

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

MARIEL HANG DE OLIVEIRA

**REAPROVEITAMENTO DE POTÁSSIO DE CASCAS DE CACAU POR
LIXIVIAÇÃO DE CINZAS E PRODUÇÃO DE HÚMUS DE MINHOCAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2020

MARIEL HANG DE OLIVEIRA

**REAPROVEITAMENTO DE POTÁSSIO DE CASCAS DE CACAU POR
LIXIVIAÇÃO DE CINZAS E PRODUÇÃO DE HÚMUS DE MINHOCAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná –
Campus Ponta Grossa.

Orientador: Profº Drº Matheus Pereira
Postigo



PONTA GROSSA

2020



TERMO DE APROVAÇÃO

Reaproveitamento de potássio de cascas de cacau por lixiviação de cinzas e produção de húmus de minhoca

Por

Mariel Hang de Oliveira

Monografia apresentada no dia 03 de novembro de 2020 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Me. Luciano Moro Tozetto
(UTFPR)

Prof. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
(UTFPR)

Prof. Dr. Matheus Pereira Postigo
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre estar ao meu lado e por ter me guiado até este momento.

À minha família, que me apoiou durante toda a minha vida e que me tornou a pessoa que sou hoje. Muito obrigada por todos os conselhos, todas as comemorações, todas as mudanças e também por todos os ombros amigos.

Ao professor Matheus Pereira Postigo, por todo o apoio e por ter aceitado me orientar em mais este trabalho.

Ao professor Marcos André Bechlin que me auxiliou nas análises instrumentais deste trabalho.

À professora Maria Helene Giovanetti Canteri, por me orientar nos meus dois anos de iniciação científica e por ter me ensinado a ser uma pesquisadora.

Ao técnico Luciano Moro Tozetto por todos os conselhos e pela nossa amizade.

A todos os professores do curso de Engenharia Química por todo o conhecimento repassado durante esses anos de graduação.

Aos meus amigos que conheci na faculdade, que me acolheram e que se tornaram aventureiros junto comigo: Giovanni Biazon, Otávio Brasil, Matheus Santos e Gabriel Teixeira.

Às minhas amigas que me apoiaram nos estudos e deixaram todos os trabalhos mais divertidos: Ana Melina Mendes, Letícia Tesuka, Fernanda Primitz, Pamela Guaringue e Marines Paduch.

Por fim, a todos que, por mais singelo que tenha sido o ato, me auxiliaram na concretização de mais essa etapa da minha vida.

*Dans la nature rien ne se perd, rien ne se
créé, tout se transforme.*
(LAVOISIER, Antoine, 1789)

Na natureza nada se cria, nada se perde,
tudo se transforma.
(LAVOISIER, Antoine, 1789)

RESUMO

OLIVEIRA, Mariel Hang de. **Reaproveitamento de potássio de cascas de cacau por lixiviação de cinzas e produção de húmus de minhoca.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federl do Paraná. Ponta Grossa, 2020.

O cacau é um fruto que possui três subdivisões: casca, polpa e amêndoas. A matéria-prima mais visada pelas indústrias que utilizam o fruto são as amêndoas, sendo que para a extração de uma tonelada das mesmas é gerado cerca de 6 a 8 toneladas de cascas de cacau que não possuem muita serventia para a indústria. Essas cascas também devem ser retiradas das plantações, pois, devido a sua grande umidade, tornam-se ambientes propícios para o desenvolvimento de pragas. Porém, alguns estudos apontam que as cascas de cacau possuem grande quantidade de potássio e por conta disso, tentam reaproveitá-las nas próprias plantações como fertilizante. Como o Brasil é um dos maiores produtores de cacau fora da África e não possui muitas reservas de potássio para a fabricação de fertilizantes, realizou-se um estudo sobre o reaproveitamento desse metal através da extração por lixiviação das cinzas das cascas e através da produção de húmus de minhoca. Para a extração por lixiviação, as cascas foram desidratadas, calcinadas e posteriormente misturadas com água. Essa mistura foi levada para aquecimento até 90°C e, em seguida, foi filtrada seis vezes. O líquido filtrado foi diluído e analisado em espectrofotômetro de absorção atômica e obteve a concentração média de potássio de 6,378g/L. Esse valor ficou próximo de alguns fertilizantes foliares comerciais. Já para o húmus, foram criados dois minhocários com a proporção de [2:2:1] de terra negra, vermelha e areia. Após isso, a terra foi umidificada e as minhocas foram depositadas. Um dos minhocários foi utilizado como controle e as minhocas receberam uma dieta variada de legumes e verduras, já o outro foi alimentado apenas com cascas de cacau e matéria orgânica neutra. Após 4 meses de observação, as terras foram analisadas com os mesmos testes que a lixiviação, porém não apresentaram diferença estatística entre si com relação a concentração de potássio, apesar de o minhocário de cascas de cacau ter apresentado um pH maior que minhocário controle. Por fim, pode-se concluir que a extração de potássio por lixiviação pode ser uma boa fonte do metal para a produção de fertilizantes, e deixa-se como sugestão de estudo a criação de uma planta que aproveite tanto a matéria orgânica para combustão, quanto o extrato como fertilizante. Com relação ao húmus, pode-se verificar que as cascas foram um bom insumo para a manutenção dos minhocários, porém não produziram uma terra com quantidade diferenciada de potássio.

Palavras-chave: Cascas de cacau, extração de potássio, lixiviação, húmus.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Mariel Hang de. **Reuse of potassium from cocoa husks by ash leaching and production of earthworm humus.**2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2020.

Cocoa is a fruit that has three subdivisions: husk, pulp and almonds. The raw material most targeted by the industries that use the fruit are the almonds, and for the extraction of one ton of them, about 6 to 8 tons of cocoa husks are generated, which do not have much use for the industry. These husks must also be removed from plantations, because, due to their high humidity, they become favorable environments for the development of pests. However, some studies indicate that cocoa husks have a large amount of potassium and because of that, try to reuse them in the plantations as fertilizer. Since Brazil is one of the largest cocoa producers outside Africa and does not have many reserves of potassium for the manufacture of fertilizers, a study was carried out on the reuse of this metal through the leaching of husk's ashes and through the production of earthworm humus. For leaching extraction, the husks were dehydrated, calcined and then mixed with water. This mixture was taken to heat up to 90°C and then it was filtered six times. The filtered liquid was diluted and analyzed in an atomic absorption spectrophotometer and obtained an average potassium concentration of 6.378g / L. This value was close to some commercial foliar fertilizers. For the humus, two earthworms were created with a proportion of [2: 2: 1] of black soil, red soil and sand. After that, the earth was humidified and the worms were deposited. One of the earthworms was used as a control and the earthworms received a varied diet of vegetables, while the other was fed only with cocoa husks and neutral organic matter. After 4 months of observation, the soils were analyzed using the same tests as for the leaching, but they did not show any statistical difference between them in relation to the potassium concentration, despite the fact that the cocoa husk soil had a higher pH than the control soil. Finally, it can be concluded that the extraction of potassium by leaching can be a good source of the metal for the production of fertilizers, and it's left the suggestion of a study to create a plant that uses the organic matter for combustion and the extract as a fertilizer. For the humus, it can be seen that the husks were a good material for the maintenance of earthworms, but they did not produce soil with a different amount of potassium.

Keywords: Cocoa husks, potassium extraction, leaching, humus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Fruto de cacau aberto mostrando o arranjo das favas.....	12
Figura 2	- Fluxograma da extração de potássio por lixiviação.....	19
Figura 3	- Terra negra.....	20
Figura 4	- Terra vermelha.....	20
Figura 5	- Areia.....	21
Figura 6	- Minhocários montados com mistura de terra.....	21
Figura 7	- Mistura das cinzas com água antes (a) e após (b) a filtragem.....	23
Figura 8	- Curva de calibração para a leitura de potássio.....	24
Figura 9	- Minhocários com serragem.....	26
Figura 10	- Aglomeração de minhocas em volta de uma casca de cacau em decomposição.....	27
Figura 11	- Evolução da decomposição da casca de cacau.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros biológicos das minhocas com relação a temperatura, umidade e pH.....	17
Tabela 2	- Resultados do teste de umidade.....	22
Tabela 3	- Resultados da análise de potássio em espectrofotômetro.....	24
Tabela 4	- Análise de potássio em fertilizantes comerciais.....	25
Tabela 5	- Resultados das análises de potássio nas terras dos minhocários.....	28

LISTA DE ABREVIações, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AIPC	- Associação nacional das indústrias processadoras de cacau
DNPM	- Departamento Nacional De Produção Mineral.
CETEM	- Centro de Tecnologia Mineral
MCT	- Ministério da Ciência e Tecnologia
K	- Potássio
g	- Grama
mg	- Miligrama
NPK	- Nitrogênio, fósforo e potássio
Kg	- Kilograma
Ca	- Cálcio
Mg	- Magnésio
Zn	- Zinco
Mn	- Manganês
dm ⁻³	- Decímetro cúbico
K ₂ O	- Óxido de potássio
mL	- Mililitros
°C	- Grau Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O CACAU	12
3.2 PRODUÇÃO DE CACAU NO BRASIL	13
3.3 REAPROVEITAMENTO DAS CASCAS DE CACAU	13
3.4 ASPECTOS GERAIS SOBRE O POTÁSSIO	14
3.5 PANORAMA NACIONAL SOBRE O POTÁSSIO	15
3.6 VERMICOMPOSTAGEM	16
4 METODOLOGIA	17
4.1 LIXIVIAÇÃO	18
4.2 PRODUÇÃO DO MINHOCÁRIO	19
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 LIXIVIAÇÃO	22
5.2 VERMICOMPOSTAGEM.....	25
6 CONCLUSÃO	29
7 REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O cacau tem em sua estrutura subdivisões como a casca, a polpa e as amêndoas. As matérias-primas responsáveis pela maioria dos produtos à base de cacau como por exemplo o chocolate em barra, o chocolate em pó e a manteiga de cacau são as amêndoas. Por esse motivo, a produção de cacau é focada na extração delas do fruto.

Dentro do contexto econômico, o Brasil é responsável por cerca de 4% da produção mundial de cacau, o que representa em média 181.450 toneladas do fruto colhidas por ano, tendo os estados da Bahia e do Pará como os maiores responsáveis pelos números. Esta produção em sua maioria é destinada a extração das amêndoas, levando, por consequência à geração de um dos seus maiores resíduos: a casca do cacau (AIPC, 2018). Responsável por 80% da massa do fruto, estima-se que para cada tonelada de amêndoas secas, geram-se aproximadamente de 6 a 8 toneladas de casca fresca de cacau (MORORÓ, 2012; SODRÉ et al, 2012 apud MORORÓ, 2007).

Além disso, devido ao alto teor de umidade presente nas cascas, se deixadas nas plantações sem tratamento podem favorecer a proliferação de fungos patogênicos às árvores (SODRÉ et al, 2012)

Por conta destes fatores, é possível encontrar diversos trabalhos com o intuito de reaproveitar as cascas de cacau. Alguns que podem ser citados utilizaram a casca como adubo, ração animal, na fabricação de papel, ou ainda para geração de energia em caldeiras, fornos e secadores (MORORÓ, 2012).

Um ponto positivo da casca é que a mesma é rica em potássio, um elemento essencial na produção de fertilizantes. Devido à extensa produção agrícola brasileira e a carência do solo por macronutrientes como fósforo e potássio, o país tem a necessidade de adquirir inúmeras toneladas de fertilizante a base de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) por ano. No entanto, devido à baixa extração mineral nacional de potássio, dados do Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM) mostram que o governo tem a necessidade de importar cerca de 10 vezes mais mineral do que consegue produzir (OLIVEIRA, 2009).

Sendo assim, o presente trabalho tem como base responder o seguinte questionamento: É possível extrair potássio das cascas de cacau através dos métodos de lixiviação e de produção de húmus de minhoca, a fim de aplicar os produtos em fertilizantes de forma economicamente viável?

A fim de responder a esse questionamento, foram realizadas extrações de potássio das cascas de fruto de cacau por dois métodos em paralelo: a lixiviação das cinzas e a produção de húmus de minhoca. Por fim, comparou-se os resultados encontrados perante os fertilizantes já comercializados no mercado.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a extração do potássio presente nas cascas de cacau através do processo de lixiviação e, em paralelo, da produção de húmus de minhoca. Comparar os valores encontrados com estes reaproveitamentos com os fertilizantes comerciais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair o potássio das cinzas da casca de cacau através do processo de lixiviação;
- Analisar a concentração de potássio do extrato das cinzas;
- Aplicar as cascas de cacau diretamente em um minhocário e observar o seu desenvolvimento;
- Analisar a composição do húmus produzido pelas minhocas com relação a quantidade de potássio em comparação com húmus produzido por métodos convencionais;
- Comparar os valores do extrato das cinzas e do húmus produzido com valores dos fertilizantes comerciais;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ASPECTOS GERAIS SOBRE O CACAU

O cacau é o fruto do cacaueiro, pertencente ao gênero *Theobroma cacao*, que possui duas espécies principais: o *Criollo*, que representa 5% de toda produção mundial e o *Forastero* que é o mais comum, caracterizado por amêndoas menores e arroxeadas (AFOAKWA, 2010).

Os frutos são alongados, de casca grossa e em seu interior podem ser encontradas amêndoas envoltas por uma polpa branca (figura 1). Em média, um cacau pesa de 300 a 600g e possui de 20 a 50 favas em seu interior. A casca constitui a maior porcentagem em massa do fruto, cerca de 80%, enquanto o restante representa apenas 20%, dos quais as sementes após secas ocupam 10% (MARTINS, 2007).

Figura 1 - Fruto de cacau aberto mostrando o arranjo das favas



Fonte: Afoakwa (2010)

No que diz respeito à composição da casca de cacau, Martín-Cabrejas e seus colaboradores (1994) descobriram, que cerca de metade do peso seco da casca é composto por fibras, seguido por 18,5% de gordura, 11,6% de proteína e 7,5% de

elementos minerais na estrutura, evidenciados pela análise de cinzas. Já Silva (2009), a fim de analisar mais a fundo os teores de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio) na biomassa seca de clones de cacau pode constatar uma média de 37,9 g de K/Kg de casca o que sugere uma porcentagem de 3,8% de potássio em massa nas cascas. Sodré (2012, apud. SODRÉ, 2007) em seus estudos sobre a avaliação mineral da casca de cacau constatou que o teor de potássio nas cinzas da mesma era igual a 73% dos elementos presentes, o que configura a casca de cacau como uma rica fonte desse mineral.

3.2 PRODUÇÃO DE CACAU NO BRASIL

O cacau é um fruto que se desenvolve em clima tropical e por conta deste fato sua produção se concentra entre os trópicos de câncer e capricórnio. Grande parte da produção mundial está localizada no oeste africano, cerca de 75%, sendo que 42% são apenas da produção da Costa do Marfim. Já o Brasil corresponde a 4% da produção mundial, o que representa 181.450 toneladas em média do fruto produzidas por ano, e as plantações estão majoritariamente nos estados da Bahia e do Pará (AIPC, 2018).

Segundo a AIPC (2018), a produção atual brasileira é insuficiente para atender a demanda interna do país, sendo que em 2018 foi necessária a importação de mais de 40.000 toneladas de cacau para atender aos produtores nacionais. Porém, a instituição afirma que há planos que visam para daqui 4 anos conseguir a autossuficiência e mais tarde, daqui a 9 anos, a oportunidade de exportação dos excedentes. Segundo a organização o crescimento é possível devido ao consumo interno ter voltado a crescer, existir uma demanda global, uma capacidade produtiva já instalada e um parque nacional de produção de chocolate ocioso. A AIPC (2018) reconhece que é um plano desafiador, porém acredita que o mesmo é factível através da criação de uma coalização dos produtores de cacau, tendo uma projeção de produzir uma média de 400.000 toneladas por ano daqui 9 anos. Esse crescimento da produção aumentará ainda mais a demanda de água e energia no processo produtivo, além da demanda de fertilizantes e a geração de resíduos agrícolas como por exemplo a casca de cacau, objeto desse estudo.

3.3 REAPROVEITAMENTO DAS CASCAS DE CACAU

Devido à produção brasileira de cacau e os resíduos gerados pela mesma, alguns trabalhos a respeito do reaproveitamento das cascas do fruto já foram desenvolvidos no país. Sodré e seus colaboradores (2012), sabendo do rico potencial potássico das cascas, realizaram um extrato orgânico das mesmas através de lavagens e o concentraram com relação ao potássio em 5 doses diferentes. Após essa etapa, eles aplicaram o extrato em mudas de cacauzeiro e analisaram seus desenvolvimentos, bem como as características do solo. Por fim, concluíram que o extrato produzido elevou o pH do solo, aumentando os teores disponíveis Ca, Mg, K, Zn e Mn, auxiliando no crescimento das mudas e tornando o mesmo uma fonte viável de potássio na produção de mudas com a dose de 391,6 mg de K por dm^3 de solo.

Já Pereira (2013) abordou uma outra forma de se reaproveitar as cascas: através da utilização das mesmas como combustível para a secagem de amêndoas de cacau. Como parte da cadeia de produção do chocolate necessita que as amêndoas sejam torradas após a fermentação, Pereira (2013) estudou a viabilidade de utilizar o próprio resíduo como combustível do aquecimento a ar. Em suas análises finais comentou que é possível confirmar o potencial da casca como combustível capaz de suprir parte da demanda energética de uma estação produtora de amêndoas de cacau, pois sua caracterização é equivalente a outros resíduos já utilizados como combustíveis.

No entanto, Pereira (2013) adverte que devido à grande umidade das cascas é aconselhável um pré-processamento através de secagem ou briquetagem (compactação de material combustível) para elevar o potencial energético. Além disso, o alto teor de cinzas (e seu caráter fortemente alcalino) produzido pela queima das cascas torna necessário uma remodelação dos sistemas de transformação de biomassa, pois a presença das mesmas pode diminuir a vida útil dos equipamentos. Por outro viés, as cinzas, por serem ricas em minerais, mesmo após a queima ainda podem ser aproveitadas como fonte mineral, como será abordado neste estudo.

3.4 ASPECTOS GERAIS SOBRE O POTÁSSIO

O potássio, elemento pertencente ao grupo dos metais alcalinos, tem o seu termo também utilizado para designar um conjunto de minerais potássicos como por exemplo: silvita (KCl), carnalita ($\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$), langbeinita ($\text{K}_2\text{SO}_4\cdot 2\text{MgSO}_4$), singernita ($\text{K}_2\text{SO}_4\cdot\text{CaSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$), entre outros. O potássio está distribuído na crosta terrestre sendo o sétimo elemento mais abundante na mesma. No entanto, por razão

de sua alta reatividade e afinidade química é encontrado normalmente junto com outros elementos sendo rara sua presença de forma elementar (OLIVEIRA, 2009).

Para a extração do potássio é preferível que se utilizem compostos evaporíticos, pois os mesmos produzem sais muito solúveis em água que auxiliam no processamento e separação do metal alcalino. O mineral mais importante nesse aspecto é a silvita (KCl), pois contém cerca de 63% de K_2O em sua estrutura (unidade utilizada para quantificação de potássio), sendo que os outros minerais têm em média apenas 21% (OLIVEIRA, 2009).

O potássio é um elemento fundamental no desenvolvimento dos organismos vivos. Entre algumas das suas principais funções, Nascimento e Loureiro (2004) explicitam:

- Sua influência no transporte de elétrons durante a fotossíntese.
- Melhor funcionamento de abertura e fechamento dos estômatos em plantas melhorando o aproveitamento de água.
- Melhoramento da síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos.
- Melhoramento do mecanismo de translocação de produtos fotossintetizados nas folhas.

Através das funções apresentadas, pode-se entender a necessidade deste macronutriente na fabricação de fertilizantes, já que o mesmo é um elemento fundamental no metabolismo vegetal.

3.5 PANORAMA NACIONAL SOBRE O POTÁSSIO

O Brasil tem grande parte de sua economia voltada ao setor primário agrícola e este setor tem a necessidade de adquirir milhões de toneladas de fertilizante por mês, principalmente devido a carência do solo brasileiro em macronutrientes. Segundo o CETEM, o país consome cerca de 120 kg de fertilizante por hectare agricultável, o que nos coloca atrás de países como Malásia, Holanda, Reino Unido, Japão e China. No entanto, devido à sua grande dimensão de área plantada é um dos maiores importadores mundiais de produtos para fertilizantes, e o quarto maior consumidor destes produtos atrás apenas da China, EUA e Índia (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004).

Com relação ao consumo de insumos para fertilizantes, deve se dar ênfase na compra de potássio, pois o solo brasileiro é muito carente nesse elemento.

Segundo o CETEM, em 1999 as proporções de NPK utilizadas no Brasil eram de [1:1,5:1,7] enquanto nos EUA e na China essas proporções eram de [1:0,4:0,4] e [1:0,4:0,1] respectivamente (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004).

Além da carência, o Brasil possui duas grandes bacias reconhecidas oficialmente como reservas de sais de potássio: a bacia sedimentar de Sergipe e a bacia sedimentar do Amazonas-Solimões. Apesar de estudos apontarem que as reservas possuem cerca de 13,03 bilhões de toneladas de minerais potássicos, a fração realmente lavrável possui um número bem menor (OLIVEIRA, 2009).

Desse modo, o país possui apenas uma mina de extração de potássio gerenciada pela Vale do Rio Doce (VALE) em Taquari/Vassouras (SE). Segundo o Plano de Aproveitamento Econômico realizado na sua implantação, foram calculados apenas 129,6 milhões de toneladas de silvita mineráveis, sendo que 36,51 milhões já foram extraídos entre 1985 e 2008. Essa quantidade, no entanto, supre apenas 9% da demanda nacional anual de potássio, sendo necessária a importação de aproximadamente 4 milhões de toneladas com um custo de 3,8 bilhões de dólares por ano (OLIVEIRA, 2009).

3.6 VERMICOMPOSTAGEM

A vermicompostagem é a atividade de produzir adubo orgânico através da transformação da matéria orgânica pela ação das minhocas e da sua microflora no trato digestivo. Para tanto, é necessário que seja realizada uma minhocultura, responsável pela criação de forma racional das minhocas em ambiente minimamente controlado (SCHIEDECK; GONÇALVES; SCHWENGBER, 2006)

Através de estruturas denominadas minhocários, é possível criar as minhocas alimentando as mesmas com restos de matéria orgânica seja ela provinda de esterco de animais, resíduo vegetais como capim, leguminosas, e folhas, ou ainda resíduos domésticos, como cascas de vegetais e frutas cozidas ou não, e até guardanapos de papel e outros resíduos orgânicos. O alimento das minhocas será o líquido produzido através da decomposição do resíduo que passa pelo trato digestivo da minhoca e é excretado como matéria orgânica estabilizada também denominada como “húmus de minhoca” (AQUINO, 2009).

É importante que se olhe constantemente o estado do solo em que as minhocas estão porque a aplicação dos resíduos, dependendo de sua composição, pode alterar certos parâmetros essenciais na sobrevivência delas. A umidade, por

exemplo, é um desses fatores, pois com a decomposição dos resíduos e com o clima o solo pode começar a ficar encharcado. Um ambiente assim não é propício para as minhocas, visto que sua respiração é feita através da pele e em lugares com acúmulo de água há a tendência de haver pouco oxigênio (SCHIEDECK; GONÇALVES; SCHWENGBER, 2006).

Na tabela 1 são apresentadas condições ideais para a minhocultura com relação a parâmetros como temperatura, umidade e pH do solo.

Tabela 1 - Parâmetros biológicos das minhocas com relação a temperatura, umidade e ph

Parâmetro	Morte	Redução de atividade	Atividade normal	Faixa ótima	Atividade normal	Redução de atividade	Morte
Temperatura (°C)	< 0	0 – 6	7 – 14	15 – 27	28 – 33	34 – 42	> 42
Umidade (%)	< 50	70 – 74	75 – 79	80 – 85	86 – 88	88 – 90	> 90
pH	< 5	6,0 – 6,4	6,5 – 6,8	6,9 – 7,9	8,0 – 8,4	8,5 – 9,0	> 9

Fonte: Schiedeck, Gonçalves e Schwengber (2006)

Devido à minhocultura se tratar do desenvolvimento de organismos vivos, é importante que os mesmos sempre tenham um ambiente propício para o seu crescimento e desenvolvimento. Para tanto, é necessário que se tenha um acompanhamento dos minhocários, a fim de que os mesmos estejam de preferência na faixa ótima dos parâmetros apresentados na tabela 1, podendo se estender para as faixas de atividade normal. Caso o ambiente apresente indícios de estar na faixa de redução de atividade é imprescindível que se tome medidas de controle.

4 METODOLOGIA

A pesquisa realizada utilizou de métodos experimentais com a finalidade de responder ao problema proposto neste trabalho. Os experimentos foram conduzidos no laboratório de química analítica (C-003) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa e, após os resultados laboratoriais, foram utilizados métodos estatísticos para a análise das respostas.

Para o início dos experimentos, frutos de cacau foram adquiridos em supermercados na cidade de Joinville (SC) e suas cascas separadas da polpa e das favas. Posteriormente, as cascas foram cortadas em pequenos cubos e armazenadas em sacos plásticos sob refrigeração.

4.1 LIXIVIAÇÃO

Como mencionado no referencial, grande parte dos sais potássicos são extremamente solúveis em água o que facilita a sua extração e separação. O método de lixiviação consiste de diversas lavagens do material, a fim de se obter um filtrado rico em sais solúveis. Esse método já foi utilizado por Wang e seus colaboradores (2014) no intuito de extrair potássio de cinzas de palha e foi adaptado para a extração do potássio nas cascas de cacau.

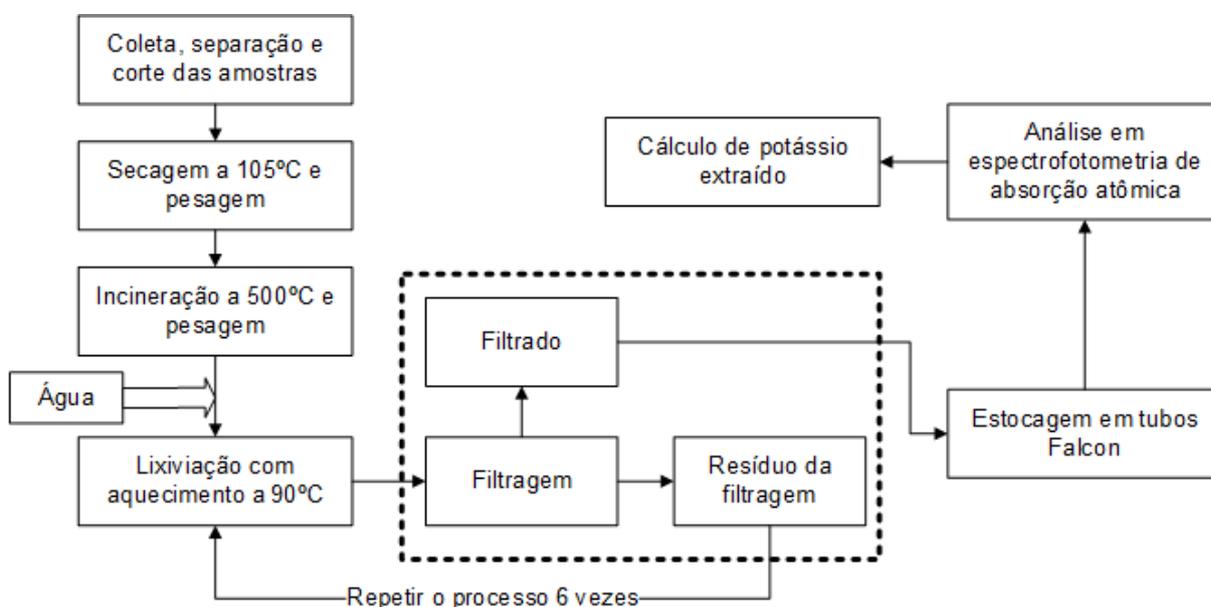
O primeiro passo foi retirar a umidade do material através do método de secagem do Instituto Adolfo Lutz (2008) que consiste na deposição do material triturado em cadinhos, previamente calcinados, que foram aquecidos em estufa a 105°C até peso constante da amostra.

Posteriormente, as cascas foram incineradas através do aquecimento dos cadinhos em mufla a 500°C por 2 horas a fim de degradar a maior quantidade possível de matéria orgânica. É importante que a temperatura não ultrapasse o limite de 550°C, pois segundo Wang et. al (2014) até esse ponto a volatilização do potássio pode ser considerada desprezível. As cinzas representam em grande parte a porção inorgânica da amostra, constituída em sua maioria de metais e seus compostos.

Após a incineração, as cinzas passaram por 6 etapas de lavagem e filtração, sendo que entre essas etapas a solução era reaquecida em chapa de aquecimento para que a extração ocorresse a 90°C. A temperatura mais elevada auxilia na solubilização dos sais de potássio.

O fluxograma da figura 2 exemplifica como foi a ordem da metodologia utilizada.

Figura 2 - Fluxograma da extração de potássio por lixiviação



Fonte: A autora (2020)

Com o intuito de mensurar a concentração de potássio no líquido filtrado, as alíquotas foram analisadas através do método de espectrofotometria de absorção atômica utilizando o equipamento Shimadzu AA-6200. Primeiramente, foi realizada a leitura de soluções padrão de cloreto de potássio a fim de criar uma curva de calibração. Após isso, as alíquotas foram lidas respeitando a diluição necessária para que as concentrações estivessem dentro da sensibilidade do equipamento.

4.2 PRODUÇÃO DO MINHOCÁRIO

Para a produção do húmus de minhoca é necessário que se construa um minhocário, onde as mesmas irão viver e se reproduzir. Primeiramente, foram adquiridas no mercado local duas caixas plásticas com tampa de 15L, posteriormente, preparou-se a terra do minhocário composta por terra negra (figura 3), terra vermelha (figura 4) e areia (figura 5) na proporção de [2:2:1]. A terra negra foi adquirida no comércio local, enquanto que a terra vermelha e a areia foram coletadas no terreno da universidade.

A mistura foi peneirada para eliminação de pedras e galhos e dividida em duas partes iguais e cada parte foi acondicionada em uma caixa plástica (figura 6).

Figura 3 - Terra negra



Fonte: A autora (2020)

Figura 4 - Terra vermelha



Fonte: A autora (2020)

Figura 5 – Areia



Fonte: A autora (2020)

Figura 6 - Minhocários montados com mistura de terra



Fonte: A autora (2020)

Como as minhocas necessitam de um ambiente úmido, a terra foi regada com água até que fosse atingida uma consistência ideal, que não fosse nem seca e nem encharcada. Após essa etapa, foram selecionadas cerca de 70 minhocas de outro minhocário presente no laboratório e elas foram então adicionadas ao meio em

quantidades iguais. As caixas foram discriminadas como caixa 1 e caixa 2, sendo que a caixa 1 só recebeu cascas de cacau e matéria orgânica neutra (como alface, repolho e pepino), enquanto que a caixa 2 recebeu uma variedade maior de matéria orgânica, representando um minhocário convencional e usado como controle.

Durante o período de 4 meses as minhocas foram alimentadas e as caixas foram monitoradas com frequência observando se a umidade e pH estavam dentro do ideal para o seu desenvolvimento. Com o decorrer da decomposição e do clima foi necessário adicionar camadas de serragem para a manutenção da umidade ideal.

Após os 4 meses, o húmus produzido foi analisado com relação à quantidade de potássio através da lixiviação e da espectrofotometria de absorção atômica segundo o método descrito no tópico 4.1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LIXIVIAÇÃO

Para a quantificação da umidade, foram adicionados em béqueres previamente desumidificados cerca de 100 g de cascas de cacau cortadas em cubos. Após a secagem até peso constante foram adquiridos os resultados apresentados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados do teste de umidade

Amostra	Massa amostra (g)	Massa amostra seca (g)	Porcentagem de umidade
1	104,1000	15,2187	85,38%
2	102,2000	15,0525	85,27%
3	101,0100	16,2173	83,94%

Fonte: A autora (2020)

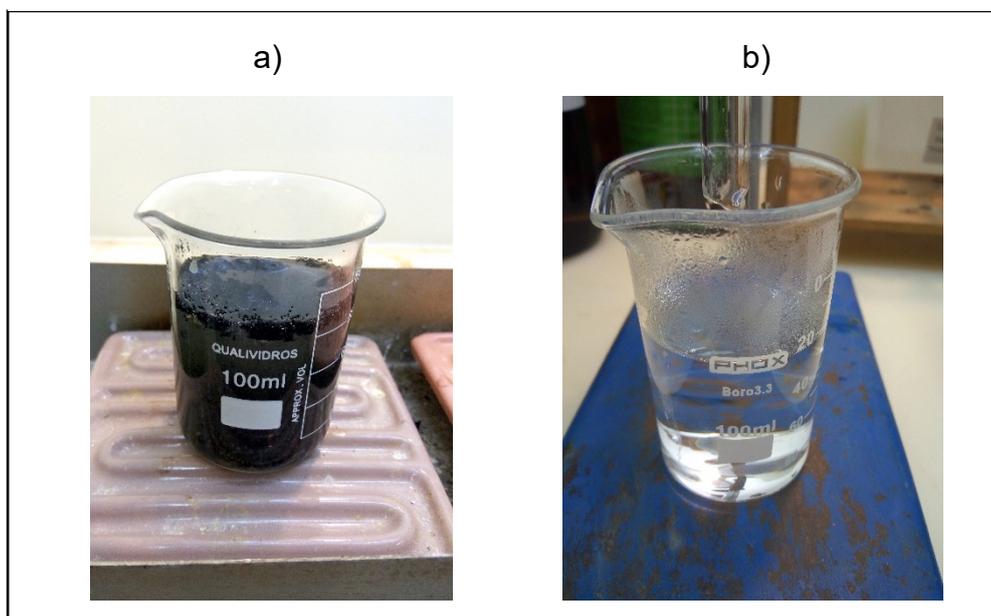
As cascas apresentaram uma umidade média de $84,87\% \pm 0,80\%$ do seu peso original. O resultado obtido corrobora com os de Pereira (2013) que obteve um valor de $84,2\% \pm 0,14\%$, bem como com os dados de Mororó (2007), citado por Sodré e seus colaboradores (2012), que afirmou que as cascas apresentam cerca de 80% de umidade.

Após a etapa de secagem, o conteúdo de cada béquer foi dividido em dois cadinhos, tendo o total de 6 alíquotas, e levadas para uma leve calcinação por 2 horas. Foi observado que o tempo e intensidade da calcinação não foram significativos para que fosse possível calcular a quantidade de cinzas, pois ainda restaram partículas

orgânicas nas amostras. Entretanto, o objetivo dessa etapa foi atingido pois era necessário degradar a maior quantidade de matéria orgânica possível para que a mesma não interferisse na leitura instrumental posterior.

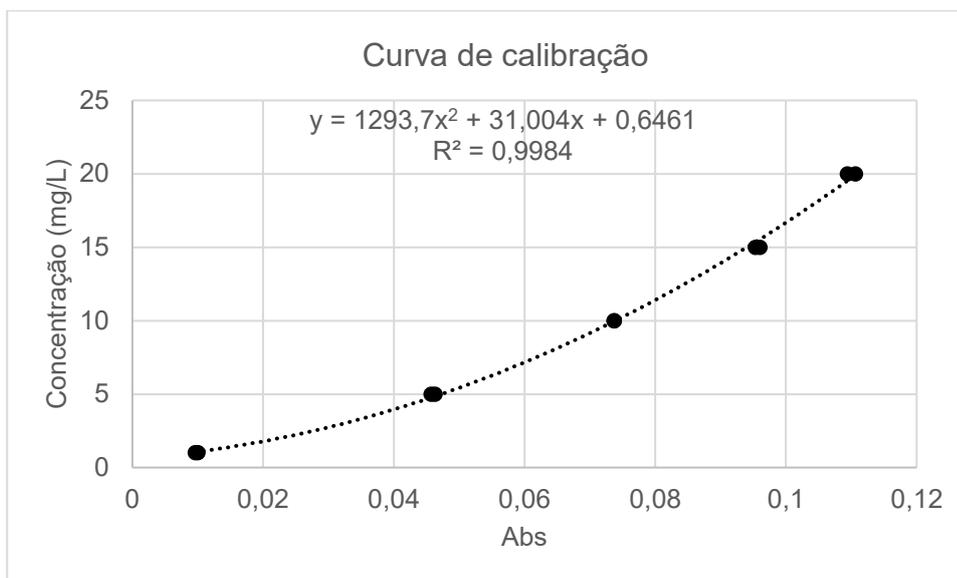
Em seguida, juntaram-se as cinzas referentes a cada amostra secada no início do processo e foram adicionados 80 mL de água às mesmas (figura 7a). Após o aquecimento e filtragem das amostras, o filtrado apresentou um aspecto transparente como pode ser observado na figura 7b.

Figura 7 - Mistura das cinzas com água antes (a) e após (b) a filtragem



Fonte: A autora (2020)

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em tubos plásticos com tampa e levadas ao espectrofotômetro. A fim de quantificar a quantidade de potássio presente na amostra, primeiramente foram preparadas soluções padrão de cloreto de potássio (KCl) nas concentrações de 1, 5, 10, 15, e 20 mg/L. Após a leitura das amostras no aparelho, foi obtida a curva de calibração apresentada na figura 8.

Figura 8 - Curva de calibração para a leitura de potássio

Fonte: A autora (2020)

Após essa informação, as amostras filtradas do cacau começaram a ser analisadas, porém elas apresentaram uma concentração muito alta para a confiabilidade do teste. Sendo assim, todas as amostras foram diluídas 400 vezes e só então lidas no espectrofotômetro. Os resultados obtidos estão explicitados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da análise de potássio em espectrofotômetro

Amostra	Abs	Conc. Filtrado (gK/L)	Média (gK/L)
1	0,0885	5,409	5,409
	0,0885	5,409	
2	0,0900	5,566	5,625
	0,0911	5,683	
3	0,0928	5,866	5,898
	0,0934	5,931	
4	0,0957	6,185	6,263
	0,0971	6,342	
5	0,1044	7,193	7,242
	0,1052	7,290	
6	0,1099	7,872	7,834
	0,1093	7,796	

Fonte: A autora (2020)

O valor médio de concentração de potássio nas amostras foi de $6,378 \pm 0,96$ g/L, ou seja, em cada béquer filtrado obteve-se cerca de meio grama de potássio.

A fim de comparar esse valor com fertilizantes já comercializados, foram analisadas algumas fichas técnicas de fertilizantes foliares a base de potássio, fertilizantes menos concentrados aplicados sobre as folhas das plantas. Após as diluições sugeridas pelos fabricantes os fertilizantes obtêm as concentrações apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Análise de potássio em fertilizantes comerciais

Marca	Conc. de K no produto	Conc. de K após diluição de aplicação (g/L)
A	32,2%	12,51
B	2,3%	0,27
C	40,0%	4,00
D	6,0%	1,23

Fonte: A autora (2020)

Como pode ser observado, existem diversos tipos de fertilizantes com concentrações distintas. No entanto, após a diluição de aplicação todos ficam com concentrações relativamente baixas de potássio por litro. Comparando esses dados com o valor que foi encontrado para a extração das cinzas (6,378g/L) pode-se perceber que o mesmo possui um valor médio entre os fertilizantes comerciais.

5.2 VERMICOMPOSTAGEM

Durante o período de 4 meses, ambos os minhocários foram monitorados semanalmente principalmente com relação a umidade do ambiente, pois com a decomposição dos alimentos alguns pontos extremamente úmidos foram detectados. A fim de manter a umidade ideal para as minhocas foram aplicadas algumas camadas de serragem (figura 9) juntamente com um controle maior da quantidade de alimento entregue a elas.

Figura 9 - Minhocários com serragem



Fonte: A autora (2020)

No início do processo de decomposição dos alimentos, foi observado que as cascas de cacau conseguiam manter de uma melhor forma a umidade local do que os alimentos comuns. Isso pode ser explicado pelo alto grau de umidade das cascas (80%) que umidificavam o ambiente, juntamente com a grande quantidade de fibras que atuaram como cepilhos. Elas criaram maiores áreas de interação entre a terra e o ambiente que auxiliaram na redução da umidade excessiva do minhocário.

Com o decorrer do crescimento das minhocas foi observado que o minhocário das cascas de cacau possuía muito mais minhocas jovens que minhocas adultas grandes. Isso sugere que o ambiente foi propício para o desenvolvimento dos filhotes, porém não havia matéria orgânica suficiente para que os mesmos chegassem a fase adulta. Após essa observação começou a ser adicionado, além das cascas, matéria orgânica neutra como por exemplo abobrinha, pepino e batata.

Também foi observado que as cascas de cacau foram bem recebidas pelas minhocas, visto que as mesmas se agrupavam em volta dos resíduos como é mostrado na figura 10.

Figura 10 - Aglomeração de minhocas em volta de uma casca de cacau em decomposição



Fonte: A autora (2020)

Importante ressaltar que esse comportamento só é possível devido a umidade ideal no ambiente em volta do resíduo. Foi observado que essas aglomerações não ocorreram próximas a resíduos por exemplo de pepino, que deixaram o ambiente próximo do resíduo extremamente úmido. Esse comportamento das minhocas também foi benéfico para uma maior reprodução das mesmas devido a sua proximidade.

Ao final do período, pode ser observado que o uso das cascas como material de consumo das minhocas foi satisfatório, uma vez que elas conseguiram se desenvolver e consumiram praticamente toda a matéria orgânica das cascas. Na figura 11 pode-se constatar que apenas a casca grossa externa do cacau não foi consumida pelas minhocas, pois sua decomposição é mais demorada.

Figura 11 - Evolução da decomposição da casca de cacau



Fonte: A autora (2020)

A fim de analisar o conteúdo da terra após o período de decomposição, foram realizados os mesmos testes a que foram submetidas as cascas anteriormente na lixiviação. Além disso, também foi verificado o pH pois como o metal em análise é alcalino e ele poderia influenciar no pH da terra. Os resultados dessas análises estão expostos na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados das análises de potássio nas terras dos minhocários

Alimentação	Amostra	Conc. do extrato (gK/L)	Média da conc. do extrato (gK/L)	Média da porcentagem de K por massa de terra	pH
Controle	1	0,0750	0,082 ^a	0,042% ^b	7,38
	2	0,0777			
	3	0,0927			
Cacau	4	0,1230	0,108 ^a	0,056% ^b	8,21
	5	0,0968			
	6	0,1034			

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Fonte: A autora (2020)

Através destes dados pode-se constatar que a quantidade de metal alcalino presente nas cascas de cacau foi o suficiente para que ocorresse uma influência no pH da terra. Esse dado é importante quando se considera o meio ambiente controlado em que as minhocas devem se desenvolver. Caso o minhocário fosse utilizado com

uma carga muito maior de cascas um estudo sobre a neutralização do meio seria necessário. Uma alternativa seria a decomposição das cascas juntamente com materiais ácidos como cascas de frutas cítricas.

Com relação a porcentagem de potássio, pode-se verificar através do teste de Tukey com significância de 5% que as amostras não foram estatisticamente distintas. Isso sugere que apesar de haver diferença entre os resultados de alimentações diferentes, deve haver um maior período de alimentação com cacau e em maior quantidade para que haja um enriquecimento mais satisfatório dos níveis de potássio.

6 CONCLUSÃO

Após as análises laboratoriais, pode-se afirmar que a utilização do extrato de cinzas de casca de cacau é uma ótima fonte sustentável e renovável para a fabricação de fertilizantes. Além disso, como averiguado na literatura, a própria queima das cascas poderia ser utilizada como fonte de energia na cadeia produtiva, sendo possível a utilização dos resíduos dessa queima para realizar a extração do potássio descrita nesse trabalho. Desse modo, com a junção desses dados seria possível a criação de um ciclo fechado de reaproveitamento em toda cadeia processadora de cacau aplicando o fertilizante produzido de volta nas plantações.

Deixa-se como sugestão para trabalhos futuros, a criação de um projeto industrial que comporte a moagem e peletização das cascas a fim de minimizar os danos causados pela alta concentração umidade das cascas, bem como a readequação da caldeira devido a quantidade de cinzas nas cascas. Também é possível estudar a criação um modelo que faça a extração e filtragem das cinzas a fim de obter o extrato de potássio.

Com relação aos minhocários, pode-se concluir que as cascas de cacau possibilitaram o bom desenvolvimento das minhocas e também uma menor manutenção com relação a umidade. No entanto, a terra tratada apenas com cacau e matéria orgânica neutra, por mais que tenha sido afetada com relação ao seu pH, não apresentou diferença estatística com relação a concentração de potássio em comparação com a terra tratada com diversos tipos de matéria orgânica pelo método de extração utilizado. Dessa forma, deixa-se como sugestão o acompanhamento do minhocário empregando essa técnica por um tempo maior podendo levar a um maior enriquecimento do húmus obtido.

7 REFERÊNCIAS

AFOAKWA, Emmanuel Ohene. **Chocolate, science and technology**. Wiley-Blackwell: Chichester, 2010.

AQUINO, Adriana Maria de. Vermicompostagem. **Circular Técnica Embrapa**, Seropédica, nº 29, 2009. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/102089/1/CIT29-09.pdf>> Acesso em: 3 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS PROCESSADORAS DE CACAU. **Câmara Setorial**. 27 mar. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/cacau/2018/42a-ro/aipc-camara-setorial-marco2018.pdf>> Acesso em: 28 abr. 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ed. 4. São Paulo, Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MARTÍN-CABREJAS, María A.; VALIENTE, Cruces; ESTEBAN, Rosa M.; MOLLÁ, Esperanza; WALDRON, Keith. Cocoa Hull: A Potential Source of Dietary Fibre. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Londres, v. 66, p. 307-311, 1994. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/jsfa.2740660307>> Acesso em: 10 jun. 2019.

MARTINS, Renata. **Dossiê técnico – Processamento de chocolate**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/MTY4>> Acesso em: 10 jun. 2019.

MORORÓ, Raimundo Camelo. **Aproveitamento dos subprodutos, derivados e resíduos do cacau**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CACAU, 3., 2012, Ilhéus. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/paginas/cbc/paginas/palestras/P7_3.pdf> Acesso em: 28 abr. 2019.

NASCIMENTO, Marisa; LOUREIRO, Francisco E. Lapidó. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/579/1/sed-61.pdf>> Acesso em: 10 jun. 2019.

OLIVEIRA, Luiz Alberto Melo de. Potássio. In: BRASIL. **Economia Mineral do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional De Produção Mineral, 2009. p. 569-576. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/7-3-potassio>> Acesso em: 28 abr. 2019.

PEREIRA, Ivan de Oliveira. **Viabilidade da utilização da casca de cacau como combustível no aquecimento de ar para secagem de amêndoas de cacau**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <

<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/758/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 2 jun. 2019.

SCHIEDECK, Gustavo; GONÇALVES, Márcio de Medeiros; SCHWENGBER, José Ernani. Minhocultura e produção de húmus para a agricultura familiar. **Circular Técnica Embrapa**, Pelotas, nº 57, 2006. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/746014/1/Circular57.pdf>> Acesso em: 3 jun. 2019.

SILVA, Joelson Virginio Orrico da. **Produção e partição de biomassa e nutrientes e parametrização de um sistema para recomendação de N, P e K para cacauzeiros**, 2009. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2009. Disponível em: <<http://nbcgib.uesc.br/ppgpv/painel/paginas/uploads/f18ff8d59c950756bb3eca4c254e9e79.pdf>> Acesso em: 22 abr. 2019.

SODRÉ, George Andrade; VENTURINI, Marcela Tonini; RIBEIRO, Daniel Ornelas; MARROCOS, Paulo Cesar Lima. Extrato da casca do fruto do cacauzeiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacauzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 881-887, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452012000300030&script=sci_abstract&lng=pt> Acesso em: 10 jun. 2019.

WANG, Yibin; WANG, Xuebin; TAN, Houzhang; DU, Wenzhi; QU, Xiaodi. Extraction and quantitation of various potassium salts in straw ash. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, New York, v. 34, n. 2, p. 333-338, 2014. Disponível em: <<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ep.11988>> Acesso em: 10 jun. 2019.