RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta dissertação será
disponibilizado somente a partir
de 22/02/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

ARMANDO JOSÉ RASZL

MODIFICAÇÃO DA CELULOSE PARA LIBERAÇÃO APRIMORADA DE NUTRIENTES AGRÍCOLAS

Sorocaba
2024

ARMANDO JOSÉ RASZL

MODIFICAÇÃO DA CELULOSE PARA LIBERAÇÃO APRIMORADA DE NUTRIENTES AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientadora: Profa. Associada Valquíria de Campos.

Sorocaba

2024

Dedico este trabalho à minha família!

É por ela que procuro fazer sempre o meu melhor...

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida, por seu amor misericordioso e sua bondade infinita. Por me dar força, sabedoria e paciência nos períodos mais difíceis. Por cuidar dos detalhes e fazer de cada obstáculo uma aprendizagem.

À Prof.ª Associada Valquíria Campos, por aceitar o desafio de me orientar e ter me recebido tão bem. Muito obrigado pela confiança, carinho, paciência e por me apresentar novos caminhos e conhecimentos.

À minha esposa Regina, em especial, pela parceria, cumplicidade e todo apoio dedicado a mim para a realização deste trabalho, se dividindo entre lecionar suas aulas, cuidar de sua mãe e de nossos filhos.

Também tenho que expressar meu agradecimento ao Giovanni da UFSCAR, ao Henrique da FATEC, Daniel Komatsu da PUC-Sorocaba, e ao Caio da FACENS.

Ao Diego Marques, Samara Boaventura e Larissa Solano pela colaboração para a concretização deste projeto.

E a todos que, de forma direta ou indiretamente, contribuíram para conclusão deste trabalho.

RESUMO

Uma das fases mais cruciais da produção agrícola é a fertilização do solo, que exige fornecimento adequado e equilibrado de nutrientes para cultivares, buscando melhoria na produtividade. No entanto, muitos destes nutrientes são perdidos devido à lixiviação e volatilização, entre outros. Como resultado, apenas uma parcela desses componentes é efetivamente utilizada pelo cultivar e soma-se a isso, aplicações inadequadas de fertilizantes causando eutrofização de cursos d'água, impondo a necessidade de adoção de tecnologias que permitam liberação adequada de fertilizantes. Ao reduzir o desperdício, os fertilizantes de libertação aprimorada podem adequar a disponibilidade do conteúdo de nutrientes no solo às plantas, reduzindo a contaminação ambiental. Estudos recentes têm enfatizado o uso de diversas fontes naturais e biodegradáveis, especialmente, biomassa no desenvolvimento de fertilizante de liberação aprimorada em razão de sua biodegradabilidade, propriedades não tóxicas e sendo fonte renovável a um custo consideravelmente baixo. Entretanto, o uso de biopolímeros no desenvolvimento de fertilizantes de libertação melhorada necessita, frequentemente, da introdução de produtos químicos como agentes deslignizantes, reticulantes, precursores de polimerização, solventes orgânicos, líquidos iónicos, entre outros, além de processos de alta complexidade de produção e onerosos. Diante disso, o presente trabalho buscou criar novos fertilizantes de liberação aprimorada, fazendo-se uso de biopolímeros e do menor número possível de componentes químicos. A sequência de ações segue na extração celulose do bagaço de cana-de-açúcar, síntese de fertilizante de liberação aprimorada à base de celulose, caracterização de propriedades e discussão dos mecanismos de liberação de nutrientes. Os resultados mostraram que a celulose I foi convertida em celulose II, além da eliminação de lignina, hemicelulose e outros carboidratos, o que gerou perda de massa em torno de 61%. A esterificação da celulose com anidrido do ácido etilenodiaminotetracético foi comprovada pelas mesmas técnicas de caracterização, assim como a incorporação dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio. Na análise química dos macronutrientes NPK obteve-se resultado médio de 73% de liberação no solo em 30 dias e em torno de 15% de liberação em 24 h. Os experimentos comprovaram a eficiência do substrato produzido, quanto a sua capacidade de liberação aprimorada de NPK. Além disso, o uso da celulose como base para o substrato, mostrou-se vantajoso por ser biodegradável e de fonte renovável. Os resultados obtidos são de grande relevância por indicarem, claramente, que os materiais biopoliméricos podem contribuir para o bom desempenho agrícola, na produção de alimentos e, consequente, preservação ambiental.

Palavras-chave: biopolímero; celulose; substrato; fertilizante; liberação aprimorada.

ABSTRACT

One of the most crucial phases of agricultural production is soil fertilization, which requires a balanced supply of components for the good development of cultivars and improved productivity. However, many of these components are lost due to leaching and volatilization, among other things. As a result, only a portion of these components is effectively used by the cultivar, and inadequate fertilizer applications have become a source of environmental risks such as the eutrophication of water courses, which brings other undesirable consequences, imposing the need to adopt technologies that allow adequate release of fertilizers. By reducing waste, enhanced release fertilizers can match the availability of soil nutrient content to plants, reducing environmental contamination. Recent studies have emphasized the use of various natural and biodegradable sources, especially biomass, in the development of these enhanced release fertilizers due to their biodegradability, non-toxic properties and renewable source at a considerably low cost. However, the use of biopolymers in the development of improved release fertilizers often requires the introduction of additional chemical products, such as delignizing agents, crosslinkers, polymerization precursors, organic solvents, ionic liquids, etc., or highly complex and costly production processes in agricultural applications. Given this, the present work sought to create new enhanced release fertilizers based on biopolymers using the smallest possible number of chemical components, carrying out several experiments with the following objectives: a) extract cellulose from sugarcane bagasse; b) create cellulose-based improved release fertilizers; c) characterize the properties in search of the best conditions for the synthesis of improved release fertilizers; d) elucidate the link between the chemical structure and nutrient release mechanisms. Studies that produced partial results such as the successful extraction of cellulose from sugarcane bagasse, such as X-ray diffraction analyzes and Fourier transform infrared spectroscopy showed that cellulose was converted from cellulose I to cellulose II, in addition to the elimination of lignin, hemicellulose and other carbohydrates (polioses), which generated a mass loss of around 61.1%. The esterification of cellulose with ethylenediaminetetraacetic acid anhydride was proven using the same techniques, as well as the incorporation of the macronutrients nitrogen, phosphorus and potassium. In the chemical analysis of NPK macronutrients, an average result of 73.4% release into the soil in 30 days and around 15% release in 24 hours was obtained. In short, the tests proved the efficiency of the substrate produced in terms of improved NPK release capacity. Furthermore, the use of cellulose as a substrate base is advantageous because it is biodegradable and a renewable source. The results obtained are of great relevance as they clearly indicate that biopolymeric materials contribute to good agricultural performance in food production and consequent environmental preservation.

Keywords: biopolymer; cellulose; substrate; fertilizer; enhanced release.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definição das zonas de deficiência, adequada e tóxica pela relação da presença de nutrientes no tecido vegetal e o desenvolvimento da planta 23
Figura 2 - Liberação sincronizada de nutrientes com a necessidade da cultura, característica de fertilizante inteligente 25
Figura 3 - Classificação de fertilizantes de liberação controlada.....27
Figura 4 - Representação esquemática das classes pertencentes aos fertilizantes de eficiência aprimorada. 28
Figura 5 - Ilustração gráfica da estrutura hierárquica da celulose extraída de plantas 32
Figura 6 - Estrutura da parede celular da biomassa lignocelulósica 33
Figura 7 - Unidade repetitiva da celulose 34
Figura 8 - Esquema de interação entre as cadeias moleculares da celulose na região cristalina das microfibrilas de celulose. 35
Figura 9 - Estruturas cristalinas da celulose I e celulose II vistas ao longo dos eixos das cadeias. Linhas pontilhadas indicam ligações de hidrogênio 36
Figura 10 - Representação esquemática da modificação da celulose nativa em seus vários polimorfos 37
Figura 11 - Alterações estruturais do complexo celulose-hemicelulose-lignina após pré-tratamento.....39
Figura 12 - Ação das celulases sobre a molécula de celulose.....40
Figura 13 - Formação de rede polimérica pela polimerização de grupos terminais ..42
Figura 14 - Formação de rede polimérica pela reticulação das cadeias 42
Figura 15 - Representação gráfica da reação de síntese do EDTA tetrassódico.....44
Figura 16 - Esquema de síntese do EDTAD 44
Figura 17 - Modificação da celulose com dianidrido de EDTA 45
Figura 18 - Fluxograma do desenvolvimento da parte experimental do projeto.....47
Figura 19 - Esquema do sistema utilizado no ensaio de liberação controlada e lixiviação de nutrientes NPK.....56
Figura 20 - Equação química do tratamento alcalino da celulose 57
Figura 21 - Difratograma do bagaço de cana-de-açúcar (BCp).....59
Figura 22 - Difratograma do bagaço de cana mercerizado (BCT2).....60
Figura 23 - Eletromicrografia do BCp (A) e do BCT2 (B) 61

Figura 24 - Espectrograma de FTIR do BCp e BCT2 (A) espectrogramas completos do BCp e BCT2, (B) destaque na região entre 1200 e 1800 cm-1 62
Figura 25 - Espectrograma de FTIR do EDTAD 64
Figura 26 - Espectrograma de FTIR do CEDTA com NH_4^+ 67
Figura 27 - Espectrograma de FTIR do CEDTA com $H_2PO_4^-$ 67
Figura 28 - Espectrograma de FTIR do CEDTA com K^+ 68
Figura 29 - Difratograma de raios X do CEDTA com N, P e K 69
Figura 30 - Termograma de DSC do BCp 70
Figura 31 - Termograma de DSC BCT2 70
Figura 32 - Termograma de DSC do $CEDTAD_{NPK}$. 70
Figura 33 - Análise termogravimétrica do BCp, BCT2 e $CEDTA_{NPK}$ 71
Figura 34 - Concentração de nitrogênio no solo e após irrigação 76
Figura 35 - Concentração de potássio no solo e posterior a irrigação 76
Figura 36 - Concentração de fósforo no solo após irrigação. 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação dos elementos essenciais das plantas superiores e suas concentrações ideais para o desenvolvimento normal das plantas.....22
Tabela 2 - Constante de estabilidade de complexos metálicos–EDTA 43
Tabela 3 - Perda de massa do bagaço de cana posterior ao tratamento com NaOH 58
Tabela 4 - Dados e resultados da análise de pureza do EDTAD 64
Tabela 5 - Bandas presentes no espectro do EDTAD e suas atribuições.....65
Tabela 6 - Porcentagem de ganho de massa em relação a cinética e a otimização dos reagentes.....66
Tabela 7 - Resultados da determinação de NPK no $CEDTA_{NPK}$ 72
Tabela 8 - Aumento da concentração dos nutrientes no solo pela liberação de NPK após 30 dias.....73
Tabela 9 - Resultados de concentração de NPK liberado pelo CEDTANPK em amostras de solo.....74
Tabela 10 - Resultados do balanço de massa do nitrogênio (terra + água) e taxa de liberação.....75
Tabela 11 - Resultados do balanço de massa do potássio (terra + água) e taxa de liberação.....75

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGU	Unidade de anidroglicose
BCA	Bagaço de cana-de-açúcar
BC_P	Bagaço de cana padronizado
BCT	Bagaço de cana tratado 1 vez
BCT2	Bagaço de cana tratado 2 vezes
CEDTA	Celulose com dianidrido de etilenodiaminotetracético
$CEDTAH_2PO_4^-$	Celulose com dianidrido de etilenodiaminotetracético e fosfato
$CEDTA_K$	Celulose com dianidrido de etilenodiaminotetracético e potássio
$CEDTANH_4^+$	Celulose com dianidrido ácido etilenodiaminotetracético e amônio
$CEDTA_{NPK}$	Celulose com dianidrido de etilenodiaminotetracético e nutrientes NPK
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DGS	Densidade a granel solta
DMF	Dimetilformamida
DRX	Difratometria de raios X
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
DTA	Análise térmica diferencial
DTG	Análise termogravimétrica derivada
EDTA	Ácido etilenodiaminotetracético
EDTAD	Dianidrido do etilenodiaminotetracético ácido
FLC	Fertilizante de liberação controlada
FLL	Fertilizante de liberação lenta
FTIR	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
ONU	Organização das Nações Unidas
P.A.	Pureza analítica
TG	Análise termogravimétrica
TNT	Tecido não tecido

UV/Vis	Região do espectro da região do ultravioleta e visível

LISTA DE SÍMBOLOS

®	Marca registrada
°C	Graus Célsius
Å	Ångström, unidade de medida equivalente a 10^{-10} m
g	gramas
h	hora
ha	Hectare: unidade de medida agrária
kg	Quilograma, unidade de massa
kV	Quilovolt
K_α	Comprimento de onda
L	Litro
m/v	Razão entre a massa (soluto) e o volume (solução)
mA	Miliampère
mg	Miligramas
mL	mililitro
nm	nanômetro
θ	Teta: Ângulo entre o detector e o cristal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 OBJETIVOS 20
2.1 Objetivo Geral 20
2.2 Objetivos específicos 20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 21
3.1 A importância dos fertilizantes na agricultura 21
3.2 Inadequado uso de fertilizantes sintéticos e seus impactos ambientais 24
3.3 Fertilizantes de liberação aprimorada: controlada ou lenta 25
3.4 Desenvolvimento de substratos de liberação lenta de fertilizante 29
3.5 Produção de cana-de-açúcar no Brasil 30
3.6 Composição do bagaço de cana-de-açúcar 32
3.7 Estrutura química e morfológica da celulose 33
3.8 Modificação química da celulose 38
3.8.1 Modificação enzimática da celulose 39
3.8.2 Redes poliméricas 41
3.9 EDTA e o agente de entrecruzamento EDTAD 43
3.10 Esterificação da celulose com EDTAD 44
4 MATERIAL E MÉTODOS 46
4.1 Extração da celulose do bagaço de cana-de-açúcar 48
4.2 Síntese de EDTAD 49
4.3 Estudos cinéticos na modificação do BCT2 49
4.3.1 Determinação da cinética de reação do BCT2 com EDTAD 49
4.3.2 Otimização da proporção entre os reagentes 50
4.4 Síntese do CEDTA com a incorporação de nutrientes NPK 50
4.5 Caracterização de amostra 51
4.5.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) 51
4.5.2 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier 51
4.5.3 Análise por difratometria de raios X 52
4.5.4 Análise termogravimétrica (TG) 52
4.5.5 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) 52
4.5.6 Determinação da pureza do EDTAD 53

4.5.7 Quantificação de NPK em amostras de CEDTA.....53
4.5.8 Preparação de amostra de solo.....55
4.5.9 Ensaios de liberação controlada de fertilizante NPK em solo.....55
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 57
5.1 BCp posterior ao tratamento com NaOH.....57
5.2 Caracterização do EDTAD 63
5.3 Cinética e otimização de reagentes na síntese do CEDTA 65
5.4 FTIR das amostras de CEDTA com fertilizante.....66
5.5 Análises de raios X do CEDTA com fertilizante.....68
5.6 DSC do BCp, BCT2 e $CEDTA_{NPK}$.....69
5.7 Termogravimetria (TG) do BCp, BCT2, $CEDTA_{NPK}$.....71
5.8 Resultado da quantificação dos nutrientes N, P, K absorvidos pelo CEDTA 72
5.9 Ensaio de liberação de fertilizante em solo após irrigação 74
6 CONCLUSÃO 79
REFERÊNCIAS.....81

1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional e a crescente demanda por alimentos tendem a elevar o emprego de fertilizantes na agricultura. Fertilizantes podem ser definidos como "substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, que suprem a necessidade de nutrientes no solo para as plantas" (Brasil, 2004). Sua função é reabastecer ou restaurar a quantidade de nutrientes no solo atendendo assim as necessidades das plantas. O uso correto de fertilizantes na agricultura é uma questão que por si só contribui potencializando a produtividade. Sem eles, a capacidade de produzir alimentos fica severamente prejudicada, estimando-se que diminua cerca de 50% (Reetz, 2017).

Além de aumentar a produção, os fertilizantes utilizados em conjunto com técnicas de tratos culturais mais sustentáveis podem ajudar a preservar o ambiente, reduzindo a necessidade de mais áreas de plantação. Segundo Casarin; Stipp (2013), 17 elementos químicos são considerados como nutrientes essenciais ao pleno desenvolvimento do ciclo de vida das plantas, e devem atender aos seguintes critérios: a) deve ter envolvimento direto no metabolismo da planta figura constituindo moléculas, participando de reações e outros; b) não ser possível a planta completar seu ciclo de vida sem o elemento; c) o elemento tem uma função específica na qual nenhum outro elemento pode substituí-lo. Sendo, 14 desses minerais divididos em macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); e micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B), cloro (Cl), níquel (Ni) e molibdênio (Mo). Além do carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), que são elementos não minerais. As plantas necessitam de quantidades maiores de macronutrientes e menores dos micronutrientes. Devido a adoção do sistema intensivo, com safras sucessivas e muitas vezes, de monocultura, levando ao esgotamento do solo, a aplicação de fertilizantes torna-se um processo crucial no sucesso da produção agrícola, onde verifica-se o risco de aplicações mal realizadas tornarem-se fonte de problemas na produtividade, como a falta de potássio, por exemplo, que prejudica o crescimento e o desenvolvimento das plantas, as folhas ficam amareladas, com risco de necrose, além de afetar a resistência das plantas contra geadas, secas e doenças (Marques et al., 2004). Em contrapartida o excesso de nutrientes, também pode causar problemas ambientais, como no caso do nitrogênio que favorece a proliferação de

algas em corpos d’água, impedindo a passagem de luz solar e, consequentemente, prejudicando a fotossíntese das plantas aquáticas, causando sua morte e decomposição (eutrofização). Como consequência, há o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) promovendo a mortalidade de espécies aquáticas. (DE VRIESA et al., 2012). Portanto, é preciso adotar sistemas de retenção prolongada e liberação controlada de nutrientes, evitando que essa etapa de produção agrícola não ofereça risco à planta nas diversas fases de seu desenvolvimento ou se tornem contaminantes do solo.

A utilização de materiais de liberação controlada teve origem nos medicamentos, com o objetivo de reduzir custos e, ao mesmo tempo, limitar os efeitos negativos que altas dosagens induzem no corpo humano (Aouada; Mattoso, 2009). Em seguida, os experimentos de liberação de medicamentos foram aplicados à liberação controlada de insumos agrícolas (fertilizantes, nutrientes, herbicidas, etc.).

Uma tecnologia que tem sido utilizada é a de hidrogéis constituídos de polímeros sintéticos, que apresentam como vantagens, a elevada capacidade de retenção de água e de outros compostos que poderiam servir de nutrientes às plantas. Entretanto, os polímeros sintéticos utilizados não são biodegradáveis e acumulam-se no solo, causando malefícios, tanto para as próximas safras, quanto para corpos d’água. Assim, sistemas de liberação devem adotar materiais biodegradáveis, facilmente incorporáveis ao solo e, preferencialmente, aptos a retenção de quantidades elevadas da fonte do nutriente de interesse, minimizando os custos (Bortolin, 2014).

Um material possível de ser utilizado é a celulose, que tem sido objeto de inúmeros estudos por ser além de biodegradável, renovável e de baixo custo, sendo também o material natural mais abundante do reino vegetal. Por ser um país tropical, o Brasil tem grande vantagem climática, propícia à produção de celulose, como a celulose do bagaço de cana-de-açúcar, como matéria-prima abundante, apesar da projeção de redução de 1% na safra 2022-2023 (CONAB, 2022). Uma desvantagem da celulose *in natura* é que ela não é solúvel em solventes orgânicos, devido às interações fortes das ligações de hidrogênio entre moléculas. A solução deste problema está na reação dos grupos hidroxilas presentes nas cadeias de celulose, com produtos químicos como anidridos derivados de ácidos orgânicos (ácido acético e ácido butírico, por exemplo) ou ácidos inorgânicos

(como ácido nítrico) o que facilitar a esterificação catalisada por ácido. Formam ésteres de celulose (acetato de celulose, butirato de celulose, nitrocelulose) com ácido sulfúrico e seus grupos hidroxilas livres têm diferentes graus de substituição, de modo que a força intermolecular entre cadeias é enfraquecida e a celulose pode ser dissolvida em acetona, outros compostos orgânicos solventes, como dimetilformamida (Senna, 2011).

Mediante os problemas e desafios apresentados, este projeto visa desenvolver um substrato à base de celulose, extraído do bagaço de cana-de-açúcar modificada, quimicamente, para promover a ancoragem de substâncias na retenção e liberação aprimorada de nutrientes agrícolas no solo, além de favorecer a retenção de água. Na otimização desse processo, serão avaliados parâmetros como granulometria do bagaço de cana, caracterização da celulose obtida, entre outras análises, que auxiliarão na obtenção de melhores resultados.

6 CONCLUSÃO

Os efeitos da mercerização, por meio de tratamento da celulose do bagaço de cana-de-açúcar com NaOH foram satisfatórios, resultando em 61,14% como de perda de massa, motivada por solubilização da hemicelulose, da lignina e outros carboidratos (polioses). As análises por difratometria de raios X comprovaram a conversão da celulose I em celulose II pela mercerização, bem como a redução da cristalinidade no BCT2 em relação ao BCp e pela comparação das análises por FTIR comprovou-se a degradação da lignina e hemicelulose, conforme esperado.

A síntese do dianidrido de EDTA, alcançou uma concentração de 96,59% com um valor de concentração bastante satisfatório, permitindo maior eficiência nas demais etapas do processo. A espectroscopia de infravermelho validou a formação de EDTAD, confirmado pela presença da banda de estiramento assimétrico de grupos carbonila de anidrido de ácido carboxílico em 1823 cm^{-1} e banda de estiramento simétrico de grupos carbonila em 1785 cm^{-1}.

Nos estudos de cinética e proporção de reagentes do BCT2 com o EDTAD, as melhores condições encontradas pelo ganho de massa foi o tempo de 24h, com a proporção de 1 parte de celulose para 3 de EDTAD, que foi a utilizada na esterificação do BCT2 com o EDTAD e, posterior inserção do NPK, com ganho de massa de 31, 26 e 85%, respectivamente. O valor mais alto encontrado como ganho de massa do CEDTA, pode ser atribuído à elevada absorção de umidade após secagem.

A análise termogravimétrica teve como principal objetivo descrever o comportamento térmico do BCp, BCT2 e $CEDTA_{NPK}$ destacando os estágios de perda de massa de seus componentes. As curvas de DSC e TGA mostram que o BCT2 tem maior resistência térmica comparado ao BCp e no $CEDTA_{NPK}$ essa resistência diminui, comprovando que a esterificação foi bem-sucedida.

A inserção dos fertilizantes na matriz celulósica foi comprovada pela técnica de FTIR onde forram identificadas bandas características de o NH_4^+ e do $H_2PO_4^-$ e K^+ esse último também identificado por difratometria de raios X. A presença dos nutrientes NPK no fertilizante sintetizado foi comprovada pelas análises químicas, encontrando valores de 2,3%, 2,7% e 5,9%, respectivamente, sendo resultado satisfatório, atribuído à melhora na incorporação de dianidrido de EDTA à celulose tratada.

Quanto ao substrato sintetizado à base de celulose extraída do bagaço-de-cana na liberação lenta de nutrientes ($CEDTA_{NPK}$), esse enquadrou-se dentro dos parâmetros de taxa de liberação de 15% de seus nutrientes em 24h e de até 75% em até 30 dias. Considera-se que os resultados obtidos são positivos, uma vez que a modificação do bagaço de cana como substrato para fertilizante de liberação aprimorada foi eficiente e o produto sintetizado, teve a capacidade de complexar os nutrientes adicionados e liberá-los lentamente em solo e água de lixiviação, principalmente, quando comparados aos resultados do fertilizante comercial. Os dados gerados nesta pesquisa servirão de suporte ao aprimoramento de estudos e melhora do material sintetizado.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, S. A. **Modificação superficial de polpa de celulose para melhoria de durabilidade de fibrocimentos**. 2018. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais). Orientadora: Lívia Elisabeth Vasconcellos de Siqueira Brandão Vaz. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

ALVES, E. D. *et a*l. Estudo do processo de obtenção celulose Kraft com ênfase no forno de cal. **Revista Liberato**. v. 16, n. 26, p. 101-220. Novo Hamburgo, 2015.

AMBJÖRNSSON, H. A.; SCHENZEL, K.; GERMGÅRD, U. Carboxymethyl cellulose produced at different mercerization conditions and characterized by nir ft raman spectroscopy in combination with multivariate analytical methods. **BioResources**, v. 8, n. 2, p. 1918–1932, 2013.

AOUADA, F. A.; MATTOSO, L. H. C. Hidrogéis biodegradáveis: uma opção na aplicação como veículos carreadores de sistemas de liberação controlada de pesticidas. São Carlos, **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, 2009.

ARANTES, T. M. **Nanocompósitos Biocompatíveis de Poliuretana Com Hidroxiapatita e Nanocelulose.** Orientador: Luciano Morais Lião. 2018. 162 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia e Biodiversidade) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/8466. Acesso em: 04 jun. 2022

ARANTES, V. Nanocelluloses From Sugarcane Biomass. In: ARANTES, Valdeir; PEREIRA, B. Advances in Sugarcane Biorefinery. São Paulo: **ResearchGate**. 2018. p. (179) -(196).

ASS B. A. P., BELGACEM M. N., FROLLINI E., 2006. Mercerized linters cellulose: characterization and acetylation in N,N-dimethylacetamide/lithium chloride. **Carbohydrate Polymers** 63: 19-29.

ASS, B. A. P.; BELGACEM M. N.; Frollini E. Mercerized linters cellulose: characterization and acetylation in N,N-dimethylacetamide/lithium chloride. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n.1, p19-29, Janeiro 2006a

ASS, B. A. P.; Ciacco, G. T.; Frollini E. Cellulose acetates from linters and sisal: Correlation between synthesis conditions in DMAc/LiCl and product properties. **Bioresource Technolonology**, v. 97, n.14, p. 1696-1702, setembro 2006b

AZEEM, B. *et al.* Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, v. 181, n. 1, p. 11-21, May 2014

BAUDEL, H. M., ZAROR, C., ABREU, C. A. M. de. Improving the value of sugarcane bagasse wastes via integrated chemical production systems: na environmentally friendly approach. **Industrial cropos and products**, 21, p. 309-314, 2005

BERNABÉ, G. A. **Extração e identificação de materiais lignocelulósico presentes durante o processo de compostagem**. Orientador: Clóvis Augusto Ribeiro. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

BOLUK, Y., Acid-base interactions and swelling of cellulose fibers in organic liquids. **Cellulose**, v.12 p.577-593, 2005.

BORTOLIN, A. **Desenvolvimento de nanocompósitos baseados em hidrogéis aplicados à liberação de nutrientes agrícolas.** Orientador: Cauê Ribeiro de Oliveira. São Carlos: UFSCAR. Dissertação de mestrado. 2014.

BOUDET, A. M.; KAJITA, S.; GRIMA-PETTENATI, J.; E GOFFNER D. - Lignins and lignocellulosics: a better control of synthesis for new and improved uses. **Trends in Plant Science** Vol.8 No.12 – (2003)

BRASIL, **Decreto Nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004**. Normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura.

BRASIL, **Instrução normativa n.25 de julho de 2009**. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados a agricultura. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, 28 jul. 2009. Seção 1, p. 1-18. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-25-de-23-7-2009-fertilizantes-organicos.pdf/view. Acesso em: 24 set. 2022.

BRASIL, **Instrução normativa n.39 de agosto de 2018**. Regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, 08 ago. **2018**. Seção 1, p. 1-49.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/ SDA/CGAL**, 2014**. 220 p.

CARASCHI, J. C.; CAMPANA FILHO S. P.; CURVELO, A. A. S. Preparação e caracterização de polpas para dissolução obtidas a partir de bagaço de cana-de-açúcar. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 24-29, 1996. Disponível em: https://www.revistapolimeros.org.br/article/5883713e7f8c9d0a0c8b47d6. Acesso em: 8 set. 2023.

CASARIN, V.; STIPP, S. R. Manejo 4C: quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. **Informações Agronômicas**, v. 142, p. 14-20, 2013. Disponível em:https://www.npct.com.br/publication/ia-brasil.nsf/F3E4A9724CFDED4083257B9D00671AB9/$File/Page14-20-142.pdf. Acesso em: 30 set. 2022.

CASTRO, A. M.; PEREIRA JUNIOR, N. Produção, propriedades e aplicação de celulases na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2010.

CHAITANYA, Saurabh; SINGH, Inderdeep. Sisal fiber-reinforced green composites: effect of ecofriendly fiber treatment. **Polymer Composites**. Wiley Online Library, 2017.

CHANDRA, RUSTGI; RUSTGI, Renu. Biodegradable polymers. **Progress in polymer science**, v. 23, n. 7, p. 1273-1335, 1998.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, Brasília, DF, v. 8, n. 1, maio 2021. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 6 jun. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar - 2022/2023, Brasília, DF, v. 9, n. 2, agosto 2022. E-book_Boletim-de-Safra-Cana-2o-lev-2022-compactado (3).pdf. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar- 2012/2022, Brasília, DF, v. 8, n. 4 abril 2022. - book_BoletimZdeZSafrasZcana_4ZlevZ2021Z22.pdf. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar -2020/2021. – v.1, n.1 (2013) – Brasília. CanaZ4oZlevantamentoZ2020Z21.pdf. Disponível em: http://www.conab.gov.br. Acesso em: 10 jun. 2022.

CONTIERI, G.A. **Compósitos a base de quitosana e fibras de celulose como um potencial sistema para liberação controlada de fertilizantes.** 2021 Monografia **(**Trabalho de conclusão de curso de Licenciatura em química)**.** Universidade Federal de São Carlos, Araras. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/14514/Monografia_Gabriela%20Aparecida%20Contieri.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 8 set. 2023.

COSTA, L. M.; SILVA, M. F. O.; **A indústria química e o setor de fertilizantes**. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2025/1/A%20ind%C3%BAstria%20qu%C3%ADmica%20e%20o%20setor%20de%20fertilizantes_P_A.pdf. Acesso em: 9 jul. 2022.

D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel, vol I: Tecnologia de fabricação de pastas celulósicas**. 1ªEd. SENAI e IPT, São Paulo, 1981.

DAMASIO, R. A. P. **Caracterização e aplicações de celuloses nanofibrilada (CNF) e nanocristalina (CNC).** Orientador: Jorge Luiz Colodette. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/6239/1/texto%20completo.pdf. Acesso em: 20 ago. 2022.

DAMÁSIO, R. A. P. *et al.* Interação de nanocristais de celulose com o adesivo ureiaformaldeído em juntas coladas de Eucalyptus sp. **Sci. For.**, v. 45, n. 113, p. 169-176, mar. 2017.

DE VRIESA, J. W.; GROENESTEINA, C. M. & DE BOERB, I. J. M. "Environmental consequences of processing manure to produce mineral fertilizer and bio-energy" **J. Environ. Manage**., 102: 173, 2012.

Do CARMO, J. B et. al. Nitrogen dynamics during till and no-till pasture restoration sequences in Rondônia, Brazil. Nutr. Cycl. Agroecosyst. v. 71 (3), 213-225, 2005

DUARTE, L. C., *et al.* (2003). Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas: exemplos brasileiros. **Pesquisas em Geociências**, 30(2), 3-15.

DUFRESNE, A. Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. **Materials Today** Volume 16, Number 6, June 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/search?qs=.%20Nanocellulose%3A%20a%20new%20ageless%20bionanomaterial. Acesso em: 20 fev. 2023.

FARIAS, P. I. V.; FREIRE, E.; CUNHA, A. L. C.; POLIDORO, J. C.; ANTUNES, A. M. S. Input assurance for Brazilian food production. **Fertilizer Focus**, v. 38, n. 1, p. 52-54, Jan./Feb. 2021.

FERNANDES, R. S. **Síntese e caracterização de hidrogéis nanoestruturados contendo argila e zeólita com potencialidade de aplicação em sistemas de liberação controlada de fármacos.** Orientador: Dr. Fauze Ahmad Aouada. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2016.

FERREIRA, Bruno Christiano Silva. **Desenvolvimento de novos materiais lignocelulosicos e quitinosos com potencial aplicação em química ambiental**. Orientadora: Rossimiriam Pereira de Freitas. 2015. 159 f. Tese (Doutorado em ciência – Química). Instituto de ciências exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas gerais,2015.

FINK, *et al.*, (1992). Structure of native cellulose microcrystals. **Journal of Polymer Science** Part B: Polymer Physics, 30(2), 173-178. Doi: https://doi.org/10.1002/polb.1992.090300209. Acesso em: 20 fev. 2023.

FRANCO, T. S. *et al.* Influência de tratamentos químicos no perfil de carboidratos de bainhas externas de pupunha (Bactris gasipaes) visando produção de nanocelulose. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 25., 2016, Gramado. **Anais.** Gramado: Editora FAURGS, 2016. p. 1-6.

GARCIA, J. A. F. **Síntese e caracterização de novos bionanocompósitos híbridos constituídos por polissacarídeo carboximetilcelulose e nonoargila com possível aplicação para remoção ou liberação controlada de defensivo agrícola paraquat.** Dissertação de mestrado. Orientador: Fauze Ahamad Auada. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Ciências e Engenharia de Materiais, Ilha Solteira, 2018.

GARCIA, S. M. S.- **Desenvolvimento e caracterização de hidrogel de quitosana aditivado com óxido de zinco e óleo essencial de schinus terebenthifolius raddi (pimenta rosa).** – 2018. 117 f.: fig., tab.

GEBRIN, V. M. G.; CARVALHO, A. A. de; DORI, D. J. L.; OLIVEIRA, R. P. A.; DALBÓ, V.; FREIRE, J. T.; FREIRE, F. B. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar para fins energéticos. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Química – **COBEQ. FAURGS**, Gramado – RS, 2021.

GURGEL, L. V. A., **Mercerização e modificação química de celulose e bagaço de cana-de-açúcar com anidrido succínico e trietilenotetramina: preparação de novos materiais quelantes para adsorção de Pb(II), Cd(II), Cr(VI) e Cu(II).** Orientador: Laurent Frédéric Gil. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos-PROÁGUA, Mestrado em Engenharia Ambiental, 2007.

HAGHIGHI, M.H.S. *et al.* Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. **Renewable and Sustainable: Energy Reviews**. V.27, n.7, p.77-93 ,2013.

HANIFFA *et al*., 2016. "Review of Bionanocomposite Coating Films and Their Applications" ***Polymers*** **8**, no. 7: 246. https://doi.org/10.3390/polym8070246. Acesso em 18 mar. 2023.

HOPKINS, W. G. & HÜNER, N. P. A. **Plants and inorganic nutrients**. In: HOPKINS, W. G. & HÜNER, N. P. A. Introduction to plant physiology. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2009. p. 61-73. 4 ed.

JESUS, F. L. T**. Estudo comparativo do tratamento alcalino da fibra de sisal com diferentes reagentes químicos.** Trabalho de Conclusão de Curso no curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

JIA, Z., SUN, Y., WANG, S., FAN, X., YU, H., WANG, H., LI, L., JIANG, E., WU, C., & XU, X. (2022). Hydrothermal and photocatalytic synergistic pretreatment to improve the full utilization of corn stalk. **Bioresource Technology,** 363. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127989

KARNITZ JÚNIOR, O. **Modificação química do bagaço de cana e celulose usando anidrido do EDTA: uso destes materiais na adsorção de metais pesados em solução aquosa.** Orientador: Laurent Frédéric Gil. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

KIM, I. S. *et al.* Novel regenerated cellulosic material prepared by na environmentally friendly process. **Polymer**, 47, p. 1333-1339, 2006.

KUMAR, P.; BARRETT, D.M.; DELWICHE, M.J.; STROEVE, P. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. **Industrial & Engineering Chemistry Research,** v.48, p.3713–3729, 2009.

LAWRIE, G. *et al.* Interactions between alginate and chitosan biopolymers characterized using FTIR and XPS. **Biomacromolecules**, v 8, p. 2.533-2541, 2007

LIMA, M. M. S., BORSALI, R. (2004). Rodlike celulose Microcrystals: Structure, Properties, and Applications. **Macromol. Rapid Comm**., 25, 771-787.

LIMA, S. X. **Extração da celulose da casca da banana prata (M. spp) por um método verde e avaliação da influência de água na estrutura molecular da celulose**. Orientador: Edgar Aparecido Sanches. 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Amazonas, Manaus. Disponível em: https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/6884. Acesso em: 02 fev. 2023.

LIMA, V. H. de. **Obtenção de nanocelulose via hidrólise ácida a partir do resíduo de bagaço de malte da produção de cerveja**. Orientador: Aparecido Júnior de Menezes. 2016. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/8799/LIMA_Vitor_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 out. 2022.

LOPEZ, R. *et al*. Alkaline surface modification of sugar cane bagasse. **Adv. Composite Master 9,** n°2, p 99-108, 2000.

LYND, R. L.: VAN ZYL, W. H.; MacBRIDE, J.E.; LASER, M. Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. **Current Optinion in Biotechnology**, v.16, p.577-583, 2005

MAIA, A.A.B., **Síntese da zeólita A utilizando como precursor um rejeito de beneficiamento de caulim da Amazônia: aplicação como adsorvente.** Dissertação (Mestrado) Eng. Quimica. Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; CARVALHO, J.G.; LACERDA, M.P.C; MOTA, P.E.F. Crescimento inicial do paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p.184-195, 2004.

MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. et al. Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos. Pesquisa em andamento. **EMBRAPA. n. 3**, p.1-4. São Carlos, 1996. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/27111/1/PA0396.pdf. Acesso em: 24 set. 2022.

MENDHAM, D.S.; O'CONNELL, A.M. & GROVE, T.S. Organic matter characteristics under native forest, long-term pasture, and recent conversion to eucalyptus plantations in Western Australia: Microbial biomass, soil respiration, and permanganate oxidation. Aust. **J. Soil Sci**., 40:859- 872, 2002

MESSA, L. L.; **Desenvolvimento de fertilizantes de eficiência aprimorada: uso de biopolímeros como matrizes para liberação de nutrientes**. Orientadora: Roselena Faez. 2022, 140 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2022.

MESSA, L.L.; FAEZ, R. Spray-dryed chitosan/nanocellulose microparticles: synergistic effects for the sustained release of NPK fertilizer. **Cellulose,** v.2, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10570-020-03482-2. Acesso em: 24 set. 2022.

MILLER, R.B. **Struture of Wood in Wood handbook – Wood as na engineering materia**l,1ªEd. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, p. 2-1 -2-4,1999.

MISHRA, R. K.; SABU, A.; TIWARI, S. K. Materials chemistry, and the futurist ecofriendly applications of nanocellulose: status and prospect. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 22, n. 8, p. 949–978, 2018.

MORADI, F *et al*, Improvement of acetone, butanol and ethanol production from rice straw by acid and alkaline pretreatments. **Journal papers** v.8, n.3, p.112, 2013.

MORGADO, D. L. **Biocompósitos a partir de linter: Filmes de acetato de celulose/celulose e quitosana/celulose**. Orientadora: Elisabete Frollini. 2009. 290 folhas. Tese (Doutorado em ciências (Físico-Química). IQSC/USP, 2009.

MORGENSTERN, B.; KAMMER, H.W. On the particule structure of cellolose solutions. **Polymer,** v.40, p. 1299-1304, 1999.

NAZ, M. Y.; SULAIMAN, S. A. Slow release coating remedy for nitrogen loss from conventional urea: a review. **Journal Of Controllled Release**, v. 225, p. 109- 120, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168365916300256?via%3Dihub. Acesso em: 14 nov. 2022.

NOGUEIRA *et al*. A new N-collagen PK-fertilizer with slow-liberation, **Journal Hazard Materials**. v. 176 (1-3), 374-380, 2010.

NORTHOLT, M.G., BOERSTOEL, H., MAATMAN, H., HUISMAN, R., VEURINK, J., ELZERMAN, H. The structure and properties of cellulose fibres spun from an anisotropic phosphoric acid solution. **Polyme**r, v.42, n.19, p.8249-8264, 2001.

O'Connell D. W., Birkinshaw. C. e O'Dwyer T. F. (2008); Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review; **Bioresource Technology**; 99; p. 6709–6724

OLIVEIRA, V. **Síntese e caracterização de géis de acetato de celulose utilizando o dianidrido do ácido 1,2,4,5 benzenotetracarboxilico e o dianidrido da 3,3' ,4,4' benzofenona tetracarboxílico como agente reticulante**. Orientador: Vagner Roberto Botaro. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais_ Rede Temática em Engenharia de Materiais (REDEMAT). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

PACHECO, L. R. E. **Obtenção e caracterização de uma matriz polimérica a base de alginato com diferentes agentes reticulantes.** Orientador: Raúl Ernesto López Palacio. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2016.

PACHECO, T. F. Produção de Etanol: primeira ou segunda geração? **EMBRAPA** Disponível em: https://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/artigos/2011/producao-de-etanol-primeira-ou-segunda-geracao

PEREIRA, F. V.; GURGEL, L. V. A.; GIL, L. F. Removal of Zn2+ from aqueous single metal solutions and electroplating wastewater with wood sawdust and sugarcane bagasse modified with EDTA dianhydride (EDTAD). **Journal Hazardous Materials**. v.2, n.4, P. 176, 2010.

PHILIPPINI, R. R. **Variedades híbridas de bagaço de cana-de-açúcar: caracterização química e hidrólise enzimática em condições de pré-tratamento diferenciadas.** (Dissertação de Mestrado) - Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de Lorena (EEL), 2012.

REDDY, Y. N., KIRAR, S., THAKUR, N. S., PATIL, M. D., & BHAUMIK, J. (2023). Sunlight Assisted Photocatalytic Valorization of Lignin Using Recyclable Light Harvesters. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, 11(12), 4568–4579. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c05917

REETZ, H. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. Tradutor: Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

RESEARCH AND MARKETS. Global controlled release fertilizer market - growth, trends and forecasts 2017 – 2022. **Report**, June 2017.

SCIVITTARO W. B. *et al* Manejo da adubação nitrogenada para o arroz irrigado por aspersão. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 26 p. (**Embrapa Clima Temperado**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 1678- 2518, 177)

SEMPEHO S. I. *et al*. Meticuloues overview on the controlled release fertilizers. **Advances in Chemistry**, v. 2014, p. 1-16, Aug. 2014

SENNA, A. M. - **Síntese, caraterização e aplicação de hidrogel derivado de acetato de celulose e etilenodiaminotetracético (EDTA) como substrato de liberação controlada de fertilizantes NPK e retenção de água em solo.** Orientador: Vagner Roberto Botaro.

Tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto. Rede Temática em Engenharia de Materiais. Minas Gerais, 2015.

SENNA, A.M. - **Géis de acetato de celulose reticulados: Síntese, caracterização e estudo de adsorção de íons Cu+2. 2011**. Orientador: Orientador: Vagner Roberto Botaro. 84 f. Dissertação (Mestre em Ciências dos Materiais). Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2011.

SHARMA, S., KUMAR, S., ARUMUGAM, S. M., & ELUMALAI, S. (2020). Promising photocatalytic degradation of lignin over carbon quantum dots decorated TiO2 nanocomposite in aqueous condition. **Applied Catalysis A: General**, 602. https://doi.org/10.1016/j.apcata.2020.117730

SILVA, D. J.; D'ALMEIDA, M. L. O. Nanocristais de celulose cellulose whiskers. **O Papel**, v. 70, n. 07, p. 34-52, jul. 2009.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** 2a edição. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. Epectrometric Identification of Organic Compounds. 7º ed. New Jersey: **John Wiley & Sons**, 2005, 502p.

SORNAS, J. J. **Influência do beneficiamento químico do algodão na obtenção e caracterização de nanocristais de celulose**. 2018. 61 f. TCC (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191441. Acesso em: 22 set. 2022

SOUZA, N. F. **Processos de obtenção de nanocelulose a partir das fibras da prensagem do mesocarpo do dendê.** 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Orientadora: Morsyleide de Freitas Rosa – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/10789. Acesso em: 08 mar. 2023.

SOUZA, T. S. *et al.* Influência de tratamentos químicos no perfil de carboidratos de bainhas externas de pupunha (Bactris gasipaes) visando produção de nanocelulose. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 25., 2016, Gramado. **Anais.** Gramado: Editora FAURGS, 2016. p. 1-6.

SRISASIWIMON, N., CHUANGCHOTE, S., LAOSIRIPOJANA, N., & SAGAWA, T. (2018). TiO2/Lignin-Based Carbon Composited Photocatalysts for Enhanced Photocatalytic Conversion of Lignin to High Value Chemicals. **ACS Sustainable Chemistry and Engineering**, 6(11), 13968–13976. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b02353

STEPTO, R.F.T., Polymer networks principles of their formation structure and properties. Londres: **Blackie Academic & Professional**. 1998.

STRUIJS, J., BEUSEN, A., ZWART, D., HUIJBREGTS, M. Characterization factors for inland water eutrophication at the damage level in life cycle impact assessment**. Life cycle assessment**, v. 16, p. 59-64, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TAIZ, W. G. & HÜNER, N. P. A. **Plants and inorganic nutrients**. In: HOPKINS, W. G. & HÜNER, N. P. A. Introduction to plant physiology. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2009. p. 61-73. 4 ed.

TAKAHASHI, D. F. **Produção de etanol a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar empregando Escherichia coli recombinante**. 1997. Tese (Doutorado) Orientador: Flavio Alterthum – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

TALEBNIA, F.; KARAKASHEV, D.; ANGELIDAKI, I. Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. **Bioresource Technology**, v.101, p.4744–4753, 2010.

TRENKEL, M. Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture. 2nd ed. Paris: **International Fertilizer Industry Association**, 2010. 163 p.

United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S. **Fertilizantes de eficiência aprimorada**. Jaboticabal: Funep, 2017.

WU, C. Z. AND Q. **Nanocrystals - Synthesis, Characterization and Applications**. [s.l.] InTech, 2012.