

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE EVAPORAÇÃO PARA CONCENTRAÇÃO DE
NUTRIENTES NA MISTURA DE URINA E CINZA DE MADEIRA

CHAYAN RIOS SOARES

FEIRA DE SANTANA-BRASIL

DEZEMBRO 2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE EVAPORAÇÃO PARA CONCENTRAÇÃO DE
NUTRIENTES NA MISTURA DE URINA E CINZA DE MADEIRA

CHAYAN RIOS SOARES

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia dos Santos Nascimento

Co-Orientador: Prof. Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva.

FEIRA DE SANTANA-BRASIL

DEZEMBRO 2018

Ficha Catalográfica – Biblioteca Central Julieta Carteado

S653a Soares, Chayan Rios
Avaliação da técnica de evaporação para concentração de nutrientes na mistura de urina e cinza de madeira./ Chayan Rios Soares. – 2018. 64f.: il.

Orientadora: Patrícia dos Santos Nascimento
Coorientador: Eduardo Henrique Borges Cohim Silva

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2018.

1.Biofertilizante. 2.Nitrogênio. 3.Urease. I.Nascimento, Patrícia dos Santos, orient. II.Silva, Eduardo Henrique Borges Cohim, coorient. III.Universidade Estadual de Feira de Santana. IV.Título.

CDU: 631.81

Maria de Fátima de Jesus Moreira – Bibliotecária – CRB5/1120

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE EVAPORAÇÃO PARA CONCENTRAÇÃO DE
NUTRIENTES NA MISTURA DE URINA E CINZA DE MADEIRA

Chayan Rios Soares

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

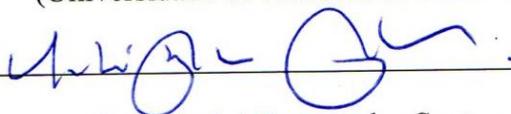
Aprovada por:



Prof. Patrícia dos Santos Nascimento, D. Sc
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva, D. Sc
(Universidade Estadual de Feira de Santana)



Prof. André Bezerra dos Santos, D. Sc
(Universidade Federal do Ceará)



Prof. Tereza Simonne Mascarenhas Santos, D. Sc
(Universidade Estadual de Feira de Santana)

FEIRA DE SANTANA-BRASIL

DEZEMBRO, 2018

DEDICATÓRIA

Dedico esta oportunidade de aprendizado e amadurecimento a Deus, a memória da minha Mãe, e ao incentivo do meu Pai.

AGRADECIMENTOS

Acima de todos e de qualquer coisa, agradeço ao Deus da minha vida por ter me sustentado e me dado forças para enfrentar os momentos onde precisei ser mais forte do que achei que poderia ser, por ter me erguido quando minha mente e corpo já não se mantinham de pé.

Aos meus pais, minha Neguinha (Mãe) que foi estar com Deus logo no início dessa jornada, e cuja ausência foi tão presente. Ao meu Painho, que tanto me incentivou, orou por mim, enxergou minhas dificuldades e esteve sempre a postos como um pai protetor.

Ao meu noivo, por toda cumplicidade, companheirismo, compreensão e incentivo, você é um dos presentes de Deus na minha vida.

Aos meus irmãos, o meu time perfeito, que tanto torcem por mim, me incentiva e cujo amor é tão aconchegante, a como eu amo vocês... (cunhadas e cunhado, amo vocês também).

As crianças da minha vida, meus sobrinhos amados, essa luta é também por vocês, buscando ser um exemplo do bem e contribuir com o desenvolvimento de vocês como cidadãos.

Aos amigos que cultivei durante o mestrado, Poli, Vanessa, Betinha, François, Thiago, poder contar com vocês foi essencial, os desabafos, as distrações, as batalhas, a força... Ter lutado ao lado de vocês foi uma honra.

A minha orientadora Patrícia, muito obrigada por toda a orientação e conhecimento passados, mas principalmente por ter contribuído tanto para o meu amadurecimento pessoal e profissional.

Ao Professor Eduardo Cohim, por ter me dado à oportunidade de estar próxima e com isso absolver um pouco do seu conhecimento, por ter sido tão cuidadoso comigo e notar no primeiro sorriso do dia se eu estava em um dia bom ou não.

A equipe do Laboratório de Saneamento, em especial Tai e Drico, pelo auxílio e pela amizade, vocês fizeram e estiveram presente na melhor parte desse mestrado. Que bom que vocês estavam lá.

As secretárias do PPGECEA, Mari e Katinha, vocês são maravilhosas, obrigada por toda ajuda e amizade de vocês, pelos papos leves e descontraídos na pausa para o cafezinho.

Aos professores do PPGECEA por todo o conhecimento compartilhado e contribuição com a minha formação profissional.

A Universidade Estadual de Feira de Santana por todo conhecimento adquirido durante a realização do mestrado.

A Capes pela bolsa concedida durante a realização dessa pesquisa e pelo incentivo ao desenvolvimento científico.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGECEA/UEFS como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (M.Sc.)

AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE EVAPORAÇÃO PARA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA MISTURA DE URINA E CINZA DE MADEIRA

CHAYAN RIOS SOARES

Dezembro/2018

Orientador: Prof^ª. Dr^ª Patrícia dos Santos Nascimento

A urina humana possui grande valor nutricional, porém em sua constituição 96% é água, e nos outros 4% estão os nutrientes. Tal composição dificulta a logística de armazenamento e transporte. O nitrogênio é o nutriente de maior representatividade na urina, estando presente sob a forma de ureia, que após excretada passa pelo processo de degradação desencadeada pela enzima urease e resulta na volatilização do nitrogênio amoniacal. Assim o objetivo desse trabalho é avaliar a concentração de nutrientes da urina associada a cinzas de madeira a partir da redução da umidade pelo processo de evaporação. A concentração de nutrientes foi promovida através da evaporação em estufa utilizando três temperaturas de secagem, 50, 60 e 70°C, e para inibir a urease foram testados quatro tratamentos T1 (5g de cinza+40 mL de urina), T2 (10g de cinza+40 mL de urina), T3 (15g de cinza+40 mL de urina) e T4 (20g de cinza+40 mL de urina). Os resultados obtidos mostram uma redução maior que 90% do volume inicial de urina, mantendo até 97,44% do nitrogênio total n temperatura de 50°C. Por outro lado, na temperatura de 70°C, a preservação do nitrogênio total variou de 3,2 a 7,9%. A concentração de nutrientes da urina humana associada a cinza de madeira através do processo de evaporação representa uma alternativa a ser considerada para contribuir com a inserção da urina no mercado de fertilizantes.

Palavras Chave: Nitrogênio, Biofertilizante, Urease

Abstract of the Dissertation presented to PPGECEA / UEFS as part of the requisites required to obtain a Master's Degree in Civil and Environmental Engineering (M.Sc.)

EVAPORATION TECHNIQUE EVALUATION FOR CONCENTRATION OF
NUTRIENTS IN THE MIXTURE OF URINE AND GRAY OF WOOD

CHAYAN RIOS SOARES

December/2018

Advisor: Prof^a. Dr^a Patrícia dos Santos Nascimento

Human urine has great nutritional value, but in its constitution 96% is water, and in the other 4% are the nutrients. Such composition hinders the logistics of storage and transportation. Nitrogen is the most representative nutrient in the urine, being present in the form of urea, which after excretion goes through the degradation process triggered by the enzyme urease and results in the volatilization of the ammoniacal nitrogen. Thus the objective of this work is to evaluate the concentration of urine nutrients associated to wood ash from the reduction of moisture by the evaporation process. The concentration of nutrients was promoted by evaporation in a greenhouse using three drying temperatures, 50, 60 and 70°C, and to inhibit urease, four treatments T1 (5g of ash + 40 mL of urine), T2 (10g of ash + 40 ml of urine), T3 (15 g of ash + 40 ml of urine) and T4 (20 g of ash + 40 ml of urine). The results show a reduction of more than 90% of the initial volume of urine, maintaining up to 97.44% of the total nitrogen at a temperature of 50°C. On the other hand, in the temperature of 70°C, the preservation of the total nitrogen ranged from 3.2 to 7.9%. The concentration of nutrients in human urine associated with wood ash through the evaporation process represents an alternative to be considered to contribute to the insertion of urine into the fertilizer market.

Keywords: Nitrogen, Biofertilizer, Urease

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Atividade enzimática da urease em função do pH. (a) Solução (b) Pó	30
Figura 2-Atividade enzimática da urease em função da temperatura. (a) Solução (b) Pó	30
Figura 3- Cristais de Estruvita	33
Figura 4-Cinzas de madeira bruta coletadas.....	37
Figura 5- Cinzas de madeira peneiradas em malha de abertura 2mm.....	37
Figura 6-Cinzas de madeira peneiradas em malha de abertura 0,2mm e utilizadas no experimento com urina	38
Figura 7- Tratamentos antes do processo de secagem.....	41
Figura 8- Comportamento de secagem das misturas Cinza+Urina em diferentes temperaturas.....	47
Figura 9-Percentual de nitrogênio preservado em cada tratamento e nos ensaios de evaporação em diferentes temperaturas.....	49
Figura 10-Relação entre % de N preservado, Umidade remanescente e pH nos	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição de diferentes biomassas	34
Tabela 2- Tratamentos	40
Tabela 3- Delineamento Experimental	40
Tabela 4- Caracterização Nutricional da Cinza Utilizada (%)	43
Tabela 5- Caracterização Nutricional da urina nos diferentes ensaios de evaporação (%)	45
Tabela 6- Balanço de massa de nitrogênio (g) nos diferentes tratamentos e temperaturas	51
Tabela 7- Balanço de massa de fósforo e magnésio (g) nos diferentes tratamentos e temperaturas.....	53
Tabela 8- Balanço de massa de sódio e potássio (g) nos diferentes tratamentos e temperaturas.....	54
Tabela 9- Caracterização nutricional dos tratamentos testados após submetidos a evaporação.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ADN – Acido Desoxirribo Nucleico
ADP – Adenosina Defosfórica
AVC – Avaliação Ciclo de Vida
BEN – Balanço Energético Nacional
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
NPK - Nitrogênio Fosforo Potássio
pH – Potencial Hidrogênioônico
NBR – Norma Brasileira
NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl
ONU – Organização das Nações Unidas
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
°C – graus Celsius
mg/L – miligramas por litro
g/L – grama por litro
L/dia – litro por dia
Lm⁻²d⁻¹ - litro por metro quadrado por dia
NPM – Numero Mais Provável
NPM/100mL – Numero Mais Provável por 100 mililitros
Cl – Cloro
Fe – Ferro
H – Hidrogênio
K – Potássio
K₂O – Oxido de Potássio
Mg – Magnésio
Mn – Mangânes
N – Nitrogênio
Na – Sódio
P – Fosforo
P₂O₅ – Pentoxido de Fósforo
Zn – Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO	17
1.1.1	Objetivos Específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	Saneamento Focado em Recursos.....	18
2.2	Produção e Utilização de Fertilizantes.....	18
2.3	Impactos Ambientais Relacionados à Produção de Fertilizantes	19
2.4	Fertilizantes Orgânicos	21
2.5	Caracterização da Urina.....	22
2.5.1	Caracterização Nutricional da Urina	22
2.6	Potencial Fertilizante da Urina.....	25
2.7	Ciclo do Nitrogênio.....	26
2.8	Perdas de Nitrogênio.....	28
2.8.1	Técnicas de Redução de Volume e Concentração de Nutrientes da Urina.....	31
2.9	Cinzas de Madeira.....	33
3	METODOLOGIA.....	36
3.1	Caracterização de Urina e Cinzas	36
3.1.1	Cinzas	36
3.1.2	Urina	39
3.2	Concentração de Nutrientes	40
3.3	Análise dos Dados.....	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	Caracterização da Cinza.....	43
4.2	Caracterização da Urina.....	44
4.3	Comportamento de Secagem	46

4.4	Preservação do Nitrogênio	48
4.5	Balanço de massa de nutrientes	51
4.6	Caracterização Nutricional dos Biofertilizantes Gerados	54
5	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A utilização de excretas humanas na agricultura segue as premissas do saneamento com foco em recursos, pois busca a reinserção dos nutrientes na natureza. Os nutrientes eliminados nas excretas chegam ao organismo por ingestão de alimentos, que por sua vez foram produzidos pela absorção de nutrientes presentes no solo. O saneamento ecológico busca devolver esses nutrientes ao solo para que possam novamente contribuir com o ciclo produtivo.

Seguindo o modelo de saneamento básico aplicado atualmente, o qual sugere um fluxo linear, o esgoto gerado é tratado e lançado nos mananciais, com concentrações de nitrogênio e fósforo ainda elevadas (VON SPERLING, 2009). Nos corpos hídricos esses nutrientes aceleram o processo de eutrofização, prejudicando a qualidade da água e causando a morte da vida aquática.

Dos nutrientes presentes no esgoto uma das principais fontes de contribuição são as excretas (urina e fezes). Comparado com as fezes, a urina contém a maioria dos nutrientes excretados anualmente por um humano adulto, sendo: de 80 a 90% do total de 4 kg de N excretado, de 50 a 80% de 0,4 kg de P e de 80 a 90% de 1 kg de K (VINNERÅS et al., 2006).

O reaproveitamento da urina na agricultura diminui a quantidade de nutrientes no esgoto, assim como o volume de esgoto gerado, e, portanto, lançado nos mananciais. É uma forma de reutilização dos nutrientes, além de ser uma manobra em prol da economia, já que se gastaria menos com transporte e tratamento de esgoto, e principalmente é um método de preservação do meio ambiente. Utilizar esses nutrientes, além de prevenir a poluição dos corpos d'água, evita a deterioração das reservas naturais através da extração de nutrientes para produção de fertilizantes, e evita a escassez desses.

Uma das limitações para o uso de urina como fertilizante é que ela é constituída principalmente de água (97%), o que significa que a concentração de nutrientes é baixa. Por exemplo, a concentração de N na urina é de 0,6%, enquanto que no fertilizante fabricado com ureia é de 46% (VINNERÅS et al., 2006). Outra questão limitante para o uso da urina na agricultura é que o nitrogênio presente na urina está sobre a forma de ureia, e ao ser excretada inicia o ciclo de decomposição da mesma através da ação da urease, que é a enzima responsável por promover a catálise da hidrólise da ureia,

levando a volatilização do nitrogênio transformado em nitrogênio amoniacal (JOHANSSON et al., 2005).

Buscando remover o excesso de umidade da urina e assim promover a concentração dos seus nutrientes, a cinza de madeira entra como uma alternativa de baixo custo e elevado potencial. A cinza proveniente da queima da madeira, de modo geral, ela tem de um terço a metade do seu peso total constituído por cálcio e a seguir potássio, fósforo, além de outros elementos minerais (KRAMER e KOSLOWSKY, 1960). Esses elementos são alguns dos macro e micronutrientes necessários para o desenvolvimento e produção de culturas agrícolas, portanto fazem parte da composição dos fertilizantes químicos utilizados na agricultura. A utilização de cinzas de madeira associada à urina humana resulta em uma mistura rica em nutrientes, além disso, a cinza por ser uma substância alcalinizante, pode agir como inibidor da uréase, impedindo assim a volatilização do nitrogênio amoniacal.

A utilização do biofertilizante formulado a partir da urina humana e da cinza de madeira de madeira além de contribuir nutricionalmente para o cultivo agrícola representa um ganho ambiental, pois reduz a extração de elementos como fósforo e potássio, que são recursos naturais não renováveis, e seu intenso uso ao longo dos anos os torna atualmente um elemento caro e cada vez mais escasso (CORDELL et al., 2011) De acordo com Quevedo (2009) cerca de 70% das reservas mundiais de fósforo encontram-se localizadas nos Estados Unidos, China, Marrocos e Rússia, e mais de 30 países são produtores de concentrado fosfático para o uso doméstico ou para exportação. São extraídas 148 milhões de toneladas de rochas fosfáticas a cada ano e cerca de aproximadamente 90% são utilizadas para a produção de alimento, principalmente na produção de fertilizantes agrícolas (OTT e RECHBERGER, 2012).

A técnica de concentração de nutrientes da urina associada às cinzas de madeira simplifica a logística, os custos de armazenamento, transporte e aplicação como fertilizante, ao mesmo tempo em que possibilita adquirir um fertilizante competitivo no mercado comercial.

1.1 OBJETIVO

Avaliar a concentração de nutrientes da urina associada às cinzas de madeira a partir da redução da umidade pelo processo de evaporação.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Caracterizar a urina humana e as cinzas de madeira quanto ao teor de nutrientes.
- Analisar o efeito de diferentes dosagens de cinzas de madeira no processo de concentração de nutrientes da urina.
- Analisar o efeito de diferentes temperaturas de secagem no processo de concentração de nutrientes da urina associada á cinza de madeira.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SANEAMENTO FOCADO EM RECURSOS

O saneamento focado em recursos, ou saneamento ecológico busca uma abordagem baseada no fechamento do ciclo, objetivando reproduzir processos naturais. Dessa forma, a matéria retirada da natureza, como alimentos, por exemplo, são reaproveitadas na forma excretas, reutilizando assim os nutrientes nela presentes. O objetivo desse tipo de saneamento é reciclar (nutrientes e água), reduzir o consumo de água, além de ter uma característica descentralizada e focada no tratamento in loco do esgoto sanitário. Como principal característica, no saneamento ecológico as excretas são vistas como nutrientes, logo, não podem ser perdidas ou desperdiçadas (ESREY, 1998).

Uma das características básicas nos projetos de saneamento ecológico é a segregação da urina, evitando que se misture com as fezes, facilitando tanto o tratamento quanto manejo dessas excretas. Dessa forma é possível gerenciar a excreta com pouca ou nenhuma água, e manter longe das águas superficiais e subterrâneas. Os agentes patogênicos são tratados perto do local onde foram excretados, reduzindo as possibilidades de contaminação. A reciclagem desses nutrientes feita de forma adequada devolve ao solo os nutrientes retirados através da produção de alimentos, restaurando o ciclo natural dos mesmos (ESREY et al.,1998).

2.2 PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES

Por mais de 150 anos a indústria de fertilizantes tem contribuído para o aumento da produção agrícola. E no contexto atual observa-se que houve uma acentuada redução nas áreas agricultáveis pelo mundo, o que intensifica a necessidade de se produzir mais em menores áreas, aumentando ainda mais a necessidade do uso de fertilizantes para alcançar a produtividade pretendida (ISHERWOOD, 1998).

Para a indústria agrícola o nitrogênio(N), o fósforo(P) e o potássio(K) representam maior interesse econômico, já que são esses os nutrientes utilizados em maior quantidade na fertilização, e por isso a grande maioria dos fertilizantes são formulados com NPK, que indica o percentual de nitrogênio, o teor percentual de fósforo na forma de pentóxido de fósforo, P_2O_5 , e o conteúdo percentual de potássio na

forma de óxido de potássio, K_2O . Então o fertilizante comercializado na verdade é o $N-P_2O_5-K_2O$ (DIAS e FERNANDES, 2006).

Os fertilizantes nitrogenados disponíveis no mercado são produzidos através do processo Haber-Bosch, criado em 1909 e que produz amônia anidra, desenvolvida a partir do hidrogênio e nitrogênio atmosféricos, usando ósmio como catalisador (CHAGAS, 2007). Essa síntese foi rapidamente atualizada para que pudesse atender o mercado comercial, pois o nitrogênio é um fator limitante na produção agrícola, e sem a disponibilidade de fertilizantes nitrogenados a produção de alimentos não atenderia a demanda mundial ao longo do tempo (ERISMAN et al., 2008; GRUBER e GALLOWAY, 2008).

A amônia anidra é um gás obtido pela reação do gás de síntese, uma mistura na relação 1 parte de nitrogênio (N) proveniente do ar com 3 partes do hidrogênio (H) proveniente de fontes como, gás natural, nafta, óleo combustível além de outros derivados do petróleo, porém o gás natural é o mais usado pois é considerado a melhor fonte de hidrogênio para a produção de fertilizantes nitrogenados (DIAS E FERNANDES, 2006).

Depois do nitrogênio, o fósforo é o elemento mais requerido para a produção agrícola, e para atender a essa elevada demanda são extraídas grandes quantidades de pentóxido de fósforo (P_2O_5) das rochas fosfáticas, porém o processo de restabelecimento desse na natureza é bastante lento e incompatível com as taxas extraídas, o que gera uma preocupação quanto a disponibilidade futura. Assim como o fosfato a produção potássio, depende essencialmente da mineração e da sua concentração na forma de depósitos de minério da crosta terrestre, sendo estes recursos não renováveis, porém as reservas de potássio são conhecidas e os recursos são maiores que o fosfato (ISHERWOOD 1998).

2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES

Alguns impactos ambientais advém do uso de fertilizantes químicos os quais podem chegar aos mananciais e deteriorar a a qualidade das suas águas, além de existir preocupações quanto as reservas desses nutrientes, a sua disponibilidade a longo prazo, e a poluição causada pela sua fabricação.

O processo danoso na fabricação de fertilizantes nitrogenados é intensificado quando o nitrogênio é convertido em nitrogênio reativo, ele passa de uma para outra forma de poluição, desde ácido nítrico (causadores de chuva ácida), nitratos (responsáveis por eutrofização de cursos de água) até o óxido nitroso (um dos gases do efeito estufa). Independentemente de qual seja a fonte sintética do nitrogênio (petróleo ou síntese química), em ambos os casos o nitrogênio foi retirado de um estado latente ou inerte, para uma forma ativa, causando um desequilíbrio ao meio ambiente (TAGLIALEGNA et al.,2001).

Já o fósforo, um dos principais macronutrientes, vital para o funcionamento e sustentação dos sistemas biológicos dos organismos vivos, é um recurso natural não renovável, e seu intenso uso ao longo dos anos o torna atualmente um elemento caro e cada vez mais escasso, considerando ainda que na produção de alimentos não existe substituição para o uso do fósforo (CORDELL et al., 2011). Esse fator é agravado com o crescimento populacional, onde se estima que em 2055 haverá 10 bilhões de pessoa no mundo, se tornando difícil garantir uma quantidade suficiente de fósforo para o suprimento alimentar (ONU, 2017).

De acordo com Quevedo (2009) cerca de 70% das reservas mundiais de fósforo encontram-se localizadas nos Estados Unidos, China, Marrocos e Rússia, e mais de 30 países são produtores de concentrado fosfático para o uso doméstico ou para exportação. São extraídas 148 milhões de toneladas de rochas fosfáticas a cada ano e cerca de aproximadamente 90% são utilizadas para a produção de alimento, principalmente na produção de fertilizantes agrícolas e uma menor fração em aditivos alimentares (OTT e RECHBERGER, 2012).

Existe um grande desafio para chegar ao ciclo sustentável do fósforo. Cordell et al.(2011) aponta que para atender à crescente demanda de fósforo a longo prazo seria necessário medidas de gerenciamento de demanda e aumentar as taxas de recuperação do fósforo através de excrementos humanos, estrume, resíduos alimentares e resíduos de mineração. Porém para isso são necessárias mudanças substanciais na infraestrutura física, novas parcerias e políticas estratégicas para orientar a recuperação e reutilização do fósforo.

Moore (2016) desenvolveu uma avaliação ambiental com o objetivo de examinar os efeitos sistêmicos da substituição de fertilizantes químicos por vinhaça e bolo de filtração sobre o desempenho ambiental do etanol, via avaliação do ciclo de vida

(ACV), com o estudo observou-se que a reutilização de resíduos como fornecedores de nutrientes primários para o cultivo de cana em vez de fertilizantes químicos é uma prática válida que melhora o desempenho ambiental do etanol.

2.4 FERTILIZANTES ORGÂNICOS

Segundo Domínguez et al.(2010), fertilizantes orgânicos são produtos de origem animal ou vegetal que propiciam melhorias nas qualidades físicas, químicas e biológicas no solo. Os fertilizantes orgânicos representam nutrientes de baixo custo, e a sua utilização acarreta em benefícios para a produção agrícola e preservação do meio ambiente.

Existem vários materiais tratados como resíduos descartáveis que possuem um grande potencial nutritivo para adubação de culturas, podendo ser utilizados para produção de fertilizantes orgânicos, como lodos, resíduos vegetais, excretas e outros. Porém, Antonioli et al. (2009) afirma que uma das grandes dificuldades para a aceitação e disseminação da utilização dos fertilizantes orgânicos está relacionado ao reduzido número de informações sobre as características dos resíduos e a resposta de cada um deles em diferentes culturas.

Os fertilizantes minerais são solúveis e os nutrientes contidos neles estão presentes em formas diretamente absorvíveis, ou seja, assim que adicionados ao solo a planta já consegue absorvê-los. Já na maioria dos fertilizantes orgânicos os nutrientes estão presentes na forma orgânica, então quando são incorporados ao solo eles necessitam passar pelo processo de mineralização para que possam ser absorvidos (CAMARGO et al., 1997).

A urina é um dos fertilizantes orgânicos onde os nutrientes não necessitam passar pelo processo de mineralização, pois os nutrientes presentes na urina estão em forma iônica, sendo essas de disponibilidade direta para as plantas já que são formas em condições de serem perfeitamente absorvíveis assim como os fertilizantes químicos (JOHANSSON et al., 2005).

2.5 CARACTERIZAÇÃO DA URINA

A urina é um líquido resultante da excreção renal, sendo coletado na bexiga e excretado através da uretra. Segundo Heinonen-Tanski et al.(2007) a urina humana é um recurso natural, rica em nutrientes presentes em alimentos que não foram utilizados para o crescimento de células novas ou no consumo de energia, ou seja, todos os componentes que não foram utilizados para o funcionamento metabólico estão na urina, sendo esses componentes orgânicos e inorgânicos. Grande parte da urina é composta por água, cerca de 91-96% (ROSE et al., 2015), e segundo Dalmolin (2011), 2 % de ureia e nos aproximadamente 3% restantes, fosfato, sulfato, amônia, magnésio, cálcio, ácido úrico, creatina, sódio, potássio e outros elementos.

Cada ser humano produz em média de 1 a 1,5 litros de urina por dia (ROSE et al., 2015; MEINZINGER e OLDENBURG, 2009; STOWA, 2002, HÖGLUND et al., 2002.), essa variação, de acordo com STOWA (2002) dependem do sexo, e da ingestão de líquidos, da hora do dia, da dieta, do clima, da atividade física, bem como o tamanho do corpo, além desses outras características que podem interferir nessa variabilidade. Um exemplo dessa variabilidade foi observado em um estudo realizado para caracterizar a urina de mulheres negras e brancas, onde a mulher negra produz um volume de 0,24L/dia menor que as mulheres brancas (TAYLOR E CURHAN, 2007).

Considerando que cada ser humano produz 1,5 litros de urina diariamente, e sabendo que a população mundial é aproximadamente de 7,6 bilhões de habitantes no ano de 2018, segundo dados da Organização das Nações Unidas-ONU, tem-se 11,4 bilhões de litros de urina lançados ao meio ambiente todos os dias e grande parte acaba chegando aos corpos hídricos. Sendo assim percebe-se que além de ser uma solução de elevado valor nutricional, a urina é também um material de grande disponibilidade e fácil acesso, porém, por ser um líquido humano excretado, cria na população uma repulsa e ideia de contaminação.

2.5.1 Caracterização nutricional da urina

Estima-se que a urina contribui com 80% do nitrogênio, 55% do fósforo e 60% do potássio encontrado nas águas residuais domésticas (JÖNSSON et al., 2000). As formas de nitrogênio predominantes encontradas no esgoto doméstico são nitrogênio

orgânico, devido aos grupamentos amina, e a amônia, com sua principal origem na ureia (von SPERLIG et al., 2009). A ureia, que é produzida no fígado, é o principal componente do nitrogênio encontrado na urina humana (HEINONEN-TANSKI et al., 2007), é hidrolisada rapidamente em contato com o ambiente e convertida em amônia e bicarbonato. A produção de fertilizantes a base de ureia tem se desenvolvido nas últimas décadas, sendo um dos componentes dos adubos nitrogenados industriais mais importantes (GRANELLI 1995 apud HEINONEN-TANSKI et al., 2007). Soares et al.,(2012) justificam o uso da ureia como fertilizante devido a sua alta concentração de nitrogênio, além da restrição ao uso de nitrato de amônio (podendo ser empregado como explosivo) e ao alto preço do sulfato de amônio, que também são fertilizantes nitrogenados.

Ao longo do tempo, a fertilização com ureia se mostrou economicamente mais vantajosa, apesar das altas taxas de perda pela volatilização da amônia que ocorre durante a aplicação na superfície dos solos ácidos e alcalinos (REIS et al., 2010; SOARES et al., 2012), com isso, vários produtos foram estudados para reduzir a perda da amônia, através da inibição da urease. A volatilização da amônia que ocorre com a hidrólise da ureia, em geral ocorre na primeira semana após a aplicação da ureia no solo (SOARES et al., 2012).

Um dos parâmetros analisados para quantificar o nitrogênio é o nitrogênio total, e observando bibliografias publicadas em diferentes regiões do mundo percebe-se que os valores para nitrogênio total na urina variam de 2,9 a 9,7 g/L (ZHANG et al., 2014; PRADHAN et al., 2010; PRADHAN et al., 2009; MEINZINGER e OLDENBURG, 2009; STOWA, 2002; BOTTO, 2007).

Em um estudo desenvolvido por Bischel et al., (2015) foi observado que a amônia atua como um desinfetante e que para maximizar esse efeito, as perdas da amônia na urina armazenada devem ser minimizadas. Os mesmos autores apontam que a diluição da urina ou o uso de tanques não selados ou a aeração durante o bombeamento de urina para o transporte, podem levar á volatilização da amônia, devendo então ser limitada essas ações para o melhor aproveitamento desse composto.

O fósforo está disponível na natureza em combinações de fosfatos e outros sais. Como componente orgânico, encontra-se nos organismos vivos sob as formas de fosfatos de cálcio nos ossos e nos dentes, de ésteres ortofosfóricos, de ésteres difosfóricos (adenosina difosfórica ou A.D.P. que desempenham um papel importante

na reserva genética), de nucleotídeo no ácido desoxirribonucléico (ADN); faz parte da urina, do sangue e de outros líquidos corporais. Os fosfatos ocorrem nos alimentos como um componente natural de moléculas biológicas e na forma de vários aditivos alimentares e conservantes (STOWA, 2002).

O Potássio é um dos macronutrientes mais importantes ao organismo, em nível celular ele atua nos tecidos musculares e nervos, é responsável pela manutenção do equilíbrio hidro-electrolítico, além de desempenhar um papel fundamental nas contrações musculares, função cardíaca, transmissão do impulso nervoso, tornando-se essencial à vida (TORTORA e DERRICKSON, 2016). O potássio ingerido e não absorvido pelo corpo é eliminado pelos rins através da urina, de forma a manter os níveis sanguíneos de potássio controlados.

Na urina o potássio está disponível na forma iônica (K^+), onde, de acordo com a literatura pesquisada os teores variaram de 0,108 a 2,4 g/L (GANESAPILLAI et al., 2015; ZHANG et al., 2014; ETTER et al., 2013; PRONK e KONÉ, 2009; PRADHAN et al., 2009; STOWA, 2002).

Os teores de potássio, igualmente ao fósforo e nitrogênio, vão variar de acordo com a dieta, como por exemplo, no caso de vegetarianos que excretam uma quantidade maior de potássio em comparação com os outros tipos de dieta, isso se dá devido à grande disponibilidade do potássio nas frutas e verduras, que são consumidos em maior quantidade por pessoas que seguem esta dieta (OPHIR et al., 1983 apud PRADHAN et al., 2010).

Além dos principais macronutrientes (N,P,K) estão também presentes na urina outros macronutrientes como, enxofre, cálcio e magnésio, e micronutrientes. A presença e concentração desses elementos na urina, assim como de todos os outros, está condicionada aos alimentos ingeridos por cada indivíduo. Todos esses elementos são considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas e por este motivo são também utilizados na composição de fertilizantes agrícolas.

2.6 POTENCIAL FERTILIZANTE DA URINA

A utilização da urina na agricultura não é algo novo, Geels (2006) ao abordar sobre a transição de tecnologia no saneamento, relata que os campos agrícolas eram o destino mais comum das excretas antes de ser conhecido o modelo de saneamento básico atual. O reúso agrícola da urina acabou sendo esquecido por algum tempo, porém nas últimas décadas os estudos que testam sua eficácia como fertilizante tem se intensificado.

Botto et al.(2017), ao avaliarem a possibilidade de uso da urina como fertilizante natural na produção de mamona (BRS 149 Nordestina), constatou a potencialidade de substituição da fertilização química pela urina, afirmando que quanto maior a taxa de aplicação da urina, maior a produtividade.

Amoah et al.(2017), avaliaram o efeito da urina humana e de outros insumos orgânicos nas características químicas do solo e observou uma melhoria na absorção de nutrientes e no conteúdo de nitrogênio e fósforo no solo.

Guadarrama et al.(2000) desenvolveram experimentos com o objetivo de avaliar o desenvolvimento de alface (*Lactuca Sativa. L*) utilizando urina e outros adubos orgânicos, e com isso observou que a adubação com urina apresentou a melhor eficiência devido à disponibilidade de seus nutrientes.

Pradhan et al. (2009), realizou um experimento em cultivo de tomate, comparando tratamentos como urina e fertilizantes mineral (NPK),o resultado revelou que as plantas fertilizadas com urina produziram quantidades iguais às plantas fertilizadas com NPK e 4,2 vezes mais frutos do que plantas não fertilizadas. Além disso o resultado também revelou que nenhum micro-organismo indicador entérico como coliformes termotolerantes foram detectados em qualquer fruta de tomate.

Na província de Guangxi-China é comum a presença de hortas sobre telhados, onde usam apenas urina para cultivar produtos como tomates, repolhos, feijões e abóboras. Na China a utilização de excretas faz parte de tradições antigas, sendo reconhecidas há séculos, como um valioso fertilizante (ESREY e ANDERSSON, 2005).

Mesmo com o avanço das pesquisas, para que a utilização da urina como fertilizante ocupe espaço no mercado agrícola, é preciso encontrar solução para alguns inconvenientes. Um deles é a relação entre volume de urina e concentração de

nutrientes. O fato da urina ser uma solução com grande volume de água trás alguns obstáculos para sua utilização em grande escala, pois passa-se a necessitar de maior espaço de armazenamento para se obter quantidades expressivas de nutrientes. Esse aspecto pode ser ainda mais inconveniente quando necessário o transporte da urina.

Para que ocorra uma redução no volume e conseqüentemente um aumento na concentração dos nutrientes, faz-se necessário à utilização de técnicas que removam a água contida. Porém, o nitrogênio presente na urina pode ser perdido para a atmosfera através de emissões gasosas de amônia em pouco tempo, e esse fato reduz as possibilidades de manuseio dificultando assim seu uso (JOHANSSON et al., 2005; RODHE et al., 2004). Logo, ao utilizar técnicas para concentração dos nutrientes da urina, é preciso também buscar soluções que impeçam que os nutrientes presentes sejam perdidos. O sucesso da aplicabilidade dessas técnicas é um passo para que a urina possa se posicionar no mercado de fertilizantes como uma opção competitiva.

2.7 CICLO DO NITROGÊNIO

O nitrogênio é encontrado em abundância na atmosfera na forma do gás N_2 , constituindo cerca de 80% do seu volume total, porém, nesta forma ele não está disponível para os seres vivos. As formas disponíveis de nitrogênio para a nutrição dos seres vivos incluem as combinações amoniacais (NH_4^+), nítricas (NO_3^-) ou orgânicas ($R-NH_2$) que são metabolizadas visando à construção de biomassa. Na natureza, o nitrogênio apresenta um grande número de transformações mediadas por grandes entradas energéticas ou microrganismos específicos. Essas transformações fazem parte do ciclo do nitrogênio que segundo Gary e Stephen (2017) passa pelas seguintes etapas descritas.

Fixação do N_2 - Reações de fixação de nitrogênio são aquelas através das quais a molécula de nitrogênio gasoso é convertida em uma das formas fixas de nitrogênio associada a ambientes aquosos ou terrestres, particularmente nitrato ou íons de amônio. A conversão exige a quebra da ligação tripla de nitrogênio, sendo necessária uma grande entrada de energia (945 KJ mol⁻¹ aproximadamente), na atmosfera inclui descargas atmosféricas, raios cósmicos e trilhas de meteoros. Na produção industrial esse processo é parte da produção de amônia, sendo realizados em 3×10^4 KPa de pressão e 500°C de temperatura na presença de um catalizador de níquel. Uma grande

porção da amônia é aplicada no solo como fertilizante, e o restante é usado como matéria de partida para a fabricação de ureia.

A fixação biológica é mediada por microrganismos terrestres pode envolver bactérias que vivem em uma relação simbiótica com nódulos nas raízes de algumas espécies de plantas capazes de catalisar a conversão de nitrogênio atmosférico em formas orgânicas utilizáveis pelas plantas. Da mesma forma, existem pelo menos 15 espécies de microrganismos não simbióticos e de vida livre, que são também capazes de fixar o nitrogênio. A fixação biológica também pode ocorrer através da ação de microrganismos marinhos, incluindo algumas algas.

Desnitrificação- O fator de equilíbrio final que leva ao retorno do nitrogênio da terra e da água para a atmosfera é desnitrificação. Essas reações ocorrem mais comumente em água doce e águas profundas do mar ricas em matéria orgânica, além de ocorrer em grande escala sob condições anaeróbicas no solo. A desnitrificação pode levar a liberação do íon amônio, que é utilizado para a síntese de proteína celular nos próprios microrganismos. No entanto, sob condições alcalinas a amônia permanece em uma forma desprotonada através da qual pode ser liberada para a atmosfera.

Amonificação- As matérias orgânicas contêm nitrogênio em quantidades variáveis dependendo do organismo e tipo de tecido. A maior parte do nitrogênio está em forma de proteína, e quando a matéria orgânica se decompõe em água e no solo o nitrogênio se torna um aminoácido, inicialmente liberado ao ambiente em formas reduzidas, amônio ou amônia, dependendo do pH. A conversão de nitrogênio orgânico para nitrogênio inorgânico é chamada amonificação. As ligações C-N são relativamente reativas, e a amonificação é uma forma de mineralização, portanto uma reação rápida.

Combustão- Os combustíveis fósseis e a biomassa combustível contêm N em quantidades variáveis dependendo da natureza do combustível. Quando queimados o N é devolvido à atmosfera principalmente na forma de NO.

Nitrificação- A nitrificação é definida como a formação biológica de nitrato ou nitrito a partir de compostos que contenham nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+). A importância da nitrificação está na produção de nitrato, que é a principal fonte de nitrogênio assimilado pelas plantas. O íon amônio, presente na água ou no solo como resultado da amonificação ou adicionado à forma de um fertilizante contendo amônio (sulfato de amônio, nitrato de amônio, uréia e amônia em si), sujeito a um ambiente

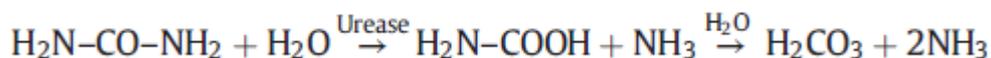
aeróbico, passa pela oxidação do nitrogênio reduzido, parte do elemento é assimilado no protoplasma bacteriano para formar células com uma fórmula empírica de aproximadamente $C_3H_7O_2N$.

Assimilação- Depois do carbono, oxigênio e hidrogênio, o nitrogênio é quantitativamente o elemento mais importante exigido pelas plantas e microorganismos para o crescimento da água e do solo. Para muitas culturas agrícolas, a concentração de nitrogênio no tecido da planta é de cerca de 1,5% em massa. Tanto amônio como nitrato servem como fonte de nutrientes. O amônio é a forma preferida, mas o nitrato é a espécie estável e comum em ambientes bem arejados. O primeiro passo da assimilação do nitrato é a troca iônica na superfície da raiz ou do micróbio e isso é essencialmente um processo neutralizador de ácido. Isso ocorre porque o ânion trocado da célula é geralmente um ânion fraco, como o carbonato. Após a liberação na solução adjacente às células da raiz do micróbio ou da planta, o carbonato é capaz de agir como um receptor de prótons. Em um sistema fechado, a nitidez gerada pela nitrificação é pelo menos parcialmente neutralizada por assimilação. Logo, a assimilação é um meio de imobilizar biologicamente as espécies de nitrogênio e, ao mesmo tempo, neutralizar a acidez.

2.8 PERDAS DE NITROGÊNIO

O nitrogênio presente na urina humana está principalmente sob a forma de ureia, e depois de excretada a ureia inicia o seu ciclo de decomposição, onde através da ação da urease (enzima responsável pela catalise da hidrólise da ureia) ocorre a volatilização do nitrogênio na forma de amônia (Equação 1).

Equação 1-Formação da amônia a partir da decomposição da ureia



Fonte: Senecal e Vinneras, 2017

Durante a hidrólise da ureia, catalisada pela urease, são formadas as espécies iônicas carbamato ($H_2N-COOH$) e amônia (NH_3). O carbamato é pouco estável e hidrolisa espontaneamente para ácido carbônico (H_2CO_3) e amônia (NH_3).

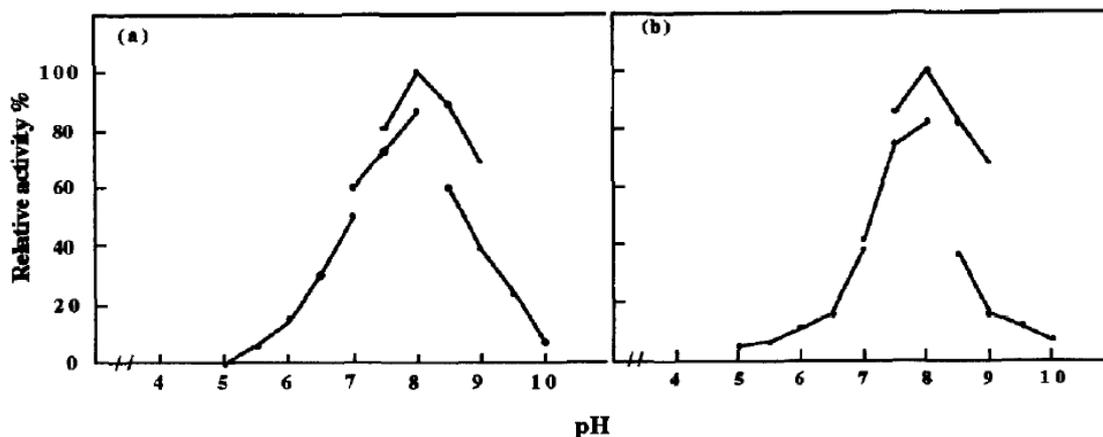
Já que o processo de degradação da ureia e consequente perda do nitrogênio presente na urina se inicia através da ação da urease, inibir esta enzima pode permitir que a urina mantenha seu teor de nitrogênio por mais tempo, permitindo assim seu armazenamento e ampliando as técnicas de manuseio. Dentre os fatores que interferem na atividade enzimática pode-se ressaltar a temperatura e o pH.

Mudanças na temperatura de uma reação exercem influência sobre a cinética enzimática. O aumento da temperatura resulta na elevação da energia cinética das moléculas, sendo esse efeito observado em um intervalo de temperatura compatível com a estrutura espacial da enzima, temperaturas mais altas provocam ainda à desnaturação enzimática por alterarem as ligações que conservam a estrutura tridimensional da enzima, provocando alterações na estrutura enzimática, levando esta enzima a uma nova conformação (ALMEIDA et al., 2008).

A maioria das enzimas sofrem desnaturação irreversível em altas temperaturas (40°C ou 50°C), porém a temperatura ótima de uma enzima é um termo sem significado até que seja registrado o tempo de sua exposição a essa temperatura, assim como a composição do meio em análise, pH e força iônica (Morris, 1972).

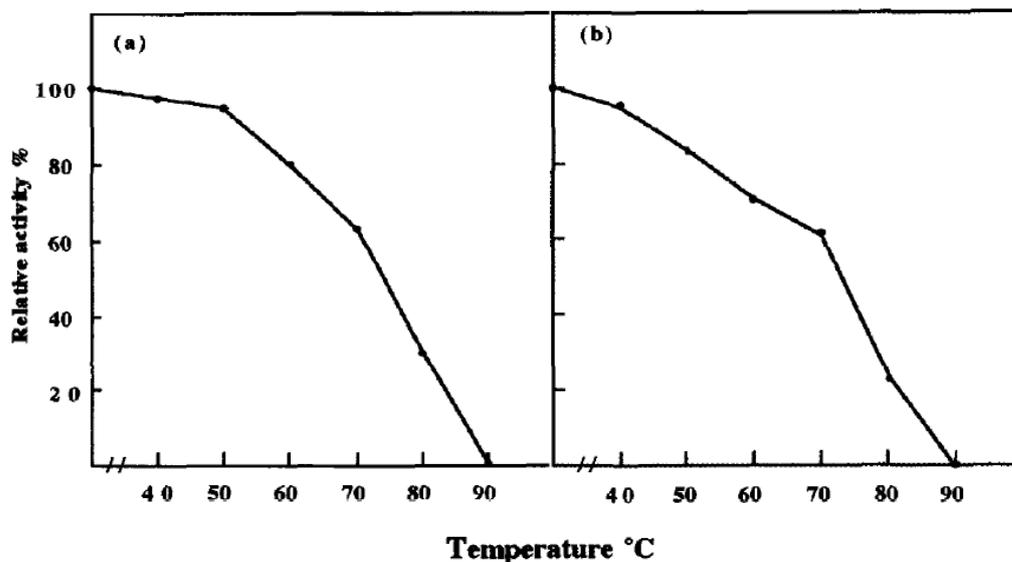
Mohamed et al.(1999), buscou analisar a uréase em pó e em solução líquida, através de propriedades como pH ótimo e estabilidade térmica. Com o estudo ele observou que as uréases iniciaram suas atividades em pH 5, e atingiram atividade máxima em pH 8, sendo este seu pH ótimo, ao atingir pH 10 nenhuma atividade enzimática foi detectada. Quanto a temperatura, as enzimas perderam 20 e 30% de suas atividades após incubação em pH 7,5 por 30 min a 60 ° C, respectivamente. As duas enzimas foram rapidamente inativadas em temperaturas mais altas, elas perderam 70 e 77% de suas atividades a 80 °C, respectivamente, sendo ambas inativadas ao atingirem 90 °C. As figuras 1 e 2 mostram esses resultados.

Figura 1- Atividade enzimática da urease em função do pH. (a) Solução (b) Pó



Fonte: Mohamed et al.(1999)

Figura 2-Atividade enzimática da urease em função da temperatura. (a) Solução (b) Pó



Fonte: Mohamed et al.(1999)

A medida que o pH de um meio varia, ocorrem também variações sobre a atividade enzimática. As enzimas, assim como as demais proteínas, contêm grupos ionizáveis e diferentes estados de ionização, sendo a atividade catalítica limitada a uma faixa de pH, que é definida através de fatores como força iônica, temperatura, concentração de íons metálicos, substratos e cofatores da enzima. Para a urease a presença de metais pesados e fluoreto, acima de 2,0 mg/dL, atuam como inibidores (BIOCLIN, 2006).

2.8.1 Técnicas de redução de volume e concentração de nutrientes da urina

Evaporação

Uma das alternativas de tratamento da urina buscando a redução do volume é a evaporação, podendo ser aplicada através de diferentes fontes de energia. Maurer et al (2006), afirmam que a evaporação é a técnica mais adequada para as regiões próximas às zonas agrícolas que não possuem um fornecimento de energia elétrica confiável, pois ainda assim pode-se utilizar por exemplo o calor do sol. Além da redução do volume de líquidos da urina, a evaporação também é considerada como um tratamento para eliminar a presença de possíveis patógenos, pois o fato de submetê-los a altas temperaturas causa a sua eliminação (ZANCHETA, 2007).

Segundo Wieland (1994), a evaporação da urina utilizada para concentração de nutrientes, apresenta dois aspectos que devem ser controlados, a perda do nitrogênio e o consumo de energia. Quanto à perda de nitrogênio pode ser amenizada com o controle do pH, buscando faixas onde a urease tenha sua atividade enzimática reduzida, e o consumo de energia pela utilização de outras fontes como energia solar.

No processo de evaporação a urina é submetida a altas temperaturas, e isso além de provocar a conversão de água líquida em vapor, provoca também alterações na atividade enzimática da urease. Zancheta (2007) testou a técnica de evaporação da urina em condições naturais de exposição ao sol e com a aplicação de ácido sulfúrico para controlar a faixa de pH e assim amenizar a ação da urease e consequente perda de amônia, com isso conseguiu obter um resíduo com 91% das concentrações de nutrientes contida nos fertilizantes artificiais, e após a evaporação a média foi de 21 Kg de material residual para 500 Kg de urina líquida.

Senecal e Vinneras (2017) com o objetivo de promover a concentração dos nutrientes da urina, testaram diferentes temperaturas de evaporação e para reduzir as perdas de nitrogênio tornaram o meio altamente alcalino buscando inibir a ação da urease, conseguindo uma redução de apenas 3,3% do nitrogênio contido na urina.

Entre os métodos utilizados para redução de volume e concentração de nutrientes da urina a evaporação se destaca por poder ser aplicada mesmo em condições de pouca disponibilidade tecnológica. A evaporação é a técnica mais apropriada para

regiões de zonas agrícolas, onde frequentemente não possuem um fornecimento de energia elétrica regular, pois mesmo sem esse suporte, o calor necessário para reação pode ser proveniente da energia solar. E por esse motivo a evaporação é mais conveniente em regiões de clima quente, onde pode ser utilizada em condições de campo (MAURER et al., 2006).

Congelamento e descongelamento

Lind et al., (2001) apresentou o congelamento como um método simples para reduzir substancialmente o volume da urina; ao congelar a urina a uma temperatura de aproximadamente -14°C , observou que 80% dos nutrientes podem ser concentrados em 25% do volume original, por outro lado, afirma que consiste em um processo lento em que a concentração da urina ocorre pela capacidade da água em formar “cristais puros”.

Rebouças (2009), congelou a urina previamente estocada por 6 meses a -22°C durante 10 horas, após esse período a urina foi descongelada aos poucos retirando a parte já descongelada; com isso obteve uma concentração de aproximadamente 70% dos nutrientes iniciais em 30% do volume inicial. Gulyas et al. (2004) obtiveram resultados semelhantes usando câmaras de congelamento de filme em queda, com os dados comerciais de consumo energético dessas câmaras, eles calcularam que o consumo energético no processo foi de 1100 MJm^{-3} para uma redução de cinco vezes no volume, o que indica que a evaporação é mais eficiente com relação à eficiência energética do que o processo de congelamento e descongelamento.

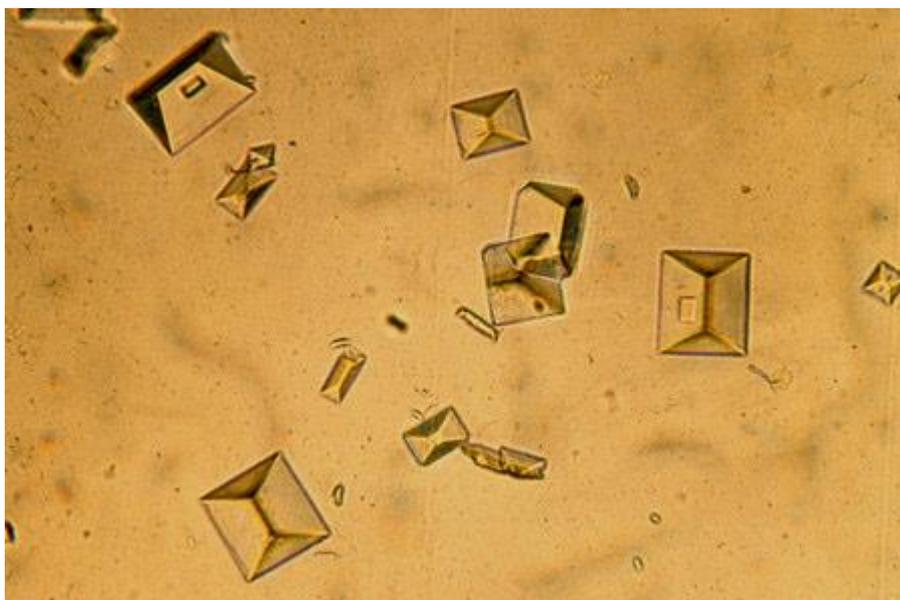
Precipitação de Estruvita

Quando armazenada a urina passa pelo processo de decantação dos sólidos presentes e de hidrólise da ureia, que provoca a liberação de amônia e conseqüentemente o aumento no pH do meio. Com isso acontece a formação de uma lama que consiste principalmente de estruvita (MgNH_3PO_4) e hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)(\text{OH}_2)$), esses minerais se formam em função do pH da urina armazenada

aumentar atingindo valores entre 9 e 9.3 e neste pH as concentrações iniciais do fosfato, magnésia, cálcio não são mais solúveis, mas precipitam. A concentração do fósforo na camada decantada pode ser duas vezes mais alta do que o resto da urina, sendo assim, essa lama pode ser melhor utilizada para plantas com alta demanda de fósforo ou ainda misturada com o resto da urina (JONSSON et al., 2000; UDERT et al., 2003).

A estruvita, uma substância cristalina (Figura 5), possui baixa solubilidade em água e soluções alcalinas, porém é altamente solúvel em soluções ácidas, sendo esta uma limitação para seu uso, além disso, esses cristais podem formar incrustações em tubulações e nos materiais utilizados para o armazenamento da urina (von MÜNCH; WINKER, 2009).

Figura 3- Cristais de Estruvita



Fonte: Urinar (2005)

2.9 CINZAS DE MADEIRA

Materiais de origem vegetal tem se destacado como substratos para produção agrícola, porém, para atestar a eficiência desses materiais é necessário amplo conhecimento a cerca de suas composições químicas e características físicas

Para que seja viável a utilização de materiais orgânicos no processo produtivo agrícola, além de ter características apropriadas é necessário que o produto seja acessível e tenha boa disponibilidade. Utilizando dados do Balanço Energético Nacional

(BEN 2017), o Brasil produziu 73500 toneladas de lenha no ano de 2016, sendo esta utilizada como fonte energética. Este considera as fontes de produção formal, podendo este valor ser muito maior levando em consideração os produtores não regulamentados. A cinza é o subproduto dessa fonte energética, logo, promover uma reutilização para esta é o mesmo que reinserir seus nutrientes ao ciclo produtivo, pratica que exultam as premissas do saneamento ecológico.

As cinzas de madeira são biomassas, e essas são hidrocarbonetos com presença de oxigênio em sua composição química. A biomassa é composta por estruturas denominadas celulose (40 a 50%), hemicelulose (20 a 40%) e lignina, com composições variadas (MOERS et al., 2011). Essas variações estão expostas na Tabela 1, onde observa-se também o percentual de cinzas de algumas biomassas que são utilizadas na geração de energia.

Tabela 1- Composição de diferentes biomassas

Biomassa	Composição (%)					Teor de Cinza
	C	H	O	N	S	
Pinus	49,2	5,9	44,3	0,06	0,03	0,3
Eucalipto	49,0	5,8	43,9	0,03	0,01	0,7
Bagaço de Arroz	40,9	4,3	35,8	0,40	0,02	18,3
Bagaço de Cana	44,8	5,3	42,3	0,38	0,01	1,5

Fonte: GIMENES (2012)

As cinzas, parte inorgânica da biomassa, são compostas de todos os nutrientes que não se degradaram com a combustão, como o fósforo, o potássio e o cálcio (BRAND, 2008). De acordo com BRAND (2007; 2008) o teor de cinzas varia em função da biomassa, da espécie da madeira e da parte da planta de onde foi retirada (tronco, galhos, cascas, etc.). Algumas das substâncias provenientes da queima de madeira são: SiO_2 , Al_2O_3 , MnO_2 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , CaO , K_2O , Mg , P_2O_5 , S .

Segundo Gimenes (2012), as cinzas podem causar incrustações de óxidos alcalinos, ataque químico aos refratários e sinterização do material particulado quando o teor de Na_2O , K_2O está elevado. Neste estudo ele apresenta a composição de cinzas de duas indústrias diferentes, onde além do tipo de biomassa que originou as cinzas, as diferenças nas quantidades de cada substância podem ocorrer devido à variação das

temperaturas de combustão. Maiores temperaturas representam maiores degradações da matéria orgânica.

Horta et al. (2010), desenvolveu uma pesquisa com o objetivo de avaliar o potencial fertilizante de cinzas provenientes de diferentes fontes, com o estudo verificou-se que a cinza de biomassa florestal pode ser aplicada ao solo, não se observando efeitos negativos na produção ou propriedades do solo.

No município de Piraí do Sul- PR, Anhaia et al. (2012), avaliaram o potencial dos resíduos de cinza como substrato para a cultura de alface em hidroponia, os autores observaram que o material foi promissor sob irrigação sem solução nutritiva ou com a solução nutritiva.

Severino et al. (2006), em pesquisa realizada na Embrapa Algodão-Pernambuco, quantificou o teor de nutrientes de onze materiais potencialmente utilizáveis como adubo na região do nordeste brasileiro. Dentre esses, a cinza de madeira, teve local de destaque, sendo rica em elementos como, fósforo, potássio, cálcio e magnésio. Nenhum dos materiais orgânicos estudados é completo, o que demonstra que a fertilização com esses devem ser formulados com misturas de materiais orgânicos que se completem nutricionalmente (SEVERINO et al., 2006).

A utilização de cinzas de madeira associada à urina humana resulta em uma mistura rica em nutrientes, e além disso a cinza por ser uma substância alcalinizante, age como inibidor da uréase, obtendo assim um material com grandes concentrações dos principais macronutrientes, pois as cinzas e a urina se complementam nutricionalmente. Neste contexto a utilização de cinzas de madeira junto à urina além de agregar em seu valor nutricional, seria uma alternativa para possibilitar que seja retirada parte da água presente na urina, e ainda assim mantenha os nutrientes contidos nela, em especial o nitrogênio.

3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS, nos Laboratórios de Saneamento, e Laboratório de Solos, onde ocorreram os procedimentos e análises laboratoriais.

O experimento se iniciou com a caracterização das cinzas e urina separadamente, buscando conhecer o teor de nutrientes de cada um deles. Posteriormente, esses materiais foram misturados e seguiram para a etapa em que foi promovida a concentração dos nutrientes presentes na urina pelo uso da técnica de evaporação. Nesta etapa foram testadas diferentes dosagens de cinzas de madeira e temperaturas de secagem.

Com a metodologia aplicada buscou-se desenvolver um método para inibir a atividade da urease, evitando a hidrólise da ureia, e assim possibilitar a evaporação da água contida na urina sem que o nitrogênio seja perdido para a atmosfera.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DE URINA E CINZAS

3.1.1 Cinzas

As cinzas utilizadas no experimento são provenientes de uma padaria no município de Feira de Santana-Bahia, a qual utiliza forno a lenha, a madeira utilizada para a queima é em sua maioria a Jurema, que tem por nome científico *Mimosa tenuiflora*, sendo colhida após atingir altura aproximada de 2,5 m. A totalidade de cinzas utilizada durante todo o experimento foi coleta e preparada de uma só vez, sendo produzidas em um único dia, e retiradas diretamente do forno após o seu resfriamento, garantindo assim que as características das cinzas sejam as mesmas durante todas as etapas do experimento. Foram utilizados 12 g de cinzas para a caracterização, e 300g em cada um dos ensaios de temperatura testados, sendo 150g para as análises de concentração de nutrientes, e 150g para a obtenção da curva de umidade.

A cinza recolhida na padaria possuía ainda pedaços de carvão (Figura 4) e granulometria não homogênea, por esse motivo foram inicialmente peneiradas em

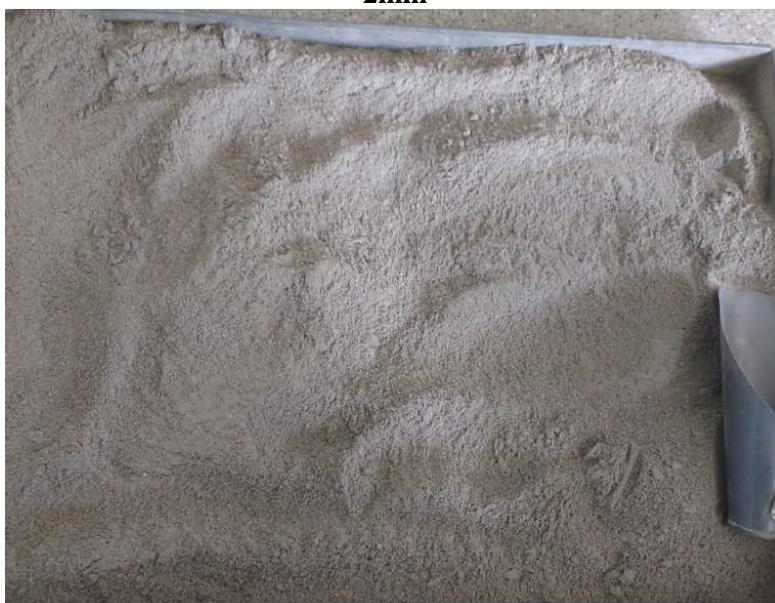
peneira graduada com abertura 2,0mm (Figura 5), e posteriormente foram secas em estufa de circulação a 90°C por 16 horas. Após tirar da estufa as cinzas foram novamente peneiradas em peneira graduada com abertura de 0,2mm (Figura 6).

Figura 4-Cinzas de madeira bruta coletadas



Fonte: Autor, 2018

Figura 5- Cinzas de madeira peneiradas em malha de abertura 2mm



Fonte: Autor, 2018

Figura 6-Cinzas de madeira peneiradas em malha de abertura 0,2mm e utilizadas no experimento com urina



Fonte: Autor, 2018

Após o processo de peneiramento as cinzas foram armazenadas em recipiente fechado de 20 L, e caracterizadas a partir da análise dos seguintes parâmetros: nitrogênio total, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio, fósforo, potássio e pH. A escolha desses parâmetros está fundamentada no fato destes serem nutrientes capazes de interferir no desenvolvimento das plantas.

Os parâmetros cobre, ferro, zinco, potássio, manganês, sódio, e magnésio foram analisados por absorção atômica (880nm) após digestão ácida em ácido nítrico, ácido clorídrico e peróxido de hidrogênio. O pH foi analisado a partir de medição eletroquímica em pH-metro com eletrodo imerso em suspensão cinza/água destilada na proporção 1:2,5. Para as análises de fósforo foi utilizado o método do ácido ascórbico com anterior extração ácida em HCl e HNO₃, sendo a em espectrofotômetro no comprimento de onda 725 nm. A determinação do nitrogênio foi feita pelo método micro-Kjeldahl, utilizando H₂SO₄ para a digestão, hidróxido de sódio 40% e ácido bórico para a destilação, a titulação foi feita com H₂SO₄ com normalidade de 0,1. Essas análises são baseadas nas metodologias propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA (SILVA, 2009). Cada um desses parâmetros foi analisado em triplicata.

3.1.2 Urina

A urina necessária para a elaboração do experimento foi coletada em beakers de vidro distribuídos entre as pessoas (homens e mulheres adultos) que frequentam o Laboratório de Saneamento, para que a urina seja excretada diretamente no recipiente. A mesma urina coletada foi utilizada para a caracterização e também para a concentração dos nutrientes. Para isso, foram utilizados 800 mL de urina, sendo 320 mL para a caracterização e 480 mL para a concentração. O processo de coleta e caracterização da urina foi repetido para cada ensaio de temperatura testada.

Após coletada, todas as amostras de urina recebidas foram misturadas e homogeneizadas, pois a urina de cada indivíduo possui características diferentes. Então, para que essas diferenças não interfiram nos resultados, foi necessário que as amostras individuais foram misturadas, formando assim uma única amostra com as mesmas características. A urina foi coletada e caracterizada em menos de 12 horas.

Em seguida, foi realizada a caracterização da urina a partir da análise dos parâmetros: nitrogênio total, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio, fósforo, potássio e pH. A escolha desses parâmetros está fundamentada no fato destes serem nutrientes capazes de interferir no desenvolvimento das plantas.

Para mensurar o pH foi utilizada a urina sem diluição e a medida foi feita através do pHmetro. O nitrogênio total foi medido através do método micro-Kjeldahl, e para isto a urina foi diluída na proporção de 1 parte de urina para 10 partes de água deionizada. Após diluída a urina foi digerida em mistura catalítica e ácido sulfúrico até se obter uma solução clarificada, e posteriormente destilada utilizando hidróxido de sódio 40% e solução indicadora de ácido bórico e então titulada com H_2SO_4 0,1N até o ponto de viragem. Os parâmetros cobre, ferro, zinco, potássio, manganês, sódio, e magnésio foram analisados a partir da técnica de absorção atômica após digestão ácida em ácido nítrico e clorídrico. A análise do fósforo foi feita utilizando o método do ácido ascórbico por absorvância no espectrofotômetro em 880nm. A metodologia para essas análises foram baseadas no Standard Methods (APHA, 2005). Cada um desses parâmetros foi analisado em triplicata.

3.2 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

Nesta etapa foi realizado o processo de concentração de nutrientes da urina através da técnica da evaporação. Foi realizada a mistura da cinza de madeira caracterizada inicialmente, com a urina também caracterizada, utilizando dosagens distintas de cinzas de madeira, compondo assim os tratamentos descritos na Tabela 2.

Tratamentos	Composição
Tratamento 1 (T1)	5g de cinzas + 40mL de urina
Tratamento 2 (T2)	10g de cinzas + 40mL de urina
Tratamento 3 (T3)	15g de cinzas + 40mL de urina
Tratamento 4 (T4)	20g de cinzas + 40mL de urina

Fonte: Autor, 2018

As dosagens de cinzas selecionadas para compor os tratamentos foram escolhidas após testes de evaporação, onde se buscou obter um produto final seco. Cada tratamento foi feito com 3 repetições (A,B,C) e cada uma dessas repetições foi preparada adicionando às respectivas dosagens de cinza em cadinhos cerâmicos, acrescentando a urina e misturando lentamente. Esse procedimento foi repetido para cada ensaio de evaporação.

Os tratamentos testados foram submetidos a diferentes temperaturas de secagem, 50°C, 60°C e 70°C por 24h em estufa de secagem. Essas temperaturas foram escolhidas por serem possíveis de se alcançar dentro um sistema fechado exposto a condições naturais de regiões de clima quente. Na Tabela 3 está esquematizado o delineamento experimental seguido, e na Figura 7 a composição dos tratamento e repetições antes de entrarem na estufa.

50°C	60°C	70°C
T1A, T1B, T1C	T1A, T1B, T1C	T1A, T1B, T1C
T2A, T2B, T2C	T2A, T2B, T2C	T2A, T2B, T2C
T3A, T3B, T3C	T3A, T3B, T3C	T3A, T3B, T3C
T4A, T4B, T4C	T4A, T4B, T4C	T4A, T4B, T4C

Fonte: Autor, 2018

Figura 7- Tratamentos antes do processo de secagem



Fonte: Autor, 2018

Os tratamentos foram analisados após 24 horas de secagem através dos parâmetros: nitrogênio total Kjeldahl, fósforo, potássio, sódio, manganês, magnésio, cobre, ferro, zinco, e pH dos tratamentos, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (SILVA, 2009), mesma metodologia adotada para a caracterização das cinzas.

Foi avaliada também a umidade presente nos tratamentos testados através da construção de uma curva de umidade para cada temperatura de evaporação. Para tanto, todos os tratamentos propostos foram pesados em balança de precisão e colocados ao mesmo tempo na estufa, após 8 horas na estufa esses recipientes foram retirados, resfriados em dessecador e novamente pesados, após esse procedimento eles retornaram a estufa. O mesmo processo foi repetido com 12, 16, 20 e 24 horas. A análise de umidade também foi feita com três repetições por tratamento.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos a partir da pesquisa foram submetidos à análise estatística através do programa R versão 3.4.1.(R CORE TEAM, 2017). Os dados foram analisados conforme um esquema fatorial 4X3 em um delineamento inteiramente

casualizados, sendo 4 concentrações de cinzas e 3 temperaturas, utilizando o teste de Tukey para as comparações múltiplas. A verificação dos pressupostos de homogeneidade de variâncias e normalidade dos resíduos foi verificada pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk. Quando esses pressupostos não foram atendidos foi aplicada uma transformação logarítmica, ou o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Em todos os testes o nível de significância adotado foi de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CINZA

A partir da caracterização das cinzas utilizadas no experimento (Tabela 4) foi possível observar que dentre os nutrientes analisados o potássio (K) é o elemento de maior representatividade quantitativa, contendo 16,42 % em sua composição, sendo superior ao verificado (HORTA et al., 2010; SENEAL E VINNERAS, 2017; SEVERINO et al., 2006; ETIEGNI et al., 1991; PERUCCI et al., 2008) tais trabalhos mostram grande variabilidade quanto a esse nutriente, estando esses numa faixa entre 0,08 a 9,6 %. Dentro deste intervalo o menor valor foi encontrado por Horta et al. (2010), para as cinzas produzidas a partir da calcinação da pasta de papel, e o maior valor foi visto na pesquisa de Senecal e Vinneras (2017) ao caracterizarem as cinzas provenientes da madeira de árvore de bétula.

Para o nitrogênio (N) nas cinzas, não houve quantidades detectáveis na amostra. Tais resultados corroboram com os observados por Senecal e Vinneras (2017) que também não detectaram nitrogênio em suas amostras, e diferem do observado por Severino et al. (2006) que detectaram 0,5% de NTK na cinza avaliada, mesmo sendo ambas originárias de fornos de padaria. O quantitativo de fósforo encontrados nesta pesquisa foi de 6,75%, o qual está na média de valores encontrados na literatura, sendo que o maior valor literário (11%) foi encontrado por Perucci et al. (2008) em cinzas provenientes de uma mistura de madeira contendo 80% de pinho. Já Horta et al. (2010) encontraram apenas 0,02% de fósforo nas cinzas provenientes da biomassa florestal (Tabela 4).

Tabela 4- Caracterização Nutricional da Cinza Utilizada (%)

NTK	P	K	Na	Zn	Fe	Cu	Mn	Mg	Outros	pH
0,00	6,75	16,42	7,76	0,03	0,40	0,02	0,55	9,23	58,84	11,30

NTK-Nitrogênio Total Kjeldhal, P- Fósforo, K- Potássio, Na- Sódio, Zn- Zinco, Fe- Ferro, Cu- Cobre, Mn- Manganês, Mg- Magnésio, pH- Potencial Hidrogeniônico. Outros: Ca, S, além de outros nutrientes não quantificados nessa pesquisa.

A análise de diferentes literaturas quanto à caracterização de cinzas (HORTA et al., 2010; SENEAL E VINNERAS, 2017; SEVERINO et al., 2006; ETIEGNI et al., 1991; PERUCCI et al., 2008) revelam grandes variações quanto ao teor dos nutrientes.

Tal comportamento é decorrente da origem de cada uma dessas cinzas, assim como da espécie de madeira utilizada, da parte da planta de onde foi retirada (tronco, galhos, cascas etc.), e até mesmo da temperatura de combustão (BRAND, 2008; GIMENES, 2012).

Quanto ao teor de zinco presente na cinza analisada foi encontrado o valor de 0,03%, o qual encontra-se dentro da faixa dos valores literários que variaram de 0,003 para uma cinza produzida a partir de mistura de madeiras (PERUCCI et al., 2008) a 0,05% para as cinzas produzidas a partir da queima da biomassa (HORTA et al., 2010). A quantidade de ferro nas cinzas utilizadas nesta pesquisa foi de 0,4%, valor semelhante ao encontrado por Horta et al. (2010).

Para o cobre e o manganês os valores encontrados nessa pesquisa se assemelham aos da cinza de biomassa florestal, pesquisada por Horta et al. (2010) e da cinza pesquisada por Etiegni et al. (1991), os valores encontrados por eles foram respectivamente 0,02 e 0,01% para o cobre e 0,40 e 0,67%, para o manganês.

Osaki e Darolt (1991) caracterizaram 17 amostras de cinzas diferentes, e com essa pesquisa eles encontraram quantidades de magnésio variando entre 2,87 e 9,34%, a cinza utilizada nessa pesquisa possui 9,23%, estando este valor compatível com os valores encontrados pelos autores citados. Quanto ao pH a faixa de variação segundo a literatura foi de 9,6 a 13,1, e nessa pesquisa a cinza possui um pH de 11,3, estando na média da faixa de variação literária, ao mesmo tempo em representa um pH alcalino.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA URINA

A Tabela 5 apresenta a caracterização nutricional das urinas que foram utilizadas para os ensaios de evaporação a 50, 60 e 70°C. A variação na quantidade de nutrientes da urina se dá por vários aspectos, os quais podem ser hábitos alimentares, idade, sexo, horário da excreção, quantidade de água ingerida e rotina de exercícios físicos (STOWA, 2002). A análise dos dados coletados permite observar que as urinas possuem altos índices de nitrogênio total, os quais se tornam mais elevados ao serem submetidos à evaporação a 70°C. O de nitrogênio total encontrado na caracterização experimental variou de 1,08 a 1,51%, na temperatura de secagem de 70°C. Tais valores

encontram-se acima dos encontrados por Pradhan et al., (2010) e Botto(2013), os quais encontraram 0,29% e 0,97% de nitrogênio total, respectivamente.

Tabela 5- Caracterização Nutricional da urina nos diferentes ensaios de evaporação (%)

Urina	NTK	P	K	Na	Zn	Fe	Cu	Mn	Mg	pH
U50°C	1,08	0,07	0,20	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	5,49
U60°C	1,25	0,06	0,49	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	6,41
U70°C	1,51	0,07	0,26	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	5,99

U50°C-Urina utilizada no ensaio de evaporação a 50°C, U60°C-Urina utilizada no ensaio de evaporação a 60°C, U70°C-Urina utilizada no ensaio de evaporação a 70°C, NTK-Nitrogênio Total Kjeldhal, P- Fósforo, K- Potássio, Na- Sódio, Zn- Zinco, Fe- Ferro, Cu- Cobre, Mn- Manganês, Mg- Magnésio, pH- Potencial Hidrogeniônico

A análise de fósforo feita nas urinas trabalhadas nesta pesquisa mostrou similaridade entre os resultados estando estes variando entre 0,06 e 0,07%, Pradhan et al. (2010) encontraram o mesmo percentual. Já Botto (2013), ao caracterizar a urina humana de indivíduos em diferentes faixas etárias, encontrou resultados de fósforo variando entre 0,04 e 0,06%.

Nas urinas caracterizadas nessa pesquisa, os teores de potássio são coincidentes para as urinas utilizadas nos ensaios de evaporação a 50 e 70°C, que foram respectivamente 0,20 e 0,26%, já na urina utilizada para a evaporação a 60°C esse valor foi mais elevado (0,49%). Essas diferenças de resultados podem ser decorrentes dos vários fatores capazes de interferir nas características nutricionais da urina (alimentação, ingestão de líquidos etc). Na pesquisa realizada por Zancheta (2007), o teor de potássio encontrado foi de 0,43% para a urina fresca, diferente do valor de 0,01% encontrado por Meinzinger e Oldenburg (2009), evidenciando a grande variação na concentração desse nutriente na urina humana.

Aguida et al. (2016), em pesquisa com urina humana encontraram 0,42% de sódio e 0,01 de magnésio, valores que se assemelham ao encontrado nesta pesquisa, onde o sódio variou entre 0,42 e 0,55% e o magnésio foi de 0,01% para as três urinas analisadas. Os elementos zinco, ferro cobre e manganês não foram detectados através da análise em absorção atômica, esse mesmo resultado foi também encontrado por Botto (2013).

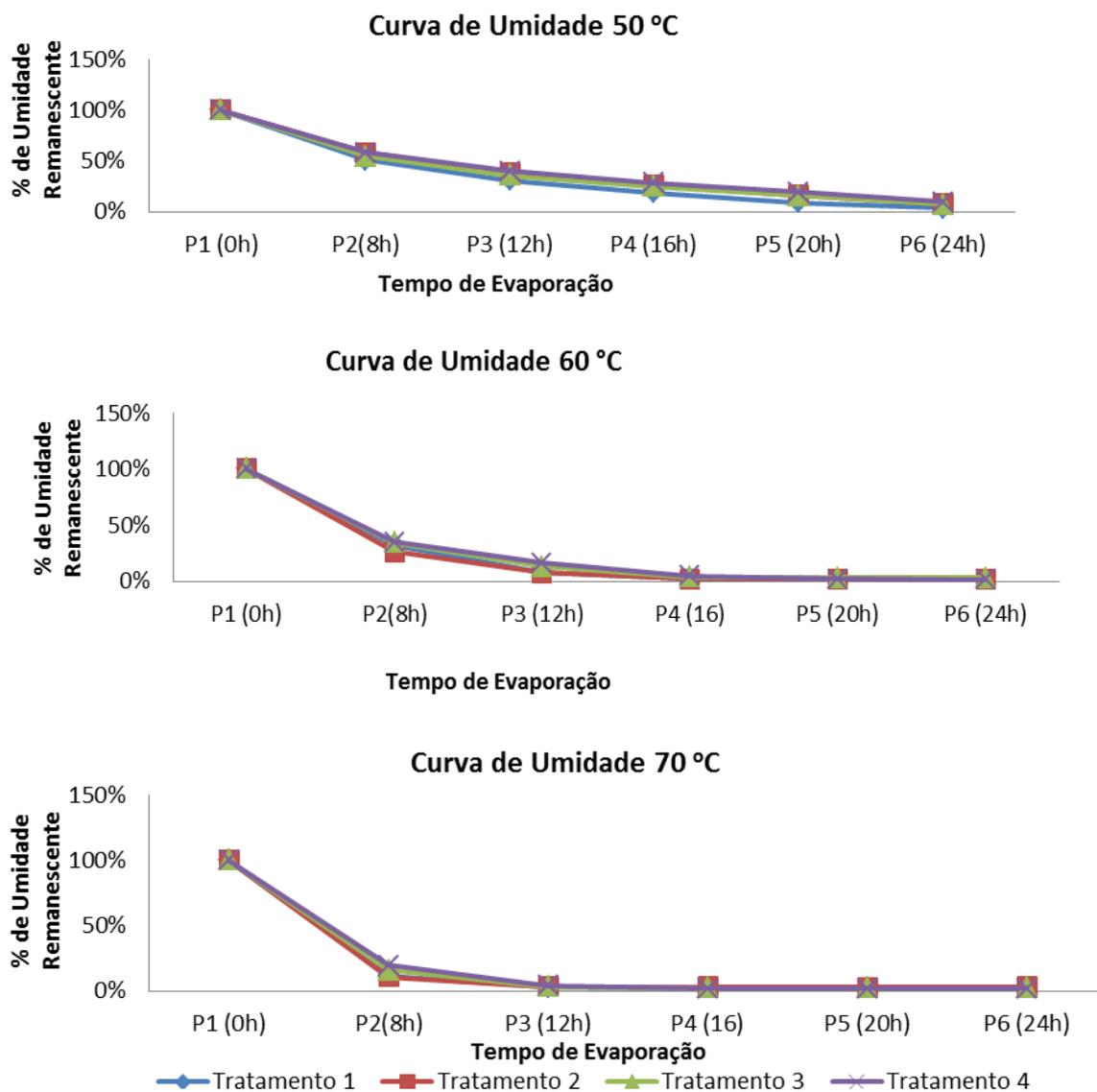
4.3 COMPORTAMENTO DE SECAGEM

A curva de umidade apresentada na Figura 8 mostra o comportamento de secagem da mistura urina e cinzas durante o processo de evaporação utilizando as temperaturas de 50, 60 e 70°C por 24 horas. Utilizando o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis, para o comportamento dos tratamentos dentro da mesma temperatura de evaporação não houve diferença significativa em nenhum dos tempos analisados, mostrando que a quantidade de cinzas adicionada não interfere no comportamento de secagem da urina. Nos tratamentos secados utilizando a temperatura de 50°C, após oito horas de secagem a mistura permanecem com uma umidade variando entre 50 e 60%, chegando a uma redução de 95% após 24 horas. Estudos desenvolvidos por Shima et al. (2018) promoveram a desidratação da urina utilizando as temperaturas de 40, 45 e 50°C, obtiveram reduções superiores a 90% do volume inicial de urina. Comportamento semelhante também foi observado por Zancheta (2007) ao submeter à urina ao processo de evaporação, em temperatura ambiente em casa de vegetação, alcançando uma redução de 95%.

Pela curva de umidade para a temperatura de 60°C por 24 horas, pode-se observar que nas primeiras 8 horas de evaporação os tratamentos se encontravam com umidades de 25%. Após 12 horas de evaporação a umidade remanescente nos tratamentos estavam em torno de 10%, chegando a 1% de umidade após 24 horas. Senecal e Vinneras, (2017) também acompanharam um processo de desidratação da urina utilizando as temperaturas de 35°C e 65°C por 97 dias, durante o processo eles adicionavam urina quatro vezes por semana nos primeiros 41 dias, e obtiveram uma redução de aproximadamente 90% de umidade para ambas as temperaturas.

No ensaio de evaporação utilizando 70°C, após 8 horas de secagem, todos os tratamentos já atingiram umidades próximas a 15% e após 12 horas chegaram a 3% de umidade. Com 24 horas de evaporação, os tratamentos tinham uma umidade de 2%.

Figura 8- Comportamento de secagem das misturas Cinza+Urina em diferentes temperaturas



Fonte: Autor, 2018

A análise estatística revela que nas primeiras 8 horas de secagem o comportamento das temperaturas se diferem entre si. Ao completarem às 24 horas em processo de evaporação a umidade remanescente nas 3 temperaturas não apresentaram diferenças significativas.

4.4 PRESERVAÇÃO DO NITROGÊNIO

A Figura 9 apresenta o percentual de nitrogênio que foi preservado nos biofertilizantes obtidos após o processo de evaporação a 50, 60 e 70°C. A análise dos resultados possibilitaram observar que as maiores concentrações de nitrogênio preservado foi obtida utilizando a temperatura de 50°C, sendo de 82,77% para o T1, 93,3% para o T2, 95,6 no T3 e 97,4 no T4.

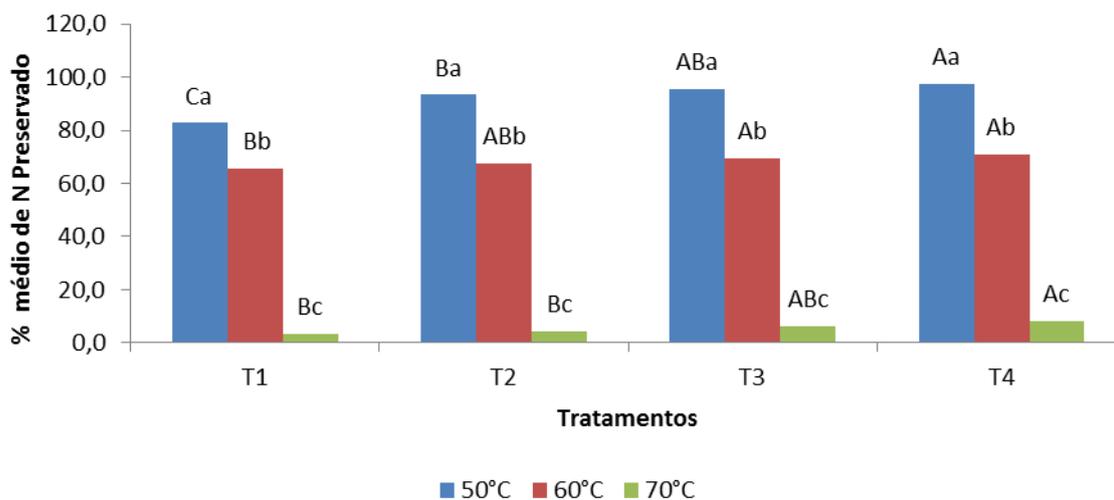
A 60°C houve uma redução na eficiência da preservação quando comparada com os resultados obtidos a 50°C, sendo de 65,6 para o T1, 67,6 para o T2, 69,6 para o T3 e de 70,7 para o T4.

A 70°C houve uma acentuada perda do nitrogênio, restando apenas 3,2% no T1, 4,3% no T2, 6,1% no T3 e 8,0% no T4. Quanto aos tratamentos nas temperaturas de 60°C e 50°C, observa-se que os tratamentos com maior quantidade de cinzas promoveram uma maior preservação do nitrogênio inicial, já a 70°C, mesmo com maior quantidade de cinzas, a perda do nitrogênio foi expressiva.

A análise estatística mostra que considerando a temperatura de 50°C a preservação média do nitrogênio obtida no T4 tem diferença significativa dos tratamentos T1 e T2, sendo que o T1 difere também do T2 e T3. No ensaio de evaporação utilizando 60°C apenas o T1 difere do T3 e T4, já a 70°C a diferença significativa é observada no T4 que difere do T2 e T1. Considerando o mesmo tratamento nos diferentes níveis de temperaturas todas elas diferem entre si, sendo 50°C o nível de temperatura de maiores resultados.

Esses resultados mostram que as perdas de nitrogênio para as condições experimentadas nessa pesquisa são em sua grande maioria decorrentes do aumento da temperatura. Observando ainda que dentro do mesmo nível de temperatura os tratamentos com maiores quantidades de cinzas preservam maiores quantidades de Nitrogênio.

Figura 9-Percentual de nitrogênio preservado em cada tratamento e nos ensaios de evaporação em diferentes temperaturas



T1:5g de cinza+40mL de urina, T2:10g de cinzas+40mL de urina, T3:15g de cinzas+40mL de urina, T4:20g de cinzas+40mL de urina. Letras maiúsculas são utilizadas para compara os diferentes tratamentos dentro do mesmo nível de temperatura. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as diferentes temperaturas dentro do mesmo tratamento.

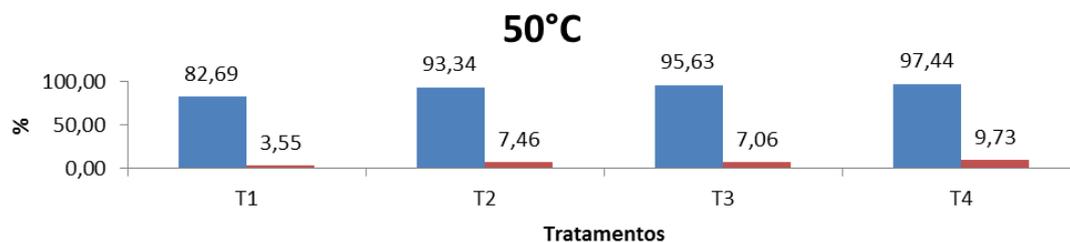
Fonte: **Autor, 2018**

A análise conjunta do percentual de nitrogênio preservado, umidade remanescente e pH (Figura 10 a, b, c) das amostras em diferentes temperaturas revelam que a desidratação da urina humana em ambiente alcalino reduziu seu volume entre 90 e 99% considerando todas as temperaturas, mantendo até 97,44% do nitrogênio inicial no tratamento 4 utilizando a temperatura de 50°C.

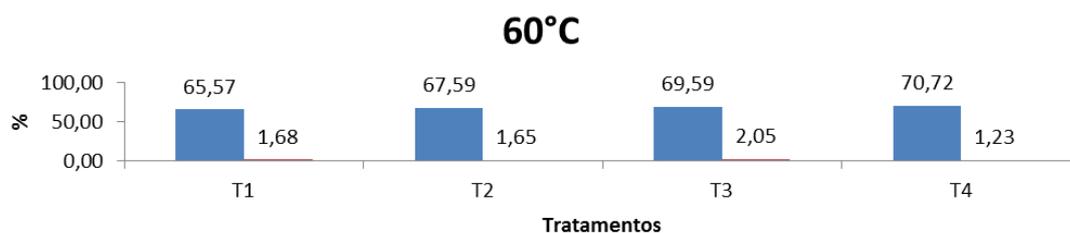
Esse resultado foi alcançado em meio alcalino onde o pH foi de 10,10. Tais resultados indicam a secagem como uma possibilidade de manejo eficiente para a concentração do nitrogênio na urina além de facilitar a logística de transporte e armazenamento da urina quando se pensa na utilização desse recurso como fertilizante agrícola.

Figura 10-Relação entre % de N preservado, Umidade remanescente e pH nos diferentes tratamentos e temperaturas.

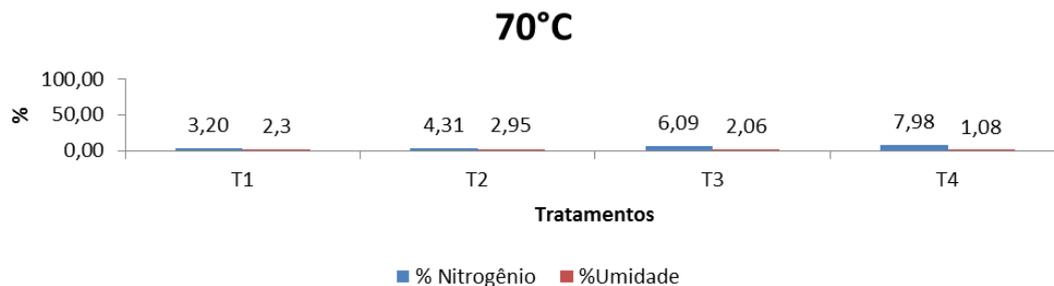
a)



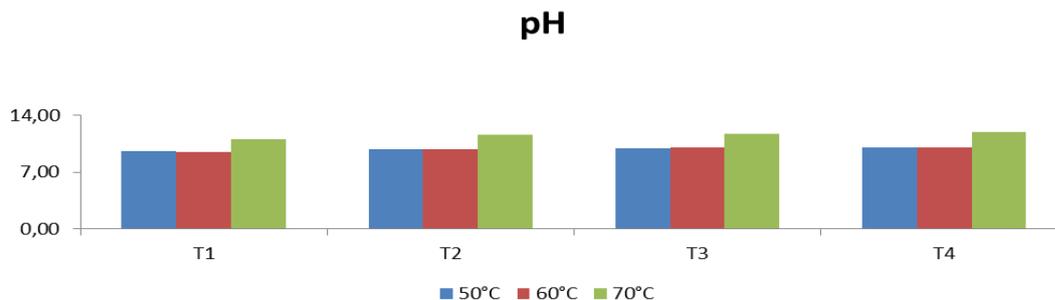
b)



c)



d)



Shima et al. (2018) ao promoverem a desidratação da urina manteve aproximadamente 70% do nitrogênio inicial, com uma redução maior que 90% do volume. Faixa

semelhante foi observada por Senecal e Vinneras, (2017) que conseguiram manter entre 60 e 90% do nitrogênio inicial, considerando uma redução de volume maior que 90%. Esses autores em seus experimentos controlaram o pH (figura 10 d) durante todo o processo de evaporação buscando manter em uma faixa entre 10 e 13.

4.5 BALANÇO DE MASSA DE NUTRIENTES

Após submetidos a evaporação utilizando a temperatura de 50°C observou-se que nos tratamentos 3 e 4 houve a maior preservação da massa de nitrogênio adicionado inicialmente, no tratamento 2 a preservação do nitrogênio também foi bastante satisfatória, pois com o processo apenas 0,02 g dos 0,43g iniciais foram perdidos.

A análise do processo de evaporação utilizando a temperatura de 60°C revelou que os tratamentos 3 e 4 apresentaram maior preservação do teor de N adicionado, com uma redução de 15 das 50g de N iniciais, enquanto que os tratamentos 1 e 2 onde essa preservação é menor houve uma redução de 17 das 50g de N inicial (Tabela 6). Considerando as diferenças de massas inicial e final, na temperatura de 60°C houve maior perda de N que a 50°C.

Tabela 6- Balanço de massa de nitrogênio (g) nos diferentes tratamentos e temperaturas

	50°C		60°C		70°C	
	Nitrogênio Total					
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1	0,43	0,36ef	0,50	0,33cd	0,85	0,02a
T2	0,43	0,41fg	0,50	0,34cd	0,85	0,03ab
T3	0,43	0,42fg	0,50	0,35de	0,85	0,04ab
T4	0,43	0,42g	0,50	0,35de	0,85	0,05bc

T1:5g de cinza+40mL de urina, T2:10g de cinzas+40mL de urina, T3:15g de cinzas+40mL de urina, T4:20g de cinzas+40mL de urina. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as diferenças de massas (Inicial-Final) nos diferentes tratamentos e temperaturas.

Fonte: **Autor, 2018**

Utilizando a temperatura de 70°C observa-se que em todos os tratamentos houve pouca preservação do N adicionado inicialmente, mostrando que nessas condições a urina perde seu N durante o processo de evaporação.

Pelo teste de Kruskal-Wallis, ao analisar as diferenças de massas iniciais e finais constata-se que a temperatura é o fator de maior influência na redução de massa inicial

do nitrogênio, onde os tratamentos dentro da temperatura de 70°C, se diferenciaram significativamente dos mesmos tratamentos nas outras temperaturas, sendo que no T1 essa diferença foi ainda maior. No T4 a 50°C houve a menor diferença de massas inicial e final, sendo esta a combinação que apresentou maior preservação da massa de nitrogênio, diferindo estatisticamente de todos os outros casos.

Mesmo utilizando o pH elevado para inibir a degradação enzimática da ureia, as perdas de nitrogênio ainda foram expressivas durante o processo de desidratação utilizando a temperatura de 70°C. Um outro aspecto relevante refere-se ao fato de que a enzima urease não é o único parâmetro causador da hidrólise da ureia, já que o pH e a temperatura também hidrolisam a ureia. A ureia é considerada uma molécula estável entre pH 2 e 11, mas fora dessa faixa ocorre a sua decomposição não enzimática (ZERNER, 1991). Portanto, enquanto as condições alcalinas eram limitantes para a atividade enzimática da urease, a hidrólise não enzimática pela reação de eliminação ainda estava ocorrendo. Além disso, a taxa de hidrólise aumenta com o aumento da temperatura (termodegradação da uréia) e o aumento do pH embora ainda seja consideravelmente mais lento que a taxa enzimática (RANDALL et al., 2016).

Outros pesquisadores reforçam que a hidrólise química da ureia depende fortemente do pH (WARNER, 1942) e da temperatura (CHIN E KROONTJE, 1963; WARNER, 1942), eles afirmam que a meia-vida da ureia é na faixa de dias quando a temperatura está abaixo de 66°C, e passada essa temperatura ela é reduzida para horas. O valor do pH também influencia a hidrólise da ureia, mas apenas nos extremos que estão abaixo do pH 2 e acima do pH 11. Em valores de pH superiores a 11, a meia-vida está diminuindo, embora só seja observada uma redução significativa da meia-vida, quando os valores de pH estão acima de 12 (ZERNER, 1991).

A tabela 7 mostra o balanço de massa dos elementos fósforo e magnésio, considerando as massas desses elementos nos tratamentos antes e depois do processo de evaporação.

Tabela 7-Balanco de massa de fósforo e magnésio (g) nos diferentes tratamentos e temperaturas

	50°C		60°C		70°C	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Fósforo Total						
T1	0,47	0,40de	0,36	0,23cde	0,37	0,23bcde
T2	0,71	0,61e	0,7	0,41abcd	0,71	0,52abcde
T3	1,04	0,97bcde	1,04	0,65abc	1,04	0,7abc
T4	1,37	1,00e	1,38	0,87a	1,38	0,92ab
Magnésio						
T1	0,47	0,19ab	0,46	0,20cd	0,46	0,41cd
T2	0,93	0,49a	0,92	0,32cd	0,92	0,90e
T3	1,39	0,69a	1,38	0,62cd	1,38	1,30de
T4	1,86	1,11a	1,85	0,97cd	1,85	1,85de

T1:5g de cinza+40mL de urina, T2:10g de cinzas+40mL de urina, T3:15g de cinzas+40mL de urina, T4:20g de cinzas+40mL de urina. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as diferenças de massas (Inicial-Final) nos diferentes tratamentos e temperaturas.

Fonte: **Autor, 2018**

Quanto ao fósforo e magnésio se observa que houve uma redução da sua massa após o processo de evaporação. Esse comportamento foi também observado por Shima et al. (2018), onde o P na urina diminuiu em mais de 35% após a desidratação em meio alcalino, ele justifica o fato com a possibilidade de precipitação de estruvita, e algum fosfato de cálcio amorfo e fosfato octacálcico que poderiam se formar em soluções alcalinas (Udert et al., 2003).

Neste produto final, pode-se supor que o P ocorre principalmente na forma de fosfatos metálicos precipitados, como estruvita e hidroxiapatita, devido ao pH elevado e ao Mg e Ca adicionados das cinzas (Udert et al., 2003). O K assume principalmente suas formas salinas originais, como KCl, K₂SO₄, KHCO₃ e K₃PO₄ (Putnam, 1971).

Para o potássio e sódio (Tabela 8) é possível observar que índices desses elementos são mais altos após o processo de evaporação da urina em cinzas. Esse fato pode ser decorrente das alterações químicas sofridas pelas cinzas durante o processo de evaporação e que tornam esses elementos mais disponíveis para a detecção em absorção atômica. Leonardo (2016), ao comparar métodos para detecção de sódio em biodiesel, observou que ao tratar as amostras com HNO₃ para posterior detecção em absorção atômica com chama encontrava resultados até 10% maior que o valor real. Bernardes

(2017), ao utilizar a digestão ácida como etapa para detecção de K em biodiesel obteve resultados 5% maiores que valor já conhecido.

Tabela 8-Balanco de massa de sódio e potássio (g) nos diferentes tratamentos e temperaturas

	50°C		60°C		70°C	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Sódio						
T1	0,58	1,00a	0,57	1,16bc	0,62	1,33cd
T2	0,97	1,86de	0,96	2,20ef	1,01	3,01gh
T3	1,36	1,93ab	1,35	3,44hi	1,40	5,15jk
T4	1,74	3,04fg	1,74	5,07ij	1,79	7,50k
Potássio						
T1	0,91	2,36e	1,02	0,93a	0,93	2,53f
T2	1,73	5,02h	1,84	2,02b	1,75	4,44g
T3	2,55	7,86j	2,66	3,15c	2,57	7,12i
T4	3,38	10,4l	3,48	4,59d	3,39	9,43k

T1:5g de cinza+40mL de urina, T2:10g de cinzas+40mL de urina, T3:15g de cinzas+40mL de urina, T4:20g de cinzas+40mL de urina. Letras minúsculas são utilizadas para comparar as diferenças de massas (Inicial-Final) nos diferentes tratamentos e temperaturas.

Fonte: **Autor, 2018**

A elevada quantidade de sódio no produto final pode ser um problema, pois, enquanto a acumulação de sais solúveis torna o solo floculado e permeável, o excesso de sódio poderá torná-lo, compactado em períodos de secas, e pegajoso no período úmido, isso porque o aumento de sódio no solo promove uma elevação na espessura da dupla camada iônica difusa, aumentando a expansão das partículas argilosas e ocasionando a dispersão destas, o que gera a formação de camadas impermeáveis (DIAS e BLANCO, 2010).

Exceto o nitrogênio, nos demais elementos percebe-se que a maior contribuição deles para o produto final é decorrente da adição de cinzas, e quanto ao Zn, Cu, Fe, Mn observou-se que a massa final desses nutrientes não diferem da massa inicial, mostrando que eles não sofreram alterações durante o processo de evaporação.

4.6 CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DOS BIOFERTILIZANTES GERADOS

Na Tabela 9 estão expostas as caracterizações nutricionais dos fertilizantes provenientes dos diferentes tratamentos e ensaios de evaporação. A análise estatística (considerando log(N)) para os ensaios de evaporação a 50 e 60°C mostra que dentro do

mesmo nível de temperatura as médias das concentrações de nitrogênio em T1 e T2 diferem dos demais tratamentos, e entre o T3 e T4 não houve diferença significativa. Já no ensaio de evaporação a 70°C o T1 difere de todos os outros tratamentos, e entre o T2, T3 e T4 não houve diferença significativa. Esse resultado mostra que nos ensaios de evaporação utilizando as temperaturas de 60°C e 50°C, as maiores concentrações de nitrogênio ocorreram no Tratamento 1, pois neste a quantidade de cinza é menor que nos demais, o que torna a concentração de urina mais elevada, e conseqüentemente, eleva a concentração do nitrogênio.

Nos Tratamentos 2, 3 e 4 percebe-se que existe uma redução na concentração de nitrogênio e aumento na concentração dos demais nutrientes. Isso pode ser explicado pelo fato de que a maior contribuição dos demais nutrientes foi proveniente das cinzas, e esses tratamentos receberam maior quantidade desta. Mesmo com concentrações mais baixas de nitrogênio, os tratamentos 2, 3 e 4 podem ser utilizados para fertilização de culturas com demanda nutricional compatível com esses.

Tabela 9- Caracterização nutricional dos tratamentos testados após submetidos a evaporação

	NTK	P	K	Na	Mg	pH
50°C						
T1	5,60a	6,00b	36,69c	10,55d	0,29a	9,66b
T2	3,83b	6,00b	38,64c	12,29c	0,35a	9,80ab
T3	2,47c	6,17b	44,13b	14,81b	0,41a	9,97a
T4	2,15c	6,50a	43,55a	15,71a	0,44a	10,11a
60°C						
T1	5,79a	4,08c	16,46d	20,48c	2,96c	9,54b
T2	3,17b	3,83b	18,94c	20,64c	3,51b	9,82a
T3	2,15c	4,00b	19,40b	21,23b	3,81b	10,01a
T4	1,73c	4,25a	22,42a	24,73a	4,74a	10,01a
70°C						
T1	0,33a	3,92c	42,77d	22,48d	8,19c	11,07c
T2	0,23b	4,67b	39,68c	26,92c	8,63b	11,58b
T3	0,23b	4,42a	45,00b	32,57b	9,39a	11,78b
T4	0,23b	4,42a	45,53a	36,18a	9,56a	12,01a

T1:5g de cinza+40mL de urina, T2:10g de cinzas+40mL de urina, T3:15g de cinzas+40mL de urina, T4:20g de cinzas+40mL de urina. Letras minúsculas são utilizadas para compara os diferentes tratamentos dentro do mesmo nível de temperatura.

As caracterizações nutricionais dos materiais proveniente da evaporação a 70°C resulta em um material com baixo teor de nitrogênio, porém rico em elementos como potássio, magnésio e fósforo. Comparando com os ensaios de evaporação a 50 e 60°C, esse ensaio apresentou a menor concentração de nitrogênio. Considerando o T1, nas

diferentes temperaturas testadas tem-se 5,6% a 50°C, 5,79% a 60°C e 0,33% de nitrogênio a 70°C, mostrando que a 70°C o teor de nitrogênio é muito menor que nas demais temperaturas.

Quanto ao pH, dos materiais seu valor vai aumentando ao decorrer dos tratamentos, ou seja quanto maior a quantidade de cinzas adicionadas antes da evaporação, maior é o pH do produto final.

O N-P-K é um fertilizante químico utilizado em larga escala na produção agrícola, existindo várias composições desse produto, como o 4-14-08, 10-10-10, 5-20-25, 3-15-15, além de outras tantas (Alcarde, 1998). A fórmula NPK é utilizada para indicar o percentual de nitrogênio em sua forma elementar (N), o percentual de fósforo na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e o percentual de potássio na forma de óxido de potássio (K_2O) (Lima, 2007). A composição de NPK a ser utilizada é selecionada de acordo com a demanda da cultura que será produzida (SILVA e LOPES, 2012). Sendo assim, as diferentes composições de NPK obtidas nessa pesquisa podem ser compatíveis com diversas formulações vendidas comercialmente, contudo é necessário se atentar ao teor de sódio, que pode ser um inconveniente devido a sua influencia na redução de porosidade do solo.

A disseminação da urina humana como fertilizante agrícola passa ainda por problemas de aceitação. Em pesquisa desenvolvida quanto à percepção dos agricultores familiares sobre o uso da urina humana na agricultura observou-se que 65% dos entrevistados não usariam a urina pura por acreditar que essa pratica traz riscos a saúde. Entretanto, quando apresentados ao biofertilizante composto de urina humana e cinzas de madeira essa aceitação é 74% maior, sendo destacado que a descaracterização da urina como excreta talvez fosse uma estratégia para a popularização do seu uso (FRANÇOIS et al, no prelo).

5 CONCLUSÕES

A evaporação foi eficiente no processo de concentração dos nutrientes da urina para os tratamentos testados.

O aumento na temperatura de evaporação promoveu um aumento na volatilização do nitrogênio da urina.

O aumento na concentração de cinzas possibilitou uma maior preservação do nitrogênio da urina e maiores quantidades de P, K, Na e Mg no produto final.

A temperatura de 50°C foi a que proporcionou a maior concentração de nitrogênio, 97% para uma redução de 90% da umidade inicial.

Referências

Aguida. L.M et al. **Caracterização de Resíduos da Suinocultura, da Indústria Têxtil e de Urina Humana para Aplicação como Fertilizante**. Revista de estudos ambientais. v.18, n. 2, p.52-61, 2016.

Alcarte J.C et al. **Os Adubos e a Eficiência das Adubações**. Boletim Técnico Nº 3. Associação Nacional para Difusão de Adubos. São Paulo-SP, 1998.

Almeida. V.V et al. **Catalisando a Hidrólise da Uréia em Urina**. QUÍMICA NOVA NA ESCOLA. São Paulo. 2008

Amoah P. et al. **Effect of Urine Poultry Manure, and Dewatered Faecal Sludge on Agronomic Characteristics of Cabbge in Accra, Ghana**. Resources, Suíça, 2017.

Anhaia, S.A.F E Borszowskei, P.R. **Reaproveitamento de Resíduos Gerados na Fabricação de Celulose e Papel como Substrato na Hidroponia para a Cultura de Alface (*lactuca sativa*)**. Revista Tecnoeng, Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais. 5ª Edição de 2012

Antoniolli, Z. I.; Steffen, G. P. K.; Steffen, R. B. **Utilização de casca de arroz e esterco bovino como substrato Para a multiplicação de Eisenia fetida Savigny** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33. (2009)

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20 th . Ed. Washington. 2005.

Arnbjerg-Nielsen. **Risk assessment of local handling of human faeces with focus on pathogens and pharmaceuticals**. In: Ecosan – Closing the loop. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation. Lübeck, Germany. 2003.

Arroyo F. **Saneamento ecológico e agricultura urbana**. Revista Agricultura urbana. n 8 – Saneamento ecológico, 2005.

Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. NBR 13969 – **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, set. 1997.

Barreto, J. de A. **Comparação de eficiência de evaporadores de urina e estudo da variação das propriedades da urina durante o ciclo de evaporação**. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2009.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2017 – Ano base 2016**.Ministério de Minas e Energia, Brasil – Governo Federal e Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioInicial.aspx?anoColeta=2017&anoFimColeta=2016> . Acesso em: 05 de novembro de 2017

Bernardes, Luís Eduardo. **Desenvolvimento de métodos analíticos para determinação de Ca, Mg, Na, K, S e P, em biodiesel, por espectrometria de absorção atômica e molecular de alta resolução e fonte contínua.** 2017. Dissertação (Mestrado em Química) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2017. doi:10.11606/D.59.2017.tde-19072017-135220. Acesso em: 2018-11-30.

Bioclin. **Uréia Cinética**, 2006. Disponível em :< www.bioclin.com.br/usuario/ureiacinetica.pdf >(Acesso em janeiro de 2018)

Bischel, H.N. et al. **Pathogens and pharmaceuticals in source-separated urine in e Thekwini, South Africa.** Water Research, 2015.

BOTTO, M.P. **Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes.** 2013. 270 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Botto. M.P. **Produtividade Da Mamona Cultivar Brs Nordestina Fertilizada Com Urina Humana Na Agricultura De Pequeno Porte.** Revista AIDIS de Engenharia e Ciências Ambientais.Vol.10, No.1. 2017.

Brand, M. A. **Fontes de Biomassa para Geração de Energia.** Apresentação. Universidade do Planalto Catarinense, Santa Catarina, 2008. Disponível em: <<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171818441.pdf>>. Acesso em: 10 novembro 2017.

Brand, M. A. **Qualidade da Biomassa Florestal para o Uso na Geração de Energia em Função da Estocagem.** Tese de Doutorado apresentada ao curso de Pós Graduação em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. UFPR, Curitiba, 2007.

Brasil. **Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil. 1997.

Camargo, F. A. O.; Gianello, C.; Vidor, C. **Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, n. 21, p. 575-579, 1997.

Chagas, A. **A síntese da amônia: alguns aspectos históricos.** Química Nova, 2007.

Chin, W., Kroontje, W. **Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia.** Soil Science Society of America Journal. 27 (3), 316-318. 1963

Cordell, D. et al. **Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options.** Chemosphere, 2011.

Dalmolin, Magnus L. **Bioquímica do Tecido Animal**, Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. jun de 2011.

Dias V.P., Fernandes E. (2006) **Fertilizantes: uma visão sintética**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro. 2006

Dias, N. S.; Blanco, F. F. 2010. **Efeitos dos sais no solo e na planta**. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. (eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, INCTSal, p.129-141.

Dias, v. P.; Fernandes, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, 2006.

Domínguez, J.; Lazcano, C.; Gómez-Brandón, M. **Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo**. Acta Zoológica Mexicana, Cidade do México, Número Especial 2: p. 359-371, 2010.

Erisman, J. W. et al. **How a century of ammonia synthesis changed the world**. Nature Geoscience, 2008.

ESREY, S. **Ecological sanitation**. Sida, 1998.

Esrey, Steven A.; Andersson, Ingvar. **Saneamento ecológico: fechando o ciclo**. Revista da Agricultura Urbana: Saneamento Ecológico, Nova York, v. 1, n. 3, p.1-8, dez. 2005.

Etiegni, L, Campbell A.G. , R.L. Mahler **Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent** .Commun. Soil Sci. Plant Anal., 22 (1991), pp. 243-256

Etter, B et al. **Low-cost struvite production using source-separated urine in Nepal**. 2003.

FAO, 1986.**Efficient fertilizer use in acid upland soils of the humid tropics**. Food and Agricultura Organization.

François et al. **Percepção de agricultores do semiárido sobre o uso de urina humana como fertilizante**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental (no prelo).

Ganesapillai. M. et al. **Closed-loop fertility cycle: Realizing sustainability in sanitation and agricultural production through the design and implementation of nutrient recovery systems for human urine**. Sustainable Production and Consumption. 2015.

Gary W. VanLoon, Stephen J. Duffy. **Microbiological Processes- The Nitrogen Cycle** em, Environmental Chemistry: A Global Perspective. OXFORD University Press, 2017.

Geels. F.W. **The hygienic transition from cesspools to sewer systems (1840–1930): The dynamics of regime transformation**. Research Policy 35. The Netherlands, 2006.

Giμένες, J. **Análise da Geração, Recuperação e Destinação de Cinzas em Caldeiras – O Caso de uma Indústria**. Trabalho de Conclusão de Especialização

apresentado ao Departamento de Economia Rural e Extensão do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Gruber, N. e Galloway J. N. **An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle**. Nature, 2008.

Guadarrama R. O. **Human urine used as a source of nitrogen in the production of organic crops, in Cuernavaca, Morelos, Mexico: a case study**.2000.

Gulyas, H. et al. **Freeze concentration for enrichment of nutrients in yellow water from no-mix toilets**. Water Science and Technology, v. 50, n. 06, p.61-68, 2004.

Heinonen-Tanski, H. et al. **Pure human urine is a good fertiliser for cucumbers**. Bioresource Technology, vol. 98, no. 1, pp. 214-217. 2007.

Hoglund C et al. **Hygienic quality of source separated urine based on the analysis of faecal indicator bacteria**. In: Proceedings from 8th International Conference on Management Strategies for Organic Waste Use in Agriculture (Ramiran 98); 2000.

Hoglund C, et al. **Viral persistence in source-separated human urine**. Adv. Environ. 2002.

Horta, C., Lupi, S.; Anjos, O.; Almeida, J. **Avaliação do Potencial Fertilizante de Dois Resíduos da Indústria Florestal**. Revista de Ciências Agrárias, v. 33, 2010.

Isherwood, K. F. **The fertilizer industry, food supplies and the environment**. Paris: International Fertilizer Industry Association (IFA), 1998.

Jonsson H et al. **Composition of urine, faeces, greywater and bio-waste-for utilisation in the URWARE Mode**. Urban Water, Chalmers, Sweden. 2005.

Jonsson H et al. **Recycling source separated human urine**. VA-Forsk Report . Stockholm, Sweden; 2000.

Jonsson, H. et al. **Evaluating the effects of nutrient reuse on use of nonrenewable resources**. International Water Congress, Marrakech, Morocco, 2004.

Jonsson, H. et al. **Source separated urine-nutrient and heavy metal content, water saving and faecal contamination**. Water Sci. Technol.1999.

Jonsson, H. **Urine separating sewage systems—environmental effects and resource usage**. Water Science and Technology, v. 46, n. 06-07,2002.

Kramer, P. J, Kozlowski. T.T. **Physiology of Trees**. McGraw-Hill Book Company. New York, U. S. A. 1960.

Langergraber, G. Muellegger, E. **Ecological Sanitation—a way to solve global sanitation problems?**. Environment International, 2004.

Leonardo, Ana Cristina de Almeida. **Comparação de métodos de tratamento de amostras de biodiesel para determinação de Sódio usando espectrometria de**

absorção atômica com chama. 2016. 54 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

Lima P.C.R. **Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados e Produção de Etanol no Norte Fluminense.** Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Brasília. 2007.

Lind, B.; Ban, Z.; Bydén, S. **Volume reduction and concentration of nutrients in human urine.** Ecological Engineering, Suécia, v. 16, n. 4, p. 561-566, 2001

Maurer, M., Pronk, W., Larsen, T. A. **Treatment processes for source-separated urine.** Water Research, v. 40, p.3151-3166, 2006.

Meininger, F. E Oldenburg M. **Characteristics of source-separated household wastewater flows: a statistical assessment.** Water Science & Technology—WST, 59.9. 2009.

Moers, E.M., Vieira, A.C., Fernandes, D.M., Souza, S.N.M., Baricatti. R.A. **Caracterização da Biomassa Residual Proveniente de Resíduos Agrícolas para a Geração de Energia.** Congresso Latino Americano de Suinocultura e Sustentabilidade Ambiental – I COLASSA. UNIOESTE. Foz do Iguaçu, 2011.

Mohamed T.M. et al. **Purification of urease from water melon seeds for clinical diagnostic kits.** Bioresource Technology 68 p.215-2231999.

Moore. C.C.S. **Avaliação do desempenho ambiental de alternativa de reaproveitamento de vinhaça decorrente da produção de etanol.** Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.2016.

Morris J.G. **Físico-Química para Biólogos.** Trad. M. N. Cipolli. São Paulo: Polígono, 1972.

ONU. **World Population Prospects: The 2017.** Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wpp/>. Acesso em: Dezembro 2017

Osaki, F.; Darolt, M.R. **Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba.** Rev. Setor Ciências Agrícolas 11(1-2): 197-205. 1991.

Ott, C.; Rechberger, H. **The European phosphorus balance.** Elsevier Science Publishers.NovaYork, 2012.

Palmquist, H et al. **Urine, faeces, greywater, greywater and biodegradable solid waste as potential fertilizers.** In: Ecosan – closing the loop. Proceedings of the 2nd International Symposium on Ecological Sanitation, Incorporating the 1st IWA Specialist Group Conference on Sustainable Sanitation. Lübeck, Germany, 2004.

Penhallegon, R. **Nitrogen-Phosphorus-Potassium Values of Organic Fertilizers.** Oregon State University Extension Service. 2003.

Perucci P, Monaci E, Onofri A, Vischetti C, Casucci C (2008) **Changes in physico-chemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: a field experiment.** Eur J Agron 28:155– 161. doi:10.1016/j.eja.2007.06.005

Piveli, R. P et al. **Utilização de Esgoto Tratado na Agricultura: aporte de água e nutrientes.** In: MOTA, S. B.; VON SPERLING, M. (Org.). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

Pradhan S. K et al. **Stored human urine supplemented with wood ash as fertilizer in tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivation and its impacts on fruit yield and quality.** J Agric Food Chem 2009.

Pradhan, S.K. **Human Urine and Wood Ash as Plant Nutrients for Red Beet (*Beta vulgaris*) Cultivation: Impacts on Yield Quality.** Journal of agricultural and food chemistry. 2010.

Pradhan. S.K et al. **Human Urine and Wood Ash as Plant Nutrients for Red Beet (*Beta vulgaris*) Cultivation: Impacts on Yield Quality.** American Chemical Society. Kuopio, Finland. 2009.

Pronk.W., Koné.D. **Options for urine treatment in developing countries.** Desalination 248. Scotland. 2009.

Putnam. D.F **Composition and concentrative properties of human urine** NASAREport (1971)[Washington,USA, <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19710023044.pdf> (accessed May 2015)]

Quevedo, C.M.G.de. **As atividade do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente.** Dissertação. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Randall, D.G., Krähenbühl, M., Köpping, I., Larsen, T.A., Udert, K.M. **A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide addition.** Water Res 95. p. 361-369. 2016.

Rebouças, C. C. et al. **Redução do volume e recuperação de nutrientes da urina humana através de congelamento e precipitação; 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 20 a 25 de setembro de 2009 - Recife/PE**

Rebouças, T.C.; Bianchi, G. E Gonçalves, R.F. **Caracterização de águas residuárias de origem residencial.** Conferência Internacional em Saneamento Sustentável: Segurança alimentar e hídrica para a América Latina. 2007. Fortaleza – CE, Fortaleza, 2007.

Reis, G.L.; Reis, R.P.; Ferreira, I.C.; Lana, A.M.Q.; Aguiar, A.P.; Lana, R.M.Q. **Avaliação econômica da aplicação de fertilizantes nitrogenados em pastagens destinadas a vacas em lactação.** Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.34, n.3, p.730-738, maio/jun. 2010.

Rodhe L et al. **Ammonia emissions after application of human urine to clay soil for barley growth.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004.

Rose, C. et al. **The characterisation of faeces and urine; a review of the literatura to inform advanced treatment technology.** Environmental Science and Tecnology. 2015.

Schönning, C., Stenström, T. A. **Diretrizes para o uso seguro de urina e fezes nos sistemas de saneamento ecológico.** Programa EcoSan Res. Estocolmo, Suécia: SEI, 2004.

Senecal, J; Vinnerås, B. **Urea stabilisation and concentration for urine diverting dry toilets: Urine dehydration in ash.** Science of the Total Environment (586). p. 650-657. 2017

Severino, L.S.Lima, R. De L. S. de Beltrão, N. E. de M. **Composição Química de Onze Materiais Orgânicos Utilizados em Substratos para Produção de Mudás.** Comunicado Técnico. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006.

Silva D.R.G.S.; Lopes A.S. **Princípios Básicos para Formulação e Mistura de Fertilizantes.** Boletim Técnico nº 89 – p. 1-46 ano 2012 Lavras/MG.

Silva. F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009.**

Simha et al. **Alkaline dehydration of anion exchanged human urine: Volume reduction, nutrient recovery and process optimization.** Water Research 142 (2018).

Soares, J.R. et al. **Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors.** Soil Biology & Biochemistry 52, 2012.

Souza, R.C. **Avaliação da remoção de amoxicilina e cefalexina da urina humana por oxidação avançada (H₂O₂/UV) com vistas ao saneamento ecológico.** Dissertação, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, (2013).

Stowa. Stichting Toegepast Onderzoek **Water be heer Separate urine collection and treatment – Options for sustainable wastewater systems and mineral recovery.** Marca: STOWA 2002.

Taglialegna, G. H. et al. **Concentração na indústria brasileira de fertilizantes e estratégias empresariais.** Anais do “Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural”, Recife, Sober, p. 1-9, 2001.

Taylor, E. N.; Curhan, G. C. **Differences in 24-hour urine composition between black and white women.** Journal of the American Society of Nephrology, vol. 18, 2007.

Thorup-Kristensen, K. **Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot.** Acta Horticulturae. 2001.

Tortora. G, Derrickson. B. **Corpo Humano - Fundamentos de Anatomia e Fisiologia - 10ª Ed.** Editora Artmed. Brasil. 2016.

Udert K, et al. **Technologies for the treatment of source-separated urine in the e Thekwini Municipality.** Water SA vol.41n.2. Pretoria, 2015.

Udert K. M. et al. **Fate of major compounds in source-separated urine.** Water Sci Technol 2006.

Udert, K.M., Larsen, T.A., Biebow, M., Gujer, W. **Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system.** Water Res. 2003.

Udert. K. et al. **Nitrification and autotrophic denitrification of source-separated urine.** Water Science and Technology, 2003.

Urinary Sediment 3.9 Phosphates. c2005. Disponível em: <<http://www.sinitaly.org/imago/sediment/3.9.3.htm>>. Acesso em: Janeiro 2018.

Vinnerås, B. **Possibilities for sustainable nutrient recycling by faecal separation combined with urine diversion.** Agraria 353, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden 2002.

Vinnerås, B., Palmquist, H., Balmer, P., Jönsson, H. **The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste - a proposal for new Swedish design values.** UrbanWater . 2006.

von Sperling, M. et al. **Impactos dos nutrientes do esgoto lançado em corpos de água.** In: MOTTA, F.S.B e von Sperling, M. (coord.). Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, 2009

Warner, R.C. **The kinetics of the hydrolysis of urea and of arginine.** Journal of Biological Chemistry. 142 (2), 705 -723. 1942.

Wieland, P.O., 1994. **Designing for human presence in space—an introduction to environmental control and life support systems.** NASA RP-1324, Appendix E/F, 227-251. Disponível em: <<http://trs.nis.nasa.gov/archive/00000204/01/rp1324.pdf>> Acesso em: Fevereiro 2018

Winker, M., Vinnerås, B., Muskolus, A., Arnold, U., Clemens, J. **Fertiliser products from new sanitation systems: their potential values and risks.** Bioresour. Technol. 2009.

Zancheta P.G. **Recuperação e Tratamento da Urina Humana para o uso Agrícola.** Dissertação de Mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. 2007.

Zancheta, P. G et al. **Caracterização quali-quantitativa da urina humana de diferentes faixas etárias objetivando o seu reúso como fertilizante agrícola natural.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Belo Horizonte. 2017

Zerner B. **Recent advances in the chemistry of an old enzyme, urease** Bioorg. Chem., 19 (1) (1991), pp. 116-131

Zhang. H et al. **Metabolomic analysis of biochemical changes in the plasma and urine of collagen-induced arthritis in rats after treatment with Huang-Lian-Jie-Du-Tang.** Journal of Ethnopharmacology . PR China. 2014.