4Tree na disponibilização desse nutriente para o solo ao final de 120 dias. Na testemunha em que se utilizou solo puro (sem adição de fósforo), o valor médio obtido foi de 0,65 mg/dm<sup>3</sup>. No tratamento T2 com 200 mg/dm<sup>3</sup> de fosfato super simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), adubo padrão utilizado na agricultura, o valor obtido foi de 34,48 mg/dm<sup>3</sup>. No tratamento T3, com utilização de 200 mg/dm<sup>3</sup> não neutralizado, o valor de P foi de 2,33 mg/dm<sup>3</sup> demonstrando que a tecnologia de fato conseguiu adsorver o fósforo da urina e disponibilizar para o solo. No tratamento T4 100 mg/dm<sup>3</sup>, o valor foi de 1,30 mg/dm<sup>3</sup>. No tratamento T5 200 mg/dm<sup>3</sup> o valor foi de 2,85 mg/dm<sup>3</sup>. No tratamento T6, 400 mg/dm<sup>3</sup> o valor foi de 6,48 mg/dm<sup>3</sup>. Já no tratamento T7, 800 mg/dm<sup>3</sup> o valor de P obtido foi de 15,65 mg/dm<sup>3</sup> confirmando que a tecnologia P4Tree teve o poder de adsorver o fósforo da urina. Por se tratar de uma tecnologia inovadora, há necessidade de se fazer ajustes na formulação com intuito de aumentar a porcentagem de adsorção de fosfato e reduzir a basicidade do produto.

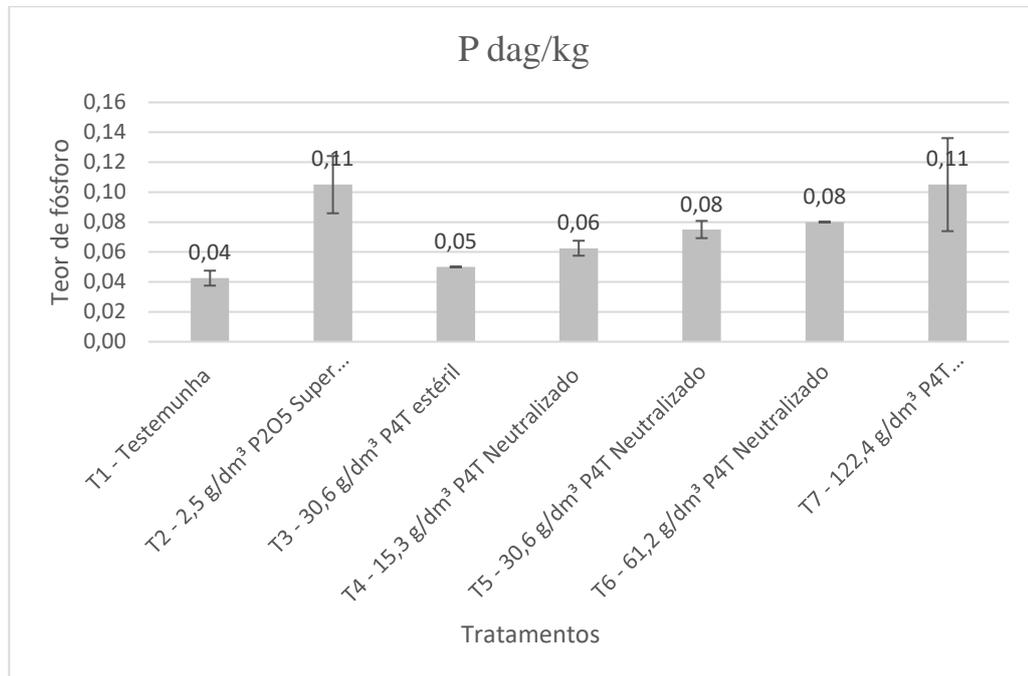
Figura 36 - Resultado da análise de solo para fósforo da espécie tamboril ao final de 120 dias.



Fonte: Autoria própria

O gráfico da Figura 37 apresenta o teor de fósforo dos tratamentos extraídos da massa seca das mudas de tamboril. No T1, tratamento em que as plantas absorveram o fósforo disponível no solo naturalmente, sem adição de fonte externa apresentou valor de 0,04 dag/kg. No T2, foi utilizado fosfato super simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) adubo comercial, e o resultado obtido foi 0,11 dag/kg, o valor mais alto já era esperando por se tratar de um produto comercial estabelecido no mercado. No T3, tratamento que o P4Tree não foi neutralizado, o valor foi de 0,05 dag/kg nesse tratamento devido à alta basicidade os resultados foram inferiores aos demais tratamentos. No T4, o valor do P foi de 0,06 dag/kg. No T5 e T6 os valores obtidos de fósforo foram iguais, sendo 0,08 dag/kg mesmo no T6 possuir exatamente o dobro de P4tree que o T5. No T7 o teor de fósforo foi de 0,11 dag/kg valor semelhante ao tratamento em que foi utilizado adubo super simples.

Figura 37 - Teor de fósforo da massa seca ao final do experimento de mudas de tamboril

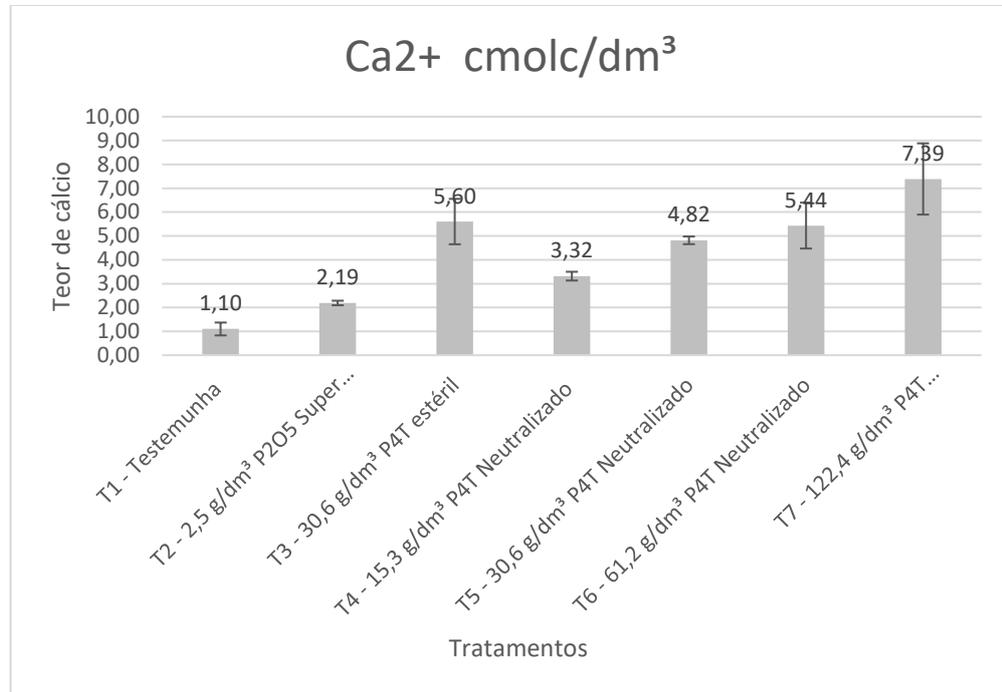


Fonte: Autoria própria

#### 4.8.6 Teor de cálcio no solo ao final de 120 dias de experimento

Os resultados para o nutriente cálcio são apresentados na Figura 38. A testemunha apresentou o valor médio de 1,0 cmolc/dm³. O T2, o valor médio foi de 2,19 cmolc/dm³. No T3, o valor médio foi de 5,60 cmolc/dm³. No T4, o valor foi de 3,32 cmolc/dm³. No T5, o valor médio foi de 4,82 cmolc/dm³. No T6, o valor médio foi 5,44 cmolc/dm³. No T7, o valor médio foi de 7,39 cmolc/dm³.

Figura 38 - Resultado da análise de solo para cálcio da espécie tamboril ao final de 120 dias.

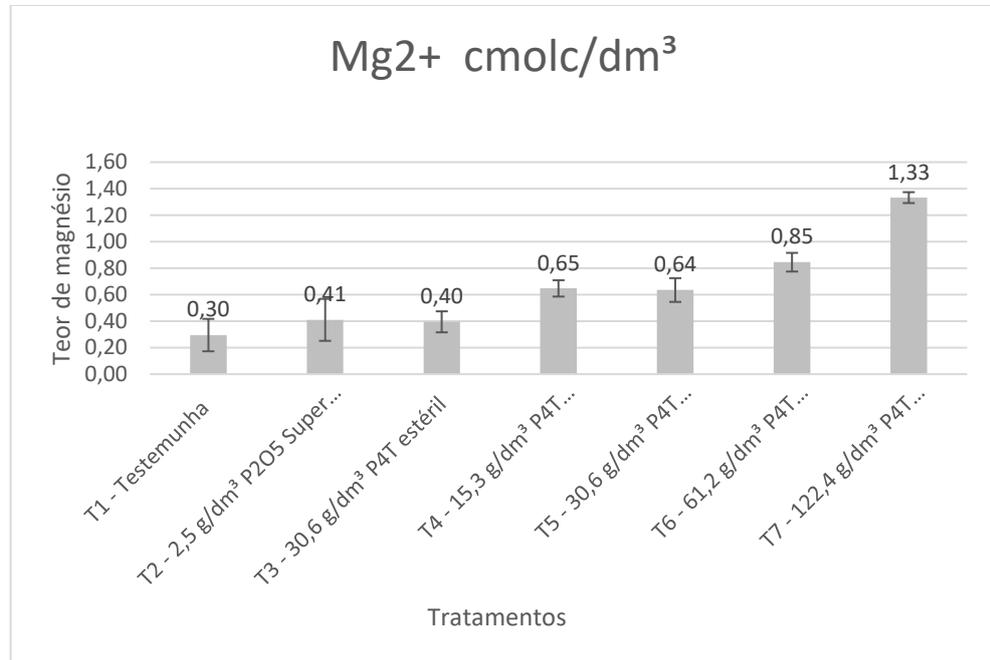


Fonte: Autoria própria

#### 4.8.7 Teor de magnésio no solo ao final de 120 dias de experimento

Observa-se na Figura 39, os resultados do nutriente magnésio. A testemunha apresentou valor médio de 0,30 cmolc/dm<sup>3</sup>. No T2, o resultado apresentou valor médio de 0,41 cmolc/dm<sup>3</sup>. No T3, o valor médio foi de 0,40 cmolc/dm<sup>3</sup>. No T4, o valor médio foi de 0,65 cmolc/dm<sup>3</sup>. No T5, o valor médio foi de 0,64 cmolc/dm<sup>3</sup>. No T6, o valor médio foi de 0,85 cmolc/dm<sup>3</sup>. Já no T7, o valor médio foi de 1,33 cmolc/dm<sup>3</sup>.

Figura 39 - Resultado da análise de solo para magnésio da espécie tamboril ao final de 120 dias.



Fonte: Autoria própria

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho buscou abordar a parceria Hélice Tríplice, universidade-empresa-governo, tendo como atores a UFMG representando a Universidade, a Brandt Meio Ambiente e mineradora Pedras Congonhas representando empresas e a Belotur e FPMZB representando o governo.

Os resultados alcançados com a parceria foram positivos, visto que houve grande repercussão, especialmente quando são analisados os dados de mídia espontânea e, também, maiores grupos de mídia do Brasil.

Os resultados obtidos da análise de solo incubado com o P4Tree constataram que o produto foi capaz de adsorver o fósforo da urina e disponibilizá-lo para o solo. Quando se cultivou as duas espécies florestais em vasos adubados com P4Tree, constatou-se que a mutamba foi muito sensível ao aumento do pH causado pelo P4Tree, apresentando alta taxa de mortalidade. Já o tamboril se desenvolveu nos vasos adubados com P4Tree, ao analisar o resultado de P no tecido vegetal, tendo sido constatado que os tratamentos contendo P4Tree apresentaram maior teor de fósforo em relação a testemunha.

O pH do solo foi fortemente influenciado nos tratamentos em que foram adicionados P4Tree. Os teores de cálcio e magnésio no solo aumentaram conforme aumentava-se as doses de P4Tree nos tratamentos.

Por se tratar de uma tecnologia inovadora, sugere-se estudos futuros com intuito de propor ajustes na formulação do produto, visando aumentar a porcentagem de adsorção do fosfato e reduzir a basicidade do P4Tree.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Daniel Caixeta; MENDONÇA, Míriam Pimentel; WINDHAM-BELLORD, Karen Alvarenga; RESENDE, Fernando de Moura; VERÍSSIMO, Michele Polline. **Valoração Econômica do Jardim Botânico da Fundação Zoo-Botânica de Belo Horizonte, Minas Gerais**. Revista Debate Econômico. 1. 5-30, 2013.

ARAÚJO, V. de C.; MASCARINI, S.; SANTOS, E. G. dos; COSTA, A. R. A influência das percepções de benefícios, resultados e dificuldades dos grupos de pesquisa sobre as interações com empresas. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 14, n. 1, p. 77-104, 2015. Disponível em: < <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8649090>> Acesso em: 10 jun. 2021.

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal de. **Conheça a Fundação de Parques Municipais e Zoobotânica, Prefeitura de Belo Horizonte**. 24 de nov. 2017. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/conheca-fundacao-de-parques-municipais-e-zoobotanica>> Acesso em: 8 dez. 2021.

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal de. **Empresa Municipal de Turismo**. Disponível em: < <https://prefeitura.pbh.gov.br/belotur>> Acesso em: 8 dez. 2021.

BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal de. **BH recebe comitiva que selecionará cidade sede de Hub de Inovação no Turismo**. 03 mar. 2021. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-recebe-comitiva-que-selecionara-cidade-sede-de-hub-de-inovacao-no-turismo>> Acesso em: 12 jul. 2021.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1v. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 2v. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006. 627p.

CARVALHO, S. L. de. **Eutrofização Artificial: Um problema em Rios, Lagos e Represas**. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos. Universidade Estadual Paulista. UNESP. Ilha Solteira, 2004. Disponível em: <<http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/ctl28082004.php>> Acesso em: 8 dez. 2021.

CECONI, Denise Ester *et al.* Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada: **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 292-299, jul./set. 2006.

COLLI-SILVA, M. **Guazuma in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB9065>>. Acesso em: 26 jan. 2021.

CORDELL, D; DRANGERT, J. O.; WHITE, S. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, 19 (2009), pp. 292-305. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>> Acesso em: 09 jun. 2021.

DAMINATO, Bianca; BENITIZ, Letícia. **Caracterização das movimentações de fertilizantes no Brasil**. Grupo de Extensão e Pesquisa em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG. Piracicaba, 2015.

DIAS, F. S. R.; CARIO, S. A. F.; LEMOS, D. C.; BITTENCOURT, P. F.; AZEVEDO, P. **Interação universidade e empresa para desenvolvimento inovativo em Santa Catarina: estudo sobre a parceria UFSC e EMBRACO**. In. GARCIA, R.; RAPINI, M. S.; CÁRIO, S. (Org.). Estudos de casos da interação universidade-empresa no Brasil. FACE/UFMG, Belo Horizonte, p. 204-228, 2018.

ETZKOWITZ, Henry. Innovation in innovation: The triple helix of university-industry-government relations. **Social science information**, v. 42, n. 3, p. 293-337, 2003.

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. **Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo**. Estudos Avançados [online]. 2017, v. 31, n. 90 [Acessado 17 Março 2021]. pp. 23-48. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190003>>. ISSN 1806-9592.

FAO, FIDA, OPS, WFP y UNICEF. 2021. América Latina y el Caribe - **Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional 2021: estadísticas y tendencias**. Santiago de Chile, FAO. Disponível em:< <https://doi.org/10.4060/cb7497es>> Acesso em: 10 nov. 2021

FIORAVANTE, D. G.; AGUIRRE, L. **A cooperação entre universidades e empresas e os fornecedores da Petrobrás**. In. TURCHI, L. M; DE NEGRI, F.; DE NEGRI J. A. (Org.). Impactos tecnológicos das parceiras da Petrobrás com universidades, centros de pesquisas e firmas brasileiras. Ipea: Petrorás, Brasília, p. 115-138. 2013.

GARCIA, R.; ARAÚJO, V.; MASCARINI, S.; SANTOS, E. G. dos; COSTA, A. R. Interações universidade-empresa e a influência das características dos grupos de pesquisa acadêmicos. **Revista de Economia Contemporânea** [on line]. 2014 ,v. 18, n.1 [Acesso em: 10 jun. 2021] p. 125-146. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/141598481816>>. ISSN 1415-9848. <https://doi.org/10.1590/141598481816>.

GIELFI, G. G.; FURTADO, A. T.; CAMPOS, A. S. de; TIJSSEN, R. A interação universidade-empresa na indústria de petróleo brasileira: o caso da Petrobras. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 16, n. 2, p. 325–350, 2017. DOI: 10.20396/rbi.v16i2.8650114. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8650114>. Acesso em: 14 jun. 2021.

INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL OF SOILS (ITPS). (2015) **Status of the world's soil resources** Roma: FAO. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

KAHAN, F. A.; ANSARI, A. A. Eutrophication: an ecological vision. **The Botanical Review**, v. 71 n.4, p. 449-482, 2005. Disponível em: < DOI:10.1663/0006-8101(2005)071[0449:EAEV]2.0.CO;2> Acesso em: 12 jun. 2021.

LEYDESDORFF, Loet. (2000). **The triple helix: an evolutionary model of innovations**. Research Policy. 29. 243-255.

LUNDEVALL, Bengt-Ake; JOHNSON, Bjorn; ANDERSEN, Esben; DALUM, Bent. **National Systems of production, innovation and competence buiding**. Research Policy, North-Holland, v.31, n.2, p. 213-231, 2002.

MARONEZE, M. M.; ZEPKA, L. Q.; VIEIRA, J. G.; QUEIROZ, M. I.; JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente & Água** [online]. 2014, v. 9, n. 3, pp. 445-458. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1403>>. Epub 17 Set 2014. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1403>. Acesso em: 17 Fev. 2021.

MEDEIROS, Juliana Corrêa Crepalde. **Novo arranjo para inovação nas instituições científicas, tecnológicas e de inovação (ICT): ambiente temático catalisador de inovação (ATCI) e a experiência da UFMG: ambiente temático catalisador de inovação (ATCI) e a experiência da UFMG**. 2020. 247 f. Tese (doutorado em inovação tecnológica e Biofarmacêutica (Doutorado em Inovação Tecnológica e Biofarmacêutica) - UFMG, Belo horizonte, 2020.

MORIM, M.P.; MESQUITA, A.L.; BONADEU, F. 2020. *Enterolobium in Flora do Brasil 2020*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB83154>>. Acesso em: 26 jan. 2021

PARANHOS, J.; HASENCLEVER, L.; PERIN-, F. S. **Abordagens teóricas sobre o relacionamento entre empresas e universidade e o cenário brasileiro**. ECONÔMICA (NITERÓI), v. 20, p. 9-29, 2018.

PARANHOS, J.; PERIN, F. S. **Relacionamento universidade-empresa no setor farmacêutico: duas pesquisas comparadas**. In. GARCIA, R.; RAPINI, M. S.; CÁRIO, S. (Org.). Estudos de casos da interação universidade-empresa no Brasil. FACE/UFMG, Belo Horizonte, p. 79-103, 2018.

PANTANO, G.; GROSSELI, G. M.; MOZETO, A. A.; FADINI, P. S. **Sustentabilidade no uso do fósforo: Uma questão de segurança hídrica e alimentar**. Química Nova [online]. 2016, v. 39, n. 6 [Acessado 17 Agosto 2021], pp. 732-740. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>>. ISSN 1678-7064.

PEREIRA, Tânia Sampaio; COSTA, Maria Lúcia M. Nova da. Os Jardins Botânicos brasileiros: desafios e potencialidades. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 62, n. 1, p. 23-25, 2010. Available from <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252010000100010&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252010000100010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 8 dez. 2021.

RAPINI, M. S.; OLIVEIRA, Vanessa Parreiras de; SILVA, Tiago Caliari. Como a interação universidade-empresa é remunerada no Brasil: evidências dos grupos de pesquisa do CNPq. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, SP, v. 15, n. 2, p. 219–246, 2016. DOI: 10.20396/rbi.v15i2.8649129. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8649129>. Acesso em: 26 mar. 2021.

RAPINI, M. S.; CHIARINI, T.; BITTENCOURT, P.F. Obstacles to innovation in Brazil: The lack of qualified individuals to implement innovation and establish university-firm interactions. **INDUSTRY & HIGHER EDUCATION**, v. 31 p. 168-183, 2017.

SELIEM, Moaaz K.; KOMARNENI, Sridhar; ABU KHADRA, Mostafa R. Phosphate removal from solution by composite of MCM-41 silica with rice husk: Kinetic and equilibrium studies. **Microporous and Mesoporous Materials**, 224 (2016) 51–57.

SESSA, C. B.; GRASSI, R. A. **Economia evolucionista e nova economia institucional na relação universidade-empresa caso NEXEM/UFES**. In. GARCIA, R.; RAPINI, M. S.; CÁRIO, S. (Org.). Estudos de casos da interação universidade-empresa no Brasil. FACE/UFMG, Belo Horizonte, p. 442-472, 2018.

SHARPLEY, A., JARVIE, H., FLATEN, D.; KLEINMAN, P. (2018), Celebrating the 350th Anniversary of Phosphorus Discovery: A Conundrum of Deficiency and Excess. **Journal of Environmental Quality**. 47: 774-777. <https://doi.org/10.2134/jeq2018.05.0170>. Acesso em: 18 fev. 2021

SILVA, C. F.; SUZIGAN, W. 2018. **Sistema Setorial de Inovação da metalurgia básica**. In. GARCIA, R.; RAPINI, M. S.; CÁRIO, S. (Org.). Estudos de casos da interação universidade-empresa no Brasil. FACE/UFMG, Belo Horizonte, p. 159-198, 2018.

SOUZA, A. E.; FONSECA, D. S. Economia Mineral do Brasil. Agência Nacional de Mineração. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-2-fosfato>> Acesso em: 30 nov. 2020.

SUZIGAN, W. e ALBUQUERQUE, E. (2008). **A Interação entre Universidades e Empresas em Perspectiva Histórica no Brasil**. Texto para discussão nº 329. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, p. 1-27.

UFMG. **A Universidade**. 2022. Disponível em: <<https://ufmg.br/a-universidade>>. Acesso em: 20 jun. 2022

UFMG. **Patentes e transferência tecnológica**. 2016. Disponível em: <<https://ufmg.br/pesquisa-e-inovacao/patentes-e-transferencia-tecnologica>> Acesso em: 6 dez. 2020.

UFMG. **UFMG lidera ranking de patentes no Brasil. Belo Horizonte**. 2017. Disponível em: <<https://www.ufmg.br/90anos/ufmg-lidera-ranking-de-patentes-no-brasil/>> Acesso em: 06 dez. 2020.

VALENTE, Luciano. Hélice tríplice: metáfora dos anos 90 descreve bem o mais sustentável modelo de sistema de inovação. **Conhecimento & Inovação**, Campinas, v. 6, n. 1, 2010. Disponível em <[http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1984-43952010000100002&lng=pt&nrm=iso](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-43952010000100002&lng=pt&nrm=iso)>. acesso em: 26 mar. 2021.

VAN VUUREN, D.P.; BOUWMAN, A.F.; BEUSEN, A.H.W. Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. **Global Environmental Change**,

v. 20, p. 428-439, 2010. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.004>. Acesso em: 18 fev. 2021.