

**RICARDO SUÁREZ MEJÍA**

**PLASTIFICANTES EM REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS DE ACETATO DE  
CELULOSE E O SEU EFEITO NA SOLUBILIDADE E NA VOLATILIDADE DE  
AMÔNIA EM UREIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti

Coorientadores: Allan Robledo Fialho e Moraes  
Edson Marcio Mattiello

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S939p  
2020

Suárez Mejía, Ricardo, 1994-

Plasticantes em revestimentos biodegradáveis de acetato de celulose e o seu efeito na solubilidade e na volatilidade de amônia em ureia / Ricardo Suárez Mejía. – Viçosa, MG, 2020.  
36 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 28-31.

1. Fertilizantes de liberação lenta. 2. Polímeros - Biodegradação. 3. Polietilenoglicol. 4. Triacetina. 5. Ftaltos.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.  
II. Título.

CDD 22. ed. 631.8

**RICARDO SUÁREZ MEJÍA**

**PLASTIFICANTES EM REVESTIMENTOS BIODEGRADÁVEIS DE ACETATO DE  
CELULOSE E O SEU EFEITO NA SOLUBILIDADE E NA VOLATILIDADE DE  
AMÔNIA EM UREIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

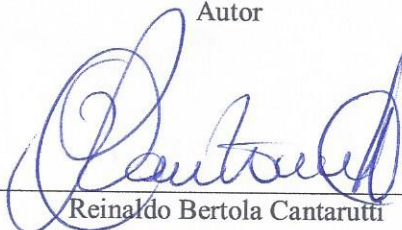
APROVADA: 09 de março de 2020.

Assentimento:



---

Ricardo Suárez Mejía  
Autor



---

Reinaldo Bertola Cantarutti  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por iluminar meu caminho para alcançar os meus sonhos.

Aos meus pais Ricardo Antonio Suárez Castedo e Mónica Mejía Molina pelo sacrifício e confiança que depositaram em mim.

Aos meus irmãos, Paul e Walter pelo apoio incondicional.

Às minhas avós, Elda Castedo e Mabi Molina pelas orações e apoio espiritual.

À reverendíssima irmã Yolanda Castedo (In memoriam), por sempre ter acompanhando minha formação.

A todos os meus familiares e amigos, que sempre estiveram ao meu lado.

Ao meu orientador, professor Reinaldo Bertola Cantarutti pela transmissão de conhecimentos, apoio e amizade.

Aos meu coorientadores, professores Allan Robledo Fialho e Moraes e Edson Marcio Mattiello por toda a ajuda.

Aos membros que participaram da banca de defesa, professoras Deusanilde de Jesus Silva, Isabela Cristina Filardi Vasques e Valeria Santos Cavalcante pelas contribuições.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Finalmente, a todas as pessoas que direta e indiretamente contribuíram para a obtenção dessa conquista.

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

## RESUMO

MEJÍA, Ricardo Suárez, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2020. **Plastificantes em revestimentos biodegradáveis de acetato de celulose e o seu efeito na solubilidade e na volatilidade de amônia em ureia.** Orientador: Reinaldo Bertola Cantarutti. Coorientadores: Allan Robledo Fialho e Moraes e Edson Marcio Mattiello.

O revestimento dos grânulos da ureia com polímeros é uma estratégia tecnológica para controlar a sua solubilização e reduzir a volatilização da  $\text{NH}_3$ . Assim, um polímero natural, abundante e biodegradável como o acetato de celulose (AcC) pode ser uma alternativa interessante. A incorporação de plastificantes poderá, ainda, aumentar a eficácia deste revestimento. Portanto, neste trabalho apresentam-se os resultados da eficácia do revestimento da ureia com AcC sem plastificante (U\_AcC) e com os plastificantes: polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), triacetina (U\_AcC\_Trtr), dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e com plastificante comercial não identificado (U\_AcC\_P). Tomaram-se como referências a ureia revestida com polímero sintético da Kimberlit® com nome comercial Kimcoat-N (KMC) e a ureia granulada sem revestimento (U). Para o revestimento os grânulos de ureia foram imersos em formulações filmogênicas (ff) de AcC solubilizado em acetona com a adição, ou não dos plastificantes na proporção de 30 % (m/v) e, em seguida, foram rolados em placa de vidro para remoção do excesso de ff e secagem. Para avaliar a biodegradação foram produzidos filmes das ff. Avaliou a solubilização dos grânulos de ureia enterrados em solo umedecido contido em placas petri. Em cinco amostragens no intervalo de uma hora foram removidos grânulos e quantificada a ureia remanescente por método colorimétrico. Avaliou a  $\text{NH}_3$  volatilizada em um sistema fechado contendo solo umedecido, sobre o qual foram depositados os grânulos de ureia. A  $\text{NH}_3$  produzida foi carregada por um fluxo de ar e capturada em  $\text{H}_3\text{BO}_3$  20 g/L em doze amostragens no intervalo de 192 h e quantificada por titulação potenciométrica. Quantificou a volatilização total o pico de máxima volatilização ( $Nv_{\max}$ ) e o tempo em que ele ocorreu ( $Tv_{\max}$ ). A biodegradação dos filmes das ff de AcC adicionados ao solo umedecido foi avaliada pela produção do  $\text{CO}_2$  e capturado em solução de 0,5 mol/L de KOH, de acordo com a norma ASTM D 5988-18. A solubilização total da U\_AcC foi significativamente menor (38 %) do que a da U e apresentou menor solubilização do que a ureia KMC. As formulações U\_AcC\_Trtr, U\_AcC\_Def e U\_AcC\_P foram mais eficazes do que a U\_AcC, sendo que a U\_AcC\_Def e U\_AcC\_P reduziram a solubilização da ureia em 82 e 83 %, respectivamente. A U\_AcC apresentou volatilização total 10 % menor do que a U, mas os plastificantes não proporcionaram redução adicional significativa na volatilização de

NH<sub>3</sub>. No entanto, a U\_AcC\_P destacou por apresentar o menor N<sub>v<sub>max</sub></sub> e retardar o T<sub>v<sub>max</sub></sub> e a U\_AcC\_Def por apresentar a menor volatilização total. Os plastificantes aumentaram significativamente a biodegradação do AcC, sobretudo o dietil ftalato e o plastificante comercial não identificado. O dietil ftalato e o plastificante comercial não identificado têm potencial para ser empregado no revestimento da ureia com acetato de celulose para conferir-lhe características de liberação controlada.

Palavras-chave: Polietileno glycol. Triacetina. Dietil ftalato. Solubilização. Volatilização de NH<sub>3</sub>. Biodegradação. Ureia de liberação controlada.

## ABSTRACT

MEJÍA, Ricardo Suárez, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2020. **Plasticizers in biodegradable cellulose acetate coatings and their effect on solubility and volatility of ammonia in urea.** Adviser: Reinaldo Bertola Cantarutti. Co-Advisers: Allan Robledo Fialho and Moraes and Edson Marcio Mattiello.

The coating of urea granules with polymers is a technological strategy to control their solubilization and reduce the volatilization of  $\text{NH}_3$ . Thus a natural, abundant and biodegradable polymer such as cellulose acetate (AcC) can be an interesting alternative. The incorporation of plasticizers may also increase the effectiveness of this coating. Therefore, this work presents the results of the urea coating effectiveness with AcC without plasticizer (U\_AcC) and with polyethylene glycol plasticizers (U\_AcC\_Peg), triacetin (U\_AcC\_Trt), diethyl phthalate (U\_AcC\_Def) and with unidentified commercial plasticizer (U\_AcC\_P ). The synthetic polymer coated urea of Kimberlit® with commercial name Kimcoat -N (KMC) and granulated urea uncoated (U) were used as references. For the coating, the urea granules were immersed in filmogenic formulations (ff) of AcC solubilized in acetone with the addition, or not, of the plasticizers in the proportion of 30% (m / v), and then, the granules were rolled in glass to remove the excess of ff and be dried. To evaluate the biodegradation, ff films were produced. Evaluated the solubilization of urea granules buried in moist soil contained in petri dishes. In five samples within an hour, granules were removed and the remaining urea quantified by colorimetric method. It evaluated the volatilized  $\text{NH}_3$  in a closed system containing moist soil, on which the urea granules were deposited. The  $\text{NH}_3$  produced was carried by an air flow and captured in 20 g / L  $\text{H}_3\text{BO}_3$  in twelve samples in the 192 h interval and quantified by potentiometric titration. Total volatilization quantified the peak of maximum volatilization ( $N_{V_{\max}}$ ) and the time it occurred ( $T_{V_{\max}}$ ). The biodegradation of the AcC ff films added to moist soil was evaluated by the production of  $\text{CO}_2$  and captured in a 0.5 mol / L KOH solution, according to the ASTM D 5988-18 standard. The total solubilization of U\_AcC was significantly lower (38%) than that of U and showed less solubilization than urea KMC. The formulations U\_AcC\_Trt, U\_AcC\_Def and U\_AcC\_P were more effective than U\_AcC. The U\_AcC\_Def and U\_AcC\_P reduced the solubilization of urea by 82 and 83%, respectively. The U\_AcC showed total volatilization 10% lower than the U, but the plasticizers did not provide a significant additional reduction in the volatilization of  $\text{NH}_3$ . However, U\_AcC\_P stood out for having the lowest  $N_{V_{\max}}$  and delaying  $T_{V_{\max}}$  and U\_AcC\_Def for presenting the lowest total volatilization. Plasticizers significantly

increased the biodegradation of AcC, especially diethyl phthalate and the unidentified commercial plasticizer. Diethyl phthalate and the unidentified commercial plasticizer have the potential to be used to coat urea with cellulose acetate to give it controlled release characteristics.

Keywords: Polyethylene glycol. Triacetin. Diethyl phthalate. Solubilization.  $\text{NH}_3$  volatilization. Biodegradation. Controlled-release urea.



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	11
2.1. Acetato de celulose e plastificantes .....	11
2.2. Ureia revestida com acetato de celulose .....	11
2.3. Filmes de acetato de celulose .....	12
2.4. Dinâmica da solubilização da ureia .....	13
2.5. Dinâmica da volatilização de NH <sub>3</sub> da ureia.....	14
2.6. Dinâmica da biodegradação do acetato de celulose.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	17
3.1. Caracterização da ureia e dos revestimentos de acetato de celulose .....	17
3.2. Dinâmica da solubilização de ureia .....	18
3.3. Dinâmica da volatilização de NH <sub>3</sub> .....	21
3.4. Dinâmica da biodegradação do acetato de celulose.....	24
4. CONCLUSÕES .....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ANEXOS .....	32

## 1. INTRODUÇÃO

A ureia é o fertilizante sintético mais utilizado no mundo e a maior fonte externa de N para as plantas (Papangkorn et al., 2008). No entanto, a eficiência do seu uso está sujeita a sua rápida solubilidade, decorrente em reações químicas e biológicas no solo, responsáveis por perdas de N especialmente por volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>). As perdas por este mecanismo alcançam até 78 % do N em aplicações superficiais da ureia em condições desfavoráveis (Lara Cabezas et al., 1997), o que condiciona a sua eficiência de uso.

Uma alternativa para reduzir as perdas de N e melhorar a eficiência da ureia é mediante seu aprimoramento tecnológico por meio dos fertilizantes de liberação controlada (CRF) (Wu et al., 2008). A ureia de liberação controlada (CRU) é desenhada para liberar N em sincronia com as demandas nutricionais das plantas, reduzindo as perdas do nutriente ao meio ambiente e aumentando o seu aproveitamento (Trenkel, 2010; Azeem et al., 2014).

Estes fertilizantes são revestidos por uma membrana que controla o fluxo difusivo de liberação do nutriente solubilizado no interior, ao meio externo (González et al., 2015). Prioritariamente, os materiais utilizados como revestimentos devem ter ótimas propriedades de recobrimento, preço acessível e nenhum impacto negativo ao meio ambiente (ko et al., 1996).

Atualmente, os fertilizantes revestidos com polímeros é a mais sofisticada tecnologia em CRF (Timilsena et al., 2015; Chen & Wei, 2018). Com esse fim, fontes renováveis de materiais poliméricos oferecem uma grande alternativa de tecnologia sustentável, econômica e ambientalmente amigável (Ray, 2005).

No mundo, a produção de celulose representa cerca de 1,5 Mt da produção anual de biomassa, o que a torna a maior fonte de matéria prima de polímeros biodegradáveis (Klemm et al., 2005). Nos últimos anos, diferentes polímeros derivados da celulose tem sido utilizados em revestimentos para a produção de CRU, tais como: etil celulose (Fernández-Pérez et al., 2008; Costa et al., 2013), metil celulose (Bortolin et al., 2013) e acetato de celulose (Nuvunga, 2017).

Ainda pouco explorado na produção de CRU, o acetato de celulose (AcC) destaca-se por ser um polímero neutro com grande capacidade de formar filmes homogêneos a baixo custo (Cerqueira et al., 2010).

O AcC é obtido pela reação da celulosa com anidrido acético e ácido acético em presença de ácido sulfúrico (Fischer et al., 2008). Neste processo, acontece a substituição dos grupos de hidroxilas da unidade de glicose da celulosa, por grupos acetila (Senna et al., 2012),

que é representado pelo grau de substituição (GS), referente ao número meio de substituições que geralmente varia de 1 a 3.

O AcC mais usual tem GS 2,5, o qual, é solúvel em solventes comuns como acetona, dioxano e metil acetato (Fischer et al., 2008). Além disso, diferentes estudos indicam que o GS 2,5 é o limite para a condição da biodegradabilidade do AcC (Buchanan et al., 1996; Gross et al., 1995)

A aplicabilidade do AcC em revestimentos tem sido evidenciada na área farmacêutica na liberação controlada de escopolamina (Wang et al., 2002) e tetraciclina (Ruggiero et al., 2015). Na área agrícola, especificamente na liberação controlada de N, um estudo pioneiro desenvolvido por Nuvunga (2017) usando AcC no revestimento de ureia contendo inibidor da uréase N- (n-butil) triamida tiofosfórica (NBPT), evidenciou redução da volatilização de  $\text{NH}_3$  em até 75 %.

As propriedades dos revestimentos poliméricos podem ser influenciados pelo peso molecular do polímero, grau de substituição, processo e espessura do revestimento e pela adição de aditivos tais como plastificantes (Edgar et al., 2001).

Com frequência, plastificantes são incorporados para aumentar a flexibilidade e a dureza dos revestimentos. Além disso, tem sido evidenciado aumento nas taxas de biodegradação em polímeros como AcC quando foram adicionados os plastificantes: polietileno glicol (Peg) (Buchanan et al., 1996), triacetina (Trt) e dietil ftalato (Def) (Phuong et al., 2014).

Por sua vez, a incorporação de plastificantes podem alterar a permeabilidade afetando o fluxo difusivo a través do polímero (Okhamafe e York, 1989). Plastificantes hidrofílicos dissolvem facilmente em meio aquoso, afetando a dispersão do polímero e aumentando as taxas de difusão. Ao contrário, plastificantes hidrofóbicos permitem o fechamento efetivo de micro espaços no polímero, reduzindo as taxas de difusão (Vieira et al., 2011).

Embora não tenha sido explorado, estudar plastificantes com diferentes características de solubilidade como: Peg (solúvel), Def (pouco solúvel) e Trt (insolúvel) adicionados no AcC, poderia demonstrar a eficácia destes para aperfeiçoar ou não os revestimentos na ureia.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade do acetato de celulose sem ou com a adição dos plastificantes polietileno glicol, triacetina e dietil ftalato de imprimir à ureia características de fertilizante de liberação controlada.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Acetato de celulose e plastificantes**

Foram utilizados dois produtos de acetato de celulose (AcC) com grau de substituição (GS) 2,5, sendo um deles AcC formulado com plastificante comercial e o outro AcC sem plastificante. Foram utilizados os plastificantes líquidos: polietileno glicol 200 (Peg), triacetina (Trt), ou dietil ftalato (Def), todos eles fornecidos pela Sigma-Aldrich®.

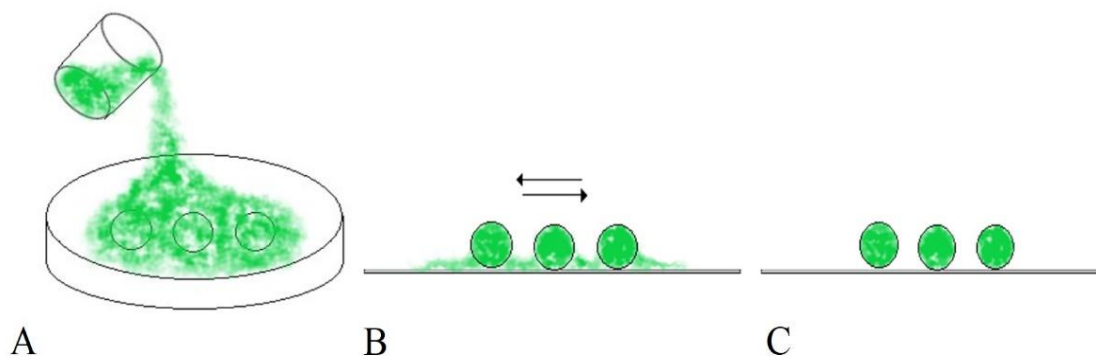
### **2.2. Ureia revestida com acetato de celulose**

Foi utilizada a ureia granulada fornecida pela Heringer Fertilizantes (U), que foi revestida com o polímero AcC sem plastificante (U\_AcC), com AcC com os plastificantes: polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), triacetina (U\_AcC\_Trtr), dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e com AcC formulado com plastificante comercial (U\_AcC\_P). Foi utilizada, ainda, a ureia revestida com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC) da Kimberlit.

Para o revestimento dos fertilizantes foram preparadas formulações filmogênicas (ff) a partir da mistura do AcC e acetona na proporção 1:5 (m/v), com e sem a adição de 30 % (m/v) dos plastificantes Peg, Trtr, ou Def. Adicionalmente, nas ff foram agregados 2 mL de corante anilina verde dissolvida em álcool etílico (10 mg/mL), para possibilitar uma avaliação visual da homogeneidade do revestimento dos grânulos de ureia. As ff foram mantidas em repouso durante 24 h a temperatura ambiente.

Subsequentemente, amostras de grânulos de ureia de aproximadamente 0,7 g com três repetições, com diâmetros entre 2,00 – 2,34 mm e com esfericidade perfeita, foram imersos em cada ff (Figura 1). Em seguida, os grânulos foram retirados, rolados sobre uma placa de vidro para remover o excesso da ff e mantidos sobre a placa para a evaporação do solvente até a completa secagem. O processo de imersão foi repetido três vezes após cada secagem, a fim de acrescentar uma maior espessura de revestimento. Ao final, as amostras foram pesadas e, pela diferença de peso estimou-se o ganho de massa na ureia revestida (Tabela 3).

Figura 1 – Grânulos de ureia imersos na formulação filmogênica (A), rolado para retirada do excesso em placa de vidro (B), secagem dos grânulos (C)



Fonte: Autor.

Amostras dos fertilizantes U e KMC foram submetidas a digestão sulfúrica na presença da liga Raney, com aquecimento em bloco digestor para a quantificação do teor de N (Tabela 3) pelo método Kjeldhal (MAPA, 2014). Os teores de N da ureia revestida com AcC (Tabela 3) foram estimados a partir do ganho de massa com o revestimento.

### 2.3. Filmes de acetato de celulose

Volumes das ff foram dispersados sobre a placa de vidro para a evaporação da acetona e a completa secagem. Após, foram obtidas amostras de aproximadamente 3 g de cada filme utilizado para o revestimento da ureia. Estas amostras foram caracterizadas pelos teores de C, H e N (Tabela 1) em analisador elementar Perkin Elmer modelo 2400 e utilizadas para avaliar a biodegradação do polímero.

Tabela 1 – Teores de C, H e N, por análise elementar dos filmes de revestimento de AcC e da amostra de celulose

Filmes de revestimento <sup>1</sup>	C	H	N
	-----%-----		
AcC	48,84	6,35	0,05
AcC_P	54,80	6,42	0,12
AcC_Peg	48,67	7,32	0,02
AcC_Trtr	50,25	6,40	0,04
AcC_Def	53,55	6,05	0,08
Celulose <sup>2</sup>	51,80	6,17	-

<sup>1</sup> Filme de acetato de celulose (AcC), filme de acetato de celulose com plastificante comercial (AcC\_P), filme de acetato de celulose com polietileno glicol (AcC\_Peg), filme de acetato de celulose com triacetina (AcC\_Trtr) e filme de acetato de celulose com dietil ftalato (AcC\_Def).

<sup>2</sup> Celulose de eucalipto fornecido pelo Laboratório de Papel e Celulose, do Departamento de Engenharia Florestal, da UFV.

Fonte: Autor.

## 2.4. Dinâmica da solubilização da ureia

A dinâmica de solubilização da ureia foi realizada em amostras de TFSA de um Argissolo Vermelho-Amarelo, que foi coletada nos 5 cm da superfície em uma área de pastagem. Utilizou-se este solo que, reconhecidamente, apresenta elevada atividade de urease (70 mg/kg h de N-ureia), de acordo com Guimarães et. al, (2016). A caracterização química e física é apresentada na seguinte tabela 2.

Tabela 2 – Características químicas e físicas do solo

pH <sup>1</sup>	P <sup>2</sup>	K <sup>2</sup>	Ca <sup>3</sup>	Mg <sup>3</sup>	H+Al <sup>4</sup>	C <sup>5</sup>	N <sup>6</sup>	MOS <sup>7</sup>	Argila <sup>8</sup>	CC <sup>9</sup>
	mg/dm <sup>3</sup>		-----cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup> -----			-----g/kg-----		kg/kg	m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>	
5,92	4,56	70	2,74	1,06	4,63	26	1,3	4,47	0,346	0,27

<sup>1</sup> Em água na relação 1:2,5

<sup>2</sup> Extraído em solução Mehlich-1

<sup>3</sup> Extraído em solução KCl 1 mol/L

<sup>4</sup> Extraído em solução de acetado de cálcio 0,5 mol/L pH 7

<sup>5</sup> Carbono orgânico, método Walkley-Black

<sup>6</sup> Digestão sulfúrica e dosagem pelo método Kejeldhal

<sup>7</sup> Materia orgânica do solo = C x 1,724

<sup>8</sup> Dispersão em agitação lenta e sedimentação

<sup>9</sup> Capacidade de Campo

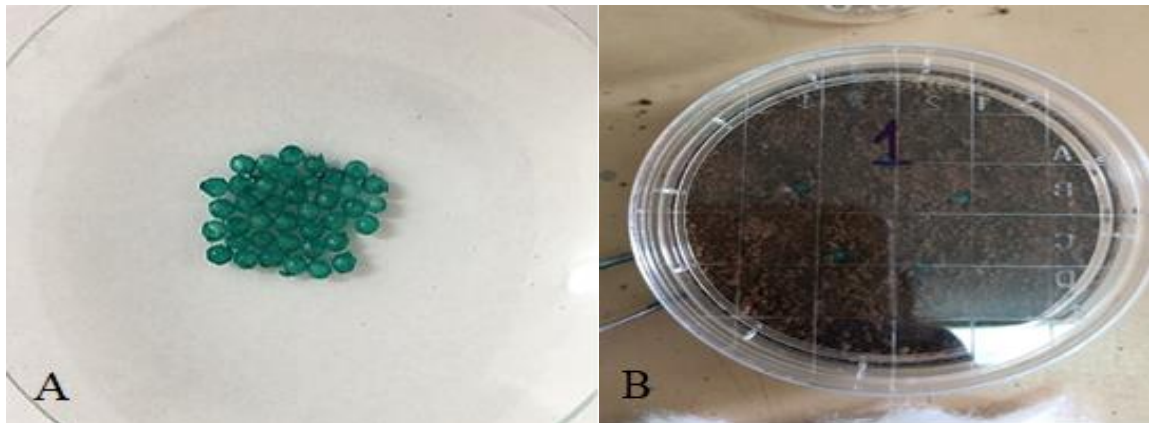
Fonte: Autor.

As dinâmicas da solubilização da ureia, foram avaliadas utilizando como unidade experimental placas petri contendo 20 cm<sup>3</sup> de solo umedecido a 80 % da capacidade de campo (cc). Amostras dos fertilizantes de aproximadamente 50 mg (5 grânulos), foram enterradas para favorecer o contato com o solo, a distância equidistante do centro da placa. As placas permaneceram vedadas à temperatura ambiente de 25 ± 2 °C durante o tempo de avaliação. Aos 10, 20, 30, 45 e 60 min após a aplicação, os grânulos dos fertilizantes foram retirados e rolados repetidas vezes sobre algodão para a remoção do solo e da umidade impregnados na superfície.

Posteriormente, os grânulos dos fertilizantes foram dissolvidos em água deionizada contendo 5 mg/L do inibidor de urease acetato de fenilmercúrio (PMA). O volume foi aferido para 100 mL em balões volumétricos, que, após agitação de 1 min permaneceram em repouso durante 24 h. Alíquotas de 0,1 mL foram extraídas para quantificar a ureia remanescente nas amostras, pelo método colorimétrico (Mulvaney e Bremner, 1979). A quantidade de ureia solubilizada expressa em valores relativos (cg/g) à massa de ureia aplicada, foi estimada em relação à quantidade inicial por amostra.

Os produtos avaliados corresponderam às cinco ureias revestidas com AcC (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr e U\_AcC\_Def), a U e a KMC. O experimento foi realizado com três repetições em momentos subsequentes, assim o delineamento experimental foi em blocos ao acaso. As quantidades de ureia solubilizada foram submetidas a análise de variância de acordo com a estrutura de medidas repetidas no tempo, considerando que os cinco tempos de coletas não puderam ser aleatorizados. As quantidades médias de ureia solubilizada foram comparadas por meio de contrastes e as variações nas quantidades de ureia solubilizada com o tempo foram expressas por meio de regressão. Todas as análises estatísticas foram desenvolvidas com o *software* Sisvar v5.7.

Figura 2 – Grânulos de ureia revestidos (A), e unidade experimental do sistema de solubilização de ureia em solo, com os fertilizantes enterrados e a placa vedada (B)



Fonte: Autor.

### 2.5. Dinâmica da volatilização de $\text{NH}_3$ da ureia

A dinâmica da volatilização da  $\text{NH}_3$  foi avaliada utilizando o mesmo solo empregado no experimento de solubilização da ureia. A volatilização foi avaliada em um sistema (Figura 2) constituído por câmaras de incubação de  $1 \text{ dm}^3$  (frascos de vidro) conectadas por uma mangueira de silicone a recipientes coletores de  $\text{NH}_3$  (erlenmeyer de 125 mL) contendo 40 mL de solução de captura de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  2 % com indicadores verde de bromocresol e vermelho de metila. O sistema recebe um fluxo de ar, previamente borbulhado em  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1 mol/L para a remoção de  $\text{NH}_3$  e em água deionizada para umedecimento. Na câmara de incubação foram colocados  $200 \text{ cm}^3$  de solo umedecido a 80 % da cc 24 h antes da aplicação dos fertilizantes. Grânulos dos fertilizantes, previamente pesados e com massa suficiente para suprir 100 mg de N, foram aplicadas superficialmente no solo nas câmaras de incubações. Na continuação o sistema foi fechado e imediatamente estabelecido o fluxo de ar,

dando início ao período experimental. Foram realizadas medições às 6, 12, 24, 36, 48, 60, 72, 96, 120, 144, 168 e 192 h desde o fechamento do sistema. Em cada medição os coletores de  $\text{NH}_3$  foram removidos e substituídos por outras unidades. A  $\text{NH}_3$  capturada foi indiretamente quantificada por titulação potenciométrica utilizando como titulante uma solução de  $\text{HCl}$  80 mmol/L até pH 4,80, sendo expressos em valores relativos de  $\text{N-NH}_3$  à massa de  $\text{N}$  aplicada (mg/g).

Foram avaliadas as cinco ureias revestidas com AcC (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trt e U\_AcC\_Def), a U, a KMC e a respiração basal do solo. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso com quatro repetições. As quantidades de  $\text{N-NH}_3$  volatilizada foram submetidas a análise de variância considerando as doze coletas como medidas repetitivas no tempo. As quantidades médias de  $\text{N-NH}_3$  volatilizada foram comparadas por meio de contrastes. Estes processamentos estatísticos foram feitos por meio do *software* Sisvar v5.7. As quantidades de  $\text{N-NH}_3$  volatilizado por coleta foram relacionadas com o tempo de amostragem por meio de regressões, que permitiram estimar a quantidade máxima volatilizada ( $\text{N}_{\text{Vmax}}$ ) e o tempo ( $\text{T}_{\text{Vmax}}$ ) em que ocorreu, utilizando o *software* Tablecurve 2D v5.01.02.

Figura 3 – Sistema para avaliar a volatilização da  $\text{NH}_3$



Fonte: Autor.



## 2.6. Dinâmica da biodegradação do acetato de celulose

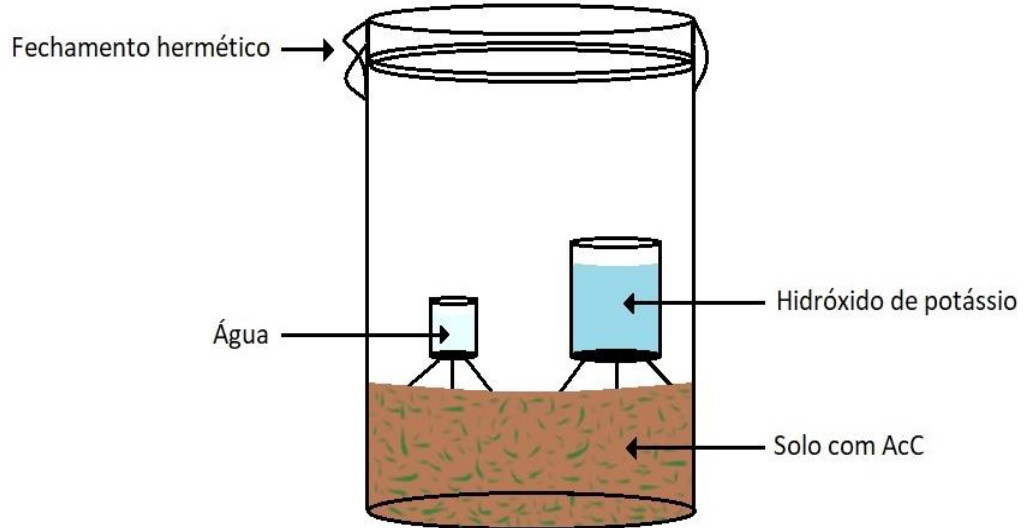
A biodegradabilidade dos filmes foi avaliada de acordo com o método ASTM D 59888-18 (ASTM International, 2018), para avaliar a biodegradação aeróbica de plásticos em solos, por meio da quantificação do CO<sub>2</sub> produzido.

O solo utilizado foi previamente descrito no experimento de solubilização. Às 24 h antes de iniciar o experimento o solo foi umedecido para atingir 80 % da cc, utilizando uma solução 1,3 g/L de fosfato de amônio (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Com isso, elevou-se o teor de N, o que possibilitou uma relação C:N estimada entre 10:1 e 20:1, conforme sugerida pelo método. As câmaras de incubação (unidades experimentais) foram recipientes de vidro com capacidade de 1 dm<sup>3</sup> contendo 100 cm<sup>3</sup> do solo. Amostras de aproximadamente 1 g dos filmes de revestimento em fragmentos de 10 a 50 mm<sup>2</sup> foram misturadas com o solo. Também foram montadas câmaras contendo respiração basal do solo. Para a captura de CO<sub>2</sub> produzido foi mantido dentro das câmaras sobre tripé, um béquer com capacidade de 50 mL, contendo 30 mL de solução 0,5 mol/L de KOH. Para manter a umidade no interior das câmaras foram mantidos sobre tripé, um béquer com 20 mL de água deionizada, cujo volume foi restituído a cada medição. As quantidades de CO<sub>2</sub> produzido foram medidas por titulação colorimétrica da solução de KOH, com a adição de BaCl<sub>2</sub>, e fenolftaleína como indicador, seguindo a metodologia descrita por Mendonça & Matos (2017). As câmaras permaneceram completamente vedadas a temperatura ambiente de 25 ± 2 °C. Foram realizadas medições do CO<sub>2</sub> evoluído aos 3, 6, 9, 12, 20, 28, 44 e 60 d, após o fechamento das câmaras. A cada coleta, as câmaras permaneceram abertas por 15 min antes da colocação dos novos coletores de CO<sub>2</sub> e prévio ao fechamento das câmaras. A biodegradação, expressa em (%) de C-CO<sub>2</sub> foi calculada pela fórmula (1):

$$\text{Biodegradação (\%)} = \frac{(\text{C-CO}_2)_{\text{solo+filme}} - (\text{C-CO}_2)_{\text{solo}}}{C_{\text{filme}}} \times 100 \quad (1)$$

em que: (C-CO<sub>2</sub>)<sub>solo + filme</sub> e (C-CO<sub>2</sub>)<sub>solo</sub> são as quantidade de C-CO<sub>2</sub> evoluída do solo com adição dos filmes e do C-CO<sub>2</sub> apenas do solo, respectivamente, e C<sub>filme</sub> a quantidade de carbono adicionada pelos filmes de AcC.

Figura 4 – Esquema do respirômetro utilizado na avaliação da biodegradação, de acordo com o método ASTM D 59888-18



Fonte: Autor.

Foram avaliados os cinco filmes de revestimento (AcC, AcC\_P, AcC\_Peg, AcC\_Trt e AcC\_Def) e celulose de eucalipto, como material de referência. O delineamento experimental foi delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As porcentagens de biodegradação foram submetidas a análise de variância considerando as oito coletas como medidas repetitivas no tempo, utilizando o *software* Sisvar v5.7. As porcentagens de biodegradação por coleta foram relacionadas com o tempo de amostragem por meio de regressão no *software* Tablecurve 2D v5.01.02.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização da ureia e dos revestimentos de acetato de celulose

Os ganhos de massa na ureia com os revestimentos de AcC encontraram-se na faixa de 17,35 e 18,45%, e os teores de N entre 370,9 e 380,2 g/kg, valores referentes aos extremos (U\_AcC\_Trt e U\_AcC\_Peg), respectivamente. Evidenciou-se por meio de teste de médias que não houve diferenças significativas entre os ganhos de massa da ureia com os revestimentos de AcC (Tabela 3).

Tabela 3 – Teor de N na ureia sem e com revestimento do polímero AcC, sem e com adição de plastificantes, com respectivos ganhos de massa devido ao revestimento

Fertilizante <sup>1</sup>	Teor de N	Ganho de massa
	g/kg	%
U	449,0	-
U_AcC	379,2	18,38 ± 0,65 A <sup>2</sup>
U_AcC_P	379,6	18,26 ± 0,51 A
U_AcC_Peg	370,9	18,45 ± 0,48 A
U_AcC_Trtr	380,2	17,35 ± 0,40 A
U_AcC_Def	380,0	17,89 ± 0,88 A
KMC	420,0	-

<sup>1</sup> Ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trtr), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia de com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC).

<sup>2</sup> Letras diferentes indicam diferença no ganho de massa pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Autor.

### 3.2. Dinâmica da solubilização de ureia

A ureia com polímero sintético KMC apresentou solubilização semelhante à da U (Tabela 4, contraste C<sub>1</sub>), demonstrando que o polímero empregado no revestimento não foi eficaz para reduzir a solubilização da ureia.

A ureia revestida com o AcC sem ou com plastificantes apresentou, em média, menor solubilização do que a U (Tabela 4, contraste C<sub>2</sub>), sendo que a U\_AcC\_Peg, U\_AcC, U\_AcC\_Trtr, U\_AcC\_Def e U\_AcC\_P, proporcionaram redução na solubilização (Rs) de 18,4, 38,4, 54,1, 82,1 e 82,7 %, respectivamente, até 60 min após a aplicação em relação à U (Tabela 4). Esses resultados demonstram o efeito positivo da capsula hidrofóbica do polímero isolando o material solúvel do ambiente externo, para restringir a solubilização (Trenkel, 2010).

A ureia revestida com AcC contendo plastificantes (U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr e U\_AcC\_Def) apresentou, em média, menor solubilização da ureia em relação à U\_AcC (Tabela 4, contraste C<sub>3</sub>), demonstrando a importância dos plastificantes para a maior eficácia do revestimento de AcC. Esse efeito pode ser atribuído ao caráter hidrofóbico dos plastificantes, que diminuem o fluxo de água através da camada do polímero (Vieira et al., 2011). No entanto, a solubilização da U\_AcC\_Peg foi maior do que a U\_AcC em cerca de 16,72 cg/g (Tabela 4 e Figura 5). Isto pode ser devido ao caráter hidrofílico do plastificante Peg (Cruz et al., 2004), considerando que plastificantes hidrofílicos incorporados em

polímeros são facilmente dissolvidos em presença de água, o que acelera o fluxo difusivo através do filme do polímero (Vieira et al., 2011).

Tabela 4 – Contrastes ( $C_k$ ) com respectivos coeficientes ( $C_{ik}$ ) e os valores dos contrastes médios para as quantidades médias ( $\bar{y}_i$ ) de ureia solubilizada, quantidade solubilizada até 60 min após a aplicação ( $Cu_i$ ) e redução da solubilização ( $Rs$ ) em relação à ureia sem revestimento

Fertilizante <sup>1</sup>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	$\bar{y}_i$	$Cu_i$	$Rs$
	$C_{ik}$						cg/g	%	
U	-1	-5	0	0	0	0	60,91	83,65	-
U_AcC	0	1	-4	0	0	1	28,66	51,52	38,4
U_AcC_P	0	1	1	-3	-1	1	11,23	14,39	82,7
U_AcC_Peg	0	1	1	1	0	1	47,19	68,24	18,4
U_AcC_Trt	0	1	1	1	0	1	22,21	38,37	54,1
U_AcC_Def	0	1	1	1	1	1	9,77	15,00	82,1
KMC	1	0	0	0	0	-5	62,14	81,46	2,6
Contrastes	0,43 <sup>ns</sup>	-37,07 <sup>**</sup>	-6,03 <sup>*</sup>	15,18 <sup>**</sup>	-1,39 <sup>ns</sup>	-37,50 <sup>**</sup>			
Médios									

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*</sup>, <sup>°</sup> = significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade respectivamente; <sup>ns</sup> = não significativo.

<sup>1</sup> Ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC).

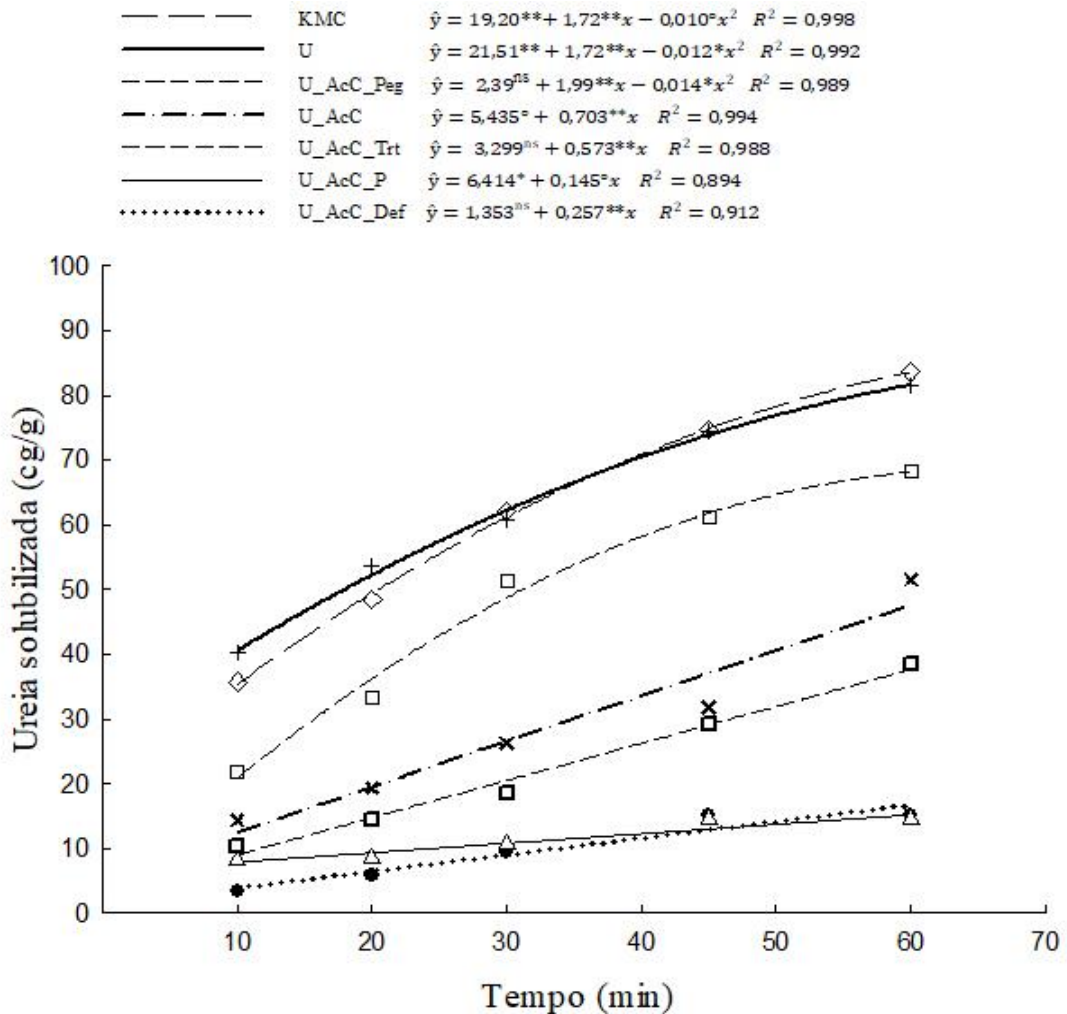
Fonte: Autor.

A ureia revestida com AcC combinada com os plastificantes adicionados nas ff (U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trt e U\_AcC\_Def) foram, em média, menos eficazes no controle da solubilização da ureia do que o revestimento com o AcC formulado com plastificante comercial (U\_AcC\_P) (Tabela 4, contraste C<sub>4</sub>).

A ureia revestida U\_AcC\_P demonstrou dentre todos os revestimentos com AcC, a maior  $Rs$  de 82,7 %, em relação à U (Tabela 4), efeito que, em média, foi estatisticamente equivalente ao verificado na U\_AcC\_Def (Tabela 4, contraste C<sub>5</sub>). Além disso, foi observado por análise visual que as ff de revestimento da U\_AcC\_P e U\_AcC\_Def conseguiram menor viscosidade, o que possibilitou uma melhor distribuição do polímero decorrente em maior homogeneidade de revestimento dos grânulos de ureia. Por tanto, os plastificantes não apenas podem melhorar as propriedades físicas do polímero, mas também podem ser considerados como aditivos que melhoram a processabilidade como sugerido por Vieira et al. (2011).

A ureia revestida com AcC sem ou com plastificantes (U\_AcC\_Peg, U\_AcC, U\_AcC\_Trt, U\_AcC\_Def e U\_AcC\_P) apresentou, em média, menor solubilização do que a KMC (Tabela 4, contraste C<sub>6</sub>), resultado relevante que demonstra a maior eficácia do polímero AcC para controlar a solubilização da ureia.

Figura 5 – Quantidades de ureia solubilizada com suas respectivas equações, em função das cinco coletas realizadas entre 10 e 60 min desde a aplicação da: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), Ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)



Observou-se, que a ureia revestida com AcC, sem ou com os plastificantes (U\_AcC, U\_AcC\_Trt, U\_AcC\_Def e U\_AcC\_P) conseguiu uma redução imediata da solubilização comparada com a U, como evidenciam os resultados das avaliações aos 10 min após a aplicação no solo (Figura 5). Excetuando a U\_AcC\_Peg, quem apresentou curva com comportamento assintótico, a ureia com os demais revestimentos de AcC apresentou taxas de solubilização constantes ao longo do tempo de avaliação (Figura 5). No entanto, a U\_AcC\_P e a U\_AcC\_Def foram aquelas que obtiveram as menores taxas de solubilização (Figura 5).

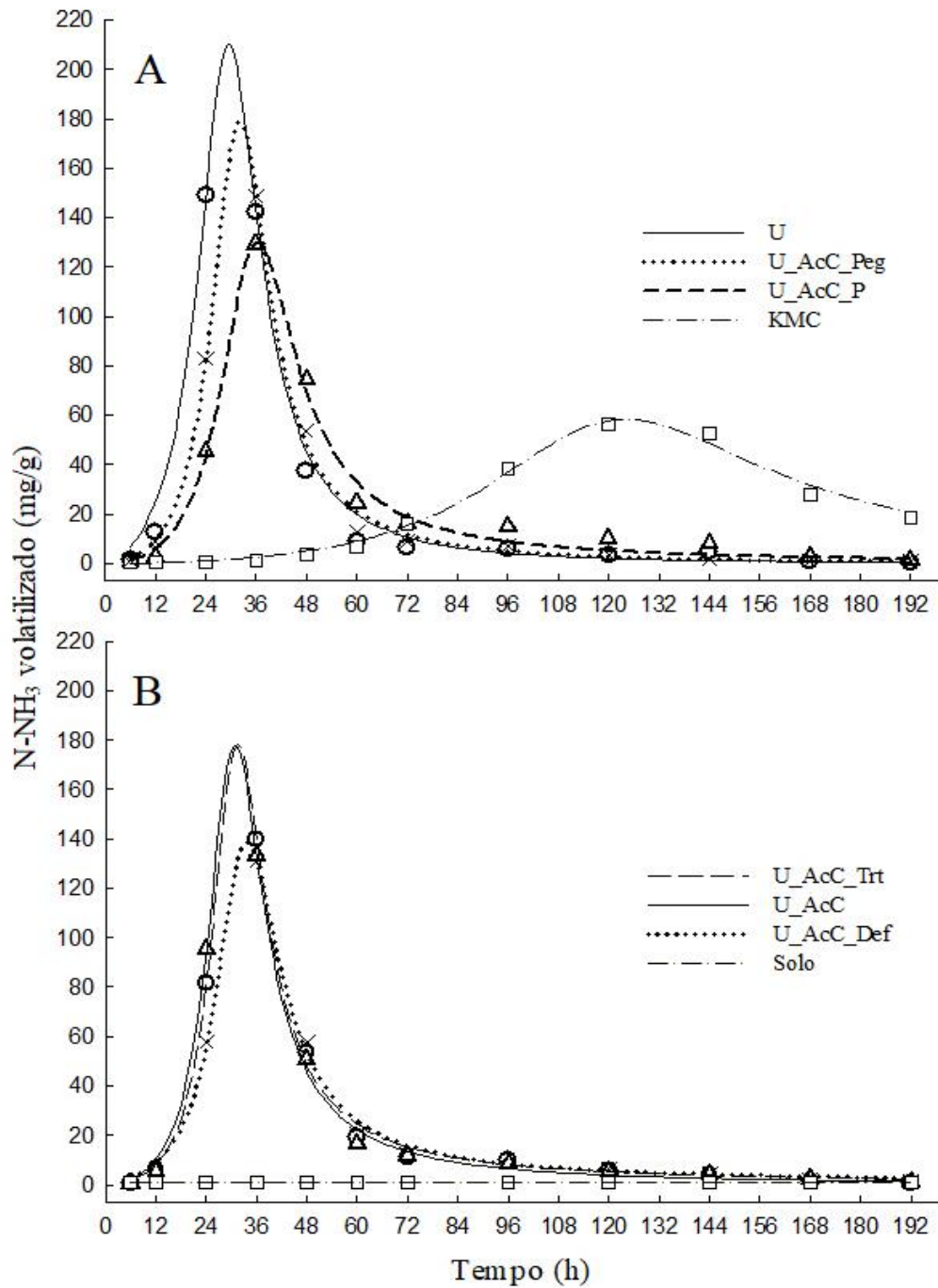
### 3.3. Dinâmica da volatilização de NH<sub>3</sub>

A ureia com polímero sintético KMC apresentou, em média, volatilização menor do que a U (Tabela 5, contraste C<sub>1</sub>), assim como redução da volatilização total (Rv) de N-NH<sub>3</sub> em 40 % (Tabela 5). A volatilização de NH<sub>3</sub> da KMC foi intensificada a partir das 60 horas comparado com a U, que demonstrou intensificação da volatilização a partir das 12 h, desde a aplicação (Figura 6 A). Além disso, a KMC conseguiu dentre todos, o menor pico máximo de volatilização (N<sub>v<sub>max</sub></sub>) e o tempo em que aconteceu (T<sub>v<sub>max</sub></sub>) foi retardado em cerca de 94 h em relação à U (Tabela 6 e figura 6 A). A dinâmica de volatilização sugere que a ureia KMC pode favorecer no maior tempo de disponibilidade e aproveitamento de N para as plantas.

Cabe ressaltar, que a ureia KMC evidenciou divergências entre a sua dinâmica de solubilização e de volatilização de NH<sub>3</sub>, sendo que, não demonstrou eficácia na redução da solubilização da ureia, porém foi eficaz na redução da volatilização da NH<sub>3</sub>, em relação à U. Considerando que a solubilização da ureia está estreitamente relacionada com a volatilização de NH<sub>3</sub>, decorrente da hidrólise promovida pela enzima uréase, é possível que exista um efeito inibidor da uréase neste polímero.

A ureia revestida com AcC, sem ou com plastificantes (U\_AcC, U\_AcC\_Trt, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_P e U\_AcC\_Def), apresentou, em média, volatilização menor do que a U (Tabela 5, contraste C<sub>2</sub>) e proporcionou redução da volatilização (Rv) de 10,4, 10,5, 11,2, 11,6, e 17,5%, respectivamente (Tabela 5). Além disso, estes revestimentos influenciaram na dinâmica de volatilização, reduzindo N<sub>v<sub>max</sub></sub> e retardando o T<sub>v<sub>max</sub></sub>, em média, de 3,6 h comparado com a U (Tabela 6 e Figura 6 A e B). Por sua vez, Nuvunga (2017) também constatou que o revestimento do AcC na ureia reduziu significativamente a volatilização de NH<sub>3</sub>, no entanto, este efeito foi ainda mais pronunciado quando o AcC foi combinado com o inibidor da uréase NBPT.

Figura 6 – Quantidades de N-NH<sub>3</sub> volatilizado após doze coletas realizadas entre 6 e 192 h, desde a aplicação da: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)



Fonte: Autor.

Destaca-se, que a U\_AcC\_P foi dentre todos os revestimentos com AcC, a que proporcionou o menor  $Nv_{max}$  e a maior prorrogação do  $Tv_{max}$ , comparada com a U (Tabela 6 e Figura 6 A), o que é coerente com a menor solubilização demonstrada pela U\_AcC\_P no anterior experimento.

Tabela 5 – Contrastes (Ck) com respectivos coeficientes ( $c_{ik}$ ) e os valores dos contrastes médios, quantidades médias ( $\bar{y}_i$ ) e totais ( $T_i$ ) da N-NH<sub>3</sub> volatilizada e redução da volatilização (Rv) em relação à ureia sem revestimento de acordo com os fertilizantes

Fertilizante <sup>1</sup>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	$\bar{y}_i$	$T_i$	Rv
	C <sub>ik</sub>						mg/g de N-NH <sub>3</sub>		%
U	-1	-5	0	0	-1	0	30,9	371	-
U_AcC	0	1	-4	0	0	1	27,8	333	10,4
U_AcC_P	0	1	1	1	0	1	27,4	328	11,6
U_AcC_Peg	0	1	1	1	0	1	27,5	330	11,2
U_AcC_Trt	0	1	1	1	0	1	27,8	333	10,5
U_AcC_Def	0	1	1	-3	1	1	25,6	306	17,5
KMC	1	0	0	0	0	-5	18,6	223	40
Contrastes Médios	-12,40**	-3,78*	-0,71 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	-5,41**	8,61**			

\*\* , \* , ° = significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade respectivamente; <sup>ns</sup> = não significativo.

<sup>1</sup> Ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC).

Fonte: Autor.

A ureia revestida com AcC com os plastificantes (U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trt e U\_AcC\_Def) apresentou, em média, volatilização semelhante à ureia revestida com AcC sem plastificante (U\_AcC) (Tabela 5, contraste C<sub>3</sub>). A adição dos plastificantes no revestimento de AcC não ocasionou efeito significativo reduzindo a volatilização de NH<sub>3</sub> na ureia, embora, foi evidenciado que permitiram reduzir significativamente a solubilização da ureia.



Tabela 6 – Equações de regressão para as quantidades de N-NH<sub>3</sub> volatilizado em função das doze coletas entre 6 e 192 h a partir da aplicação dos fertilizantes, com seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), pico de máxima volatilização (Nv<sub>max</sub>) e o tempo de ocorrência (Tv<sub>max</sub>), de acordo com os fertilizantes

Fertilizante <sup>1</sup>	Equação	R <sup>2</sup>	Nv <sub>max</sub>	Tv <sub>max</sub>
			mg/g	h
Solo	$\hat{y} = 0,06$		-	-
U	$\hat{y}^1 = -0,0176^{**} + 2,92e-07^{**}x^3 + (2,389^{**}/x^{1,5})$	0,987	209,94	29,45
U_AcC	$\hat{y}^1 = -0,047^{**} + 1,70e-04^{**}x^{1,5} + (22,852^{**}/x^2)$	0,995	171,80	31,61
U_AcC_P	$\hat{y}^1 = -0,147^{**} + 0,002^{**}x + (2,839^{**}/x)$	0,983	129,28	36,55
U_AcC_Peg	$\hat{y}^1 = -0,023 + 2,20e-06^{**}x^{2,5} + (16,863^{**}/x^2)$	0,993	171,79	32,22
U_AcC_Trtr	$\hat{y}^1 = -0,058^{**} + 2,45e-05^{**}x^2 + (16,714^{**}/x^2)$	0,994	169,35	30,97
U_AcC_Def	$\hat{y}^1 = -0,033^{**} + 1,77e-05^{**}x^2 + (23,372^{**}/x^2)$	0,995	136,19	33,87
KMC	$\hat{y} = -0,058^{**} + 2,45e-06^{**}x^2 + (576,437^{**}/x^2)$	0,988	59,63	123,7

\*\* , \* , ° = significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade respectivamente; <sup>ns</sup> = não significativo.

<sup>1</sup> Ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante não informado (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trtr), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC).

Fonte: Autor.

Foi observado que a ureia revestida com AcC com os plastificantes (U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg e U\_AcC\_Trtr) não apresentou diferença no comportamento da volatilização em relação à U\_AcC\_Def (Tabela 5, contraste C<sub>4</sub>), porém, a U\_AcC\_Def demonstrou uma volatilização significativamente menor do que a U (Tabela 5, Contraste C<sub>5</sub>), e obteve dentre todos os revestimentos com AcC a menor volatilização total (T<sub>i</sub>) de 306 cg/g de N-NH<sub>3</sub> (Tabela 5).

Os comportamentos diferenciados na volatilização de NH<sub>3</sub> da U\_AcC\_C e U\_AcC\_Def, podem ser relacionados com a melhor qualidade destes revestimentos, fato explorado e também evidenciado no anterior experimento.

A ureia revestida com o AcC, sem ou com plastificantes (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr e U\_AcC\_Def) apresentou, em média, maior volatilização do que a KMC (Tabela 5, contraste C<sub>6</sub>). Considerando que estes revestimentos de AcC demonstraram maior eficácia na redução da solubilização da ureia em relação a KMC, ainda deve-se trabalhar no aprimoramento deles para reduzir a volatilização de NH<sub>3</sub> da ureia.

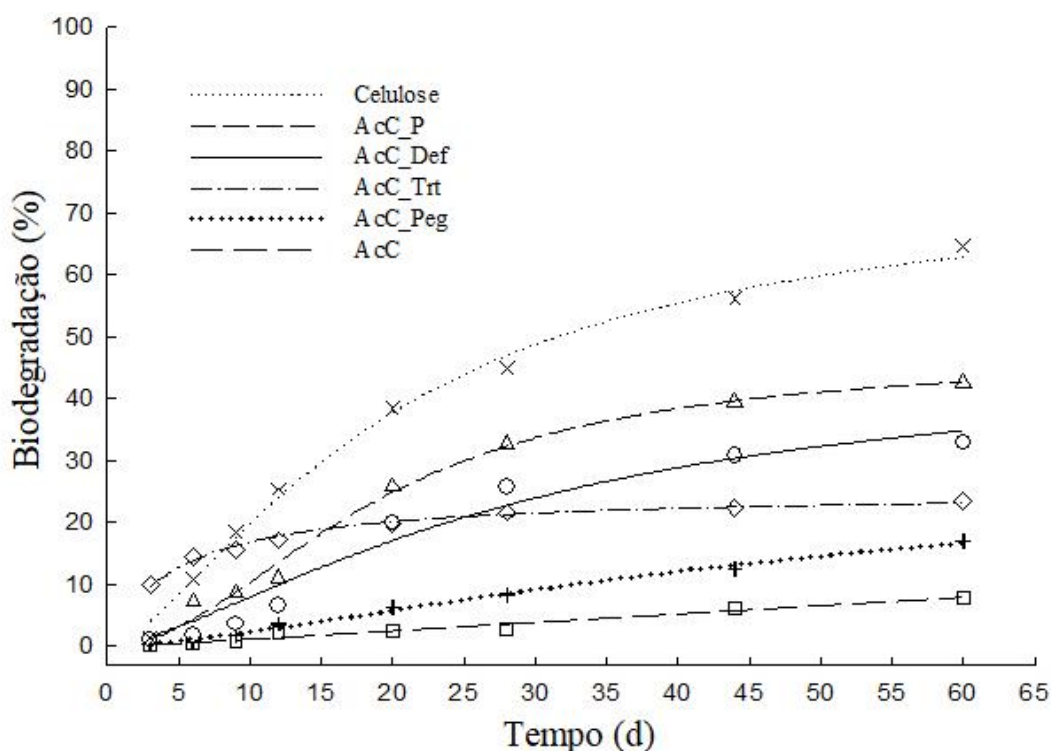
### 3.4. Dinâmica da biodegradação do acetato de celulose

Observou-se que a celulose atingiu 64 % de biodegradação em 60 dias de avaliação (Figura 7 e Tabela 7). Assim, é possível estimar, ainda que por extrapolação, que a biodegradação atingiria 70 % antes de 180 d, o que é uma condição exigida para a validação

do ensaio pela norma ASTM D 5988-18 (ASTM Internacional, 2018), que demonstra a ótima atividade microbiológica do solo.

A evolução da biodegradação acumulada dos polímeros seguiu tendências curvilíneas e ajustando-se a equações assintóticas, exceto o AcC que demonstrou comportamento linear (Figura 7, Tabela 7). No entanto, há evidências da completa biodegradação do AcC com GS 2,5 em estudos utilizando outros substratos (Gross et al, 1995; Buchanan et al., 1996), ou em estudos com tempo de incubação estendido de até 200 d (Phuong et al., 2014), o que demonstra a importância do método de estudo.

Figura 7 – Biodegradação em % após oito coletas realizadas entre 3 e 60 d com suas respectivas medias, desde a aplicação dos polímeros: acetato de celulose (AcC), acetato de celulose contendo plastificante não informado (AcC\_P), acetato de celulose e polietileno glicol (AcC\_Peg), acetato de celulose e triacetina (AcC\_Trt), acetato de celulose e dietil ftalato (AcC\_Def) e material de referência Celulose



Fonte: Autor.

A biodegradação do AcC, em poucos dias foi muito aumentada com a adição do plastificante não identificado e por aqueles adicionados à ff (Peg, Trt e Def) (Figura 7 e tabela 7). Por sua vez, Phuong et al. (2014) também demonstrou aumento na biodegradação em filmes do polímero AcC quando foram adicionados os plastificantes Trt e Def. Os menores

tempos de meia vida (T50) também evidenciam os efeitos dos plastificantes na biodegradação do AcC (Tabela 7).

Destaca-se que os filmes de revestimentos de AcC com plastificantes AcC\_Def e AcC\_P, obtiveram os maiores valores da biodegradação total de 42,48 e 32,88 %, respectivamente (Tabela 7). Considerando também, seus bons desempenhos nos experimentos da solubilização e da volatilização de NH<sub>3</sub> na ureia, estes dois foram os plastificantes que imprimiram melhores características no polímero AcC para a liberação controlada da ureia.

Tabela 7 – Equações de regressão para as % de biodegradação em função das oito coletas realizadas entre 3 e 60 dias desde a aplicação dos tratamentos, com seus respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>), e tempo em que 50 % da biodegradação aconteceu T(50)

<sup>1</sup> Tratamentos	Equação	R <sup>2</sup>	Total	T(50)
			%	dias
AcC	$\hat{y} = -0,212^{ns} + 0,135^{**}x$	0,944	7,80	30,9
AcC_P	$\hat{y}^{-1} = 0,022^{**} + (6,439^{**}/x^2)$	0,894	42,48	15,9
AcC_Peg	$\hat{y}^{-1} = 0,034^{**} + (11,943^{**}/x^{1,5})$	0,989	16,96	26,9
Ac_Trt	$\hat{y}^{-1} = 0,040^{**} + (0,01914^{**}/x)$	0,988	23,43	4,2
AcC_Def	$\hat{y}^{-1} = 0,027^{**} + (9,864^{**}/x^2)$	0,912	32,88	17,4
Celulose	$\hat{y}^{-1} = 0,013^{**} + (1,151^{**}/x^{1,5})$	0,992	64,42	-

\*\* , \* , ° = significativo a 1, 5 e 10% de probabilidade respectivamente; <sup>ns</sup> = Não significativo.

<sup>1</sup> Acetato de celulose (AcC), acetato de celulose com plastificante não informado (AcC\_P) acetato de celulose e polietileno glicol (AcC\_Peg), acetato de celulose e triacetina (AcC\_Trt), acetato de celulose e dietil ftalato (AcC\_Def) e material de referência (Celulose).

Fonte: Autor.

#### 4. CONCLUSÕES

Os plastificantes melhoraram o processo de revestimento da ureia com o acetato de celulose.

O revestimento dos grânulos de ureia com o polímero acetato de celulose é eficaz para reduzir a sua solubilização e a volatilização de amônia.

Os plastificantes aumentam a eficácia do revestimento com acetato de celulose reduzindo a solubilização da ureia, mas não influenciam na volatilização de amônia.

A adição dos plastificantes aumenta a biodegradabilidade do acetato de celulose

O plastificante dietil ftalato e o plastificante comercial conferiram ao revestimento com acetato de celulose características favoráveis para a produção da ureia de liberação controlada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM International. ASTM D5988-18, Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Soil; 2018 [cited 2020 Feb 20]. Available from: <https://www.astm.org/Standards/D5988.htm>

Azeem B, Kushaari K, Man ZB, Basit A, Thanh TH. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *J Control Release*. 2014;181:11–21. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.02.020>

Bajpai SK, Swarnkar MP, Ahuja S. On-Demand Release of Urea from a Cellulosic Hydrogel Using a Sprinkler Based Irrigation (SBI) Model. *J Macromol Sci Part A Pure Appl Chem*. 2015;52:779–785. <https://doi.org/10.1080/10601325.2015.1067020>

Bialecka-Florjańczyk E, Florjańczyk Z. Solubility of plasticizers, polymers and environmental pollution. In: Letcher T, editor. *Thermodyn Solubility Environ Issues*. Elsevier B. 2007. p. 397–408. <https://doi.org/10.1016/B978-044452707-3/50024-0>

Buchanan CM, Dorschel D, Gardner RM, Komarek RJ, Matosky AJ, White AW, Wood MD. The influence of degree of substitution on blend miscibility and biodegradation of cellulose acetate blends. *J Environ Polym Degrad*. 1996;4:179–195. <https://doi.org/10.1007/BF02067452>

Cerqueira DA, Filho GR, Valente AJM. Caracterização de Acetato de Celulose Obtido a partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar por H-RMN H-NMR Characterization of Cellulose Acetate Obtained from Sugarcane Bagasse. *Polímeros*. 2010;20:85–91. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000017>

Chen J, Wei X. Controlled-Release Fertilizers as a Means to Reduce Nitrogen Leaching and Runoff in Container-Grown Plant Production. In: Amanullah, Shah F, editors. *Nitrogen Agric - Updat*. 2018. p. 33–52. <https://doi.org/10.5772/intechopen.73055>

Costa MCG, Vitti GC, Cantarella H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *Rev Bras Ciência do Solo*. 2003;27:631–637. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832003000400007>

Costa MME, Cabral-Albuquerque ECM, Alves TLM, Pinto JC, Fialho RL. Use of polyhydroxybutyrate and ethyl cellulose for coating of urea granules. *J Agric Food Chem*. 2013;61:9984–9991. <https://doi.org/10.1021/jf401185y>

Cruz MCP. Influência do poli(etileno glicol) (PEG) no processo de microencapsulação da oxitetraciclina no sistema alginato/quitosana: modelamento “in vitro” da liberação oral [tese]. Universidade estadual de Campinas; 2004.

Edgar KJ, Buchanan CM, Debenham JS, Rundquist PA, Seiler BD, Shelton MC, Tindall D. Advances in cellulose ester performance and application. *Prog in Polym Sci*. 2001;26:1605–1688. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(01\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(01)00027-2)

Fischer S, Thümmel K, Volkert B, Hettrich K, Schmidt I, Fischer K. Properties and applications of cellulose acetate. *Macromol Symp*. 2008;262:89–96. <https://doi.org/10.1002/masy.200850210>

González ME, Cea M, Medina J, González A, Diez MC, Cartes P, Monreal C, Navia R. Evaluation of biodegradable polymers as encapsulating agents for the development of a urea controlled-release fertilizer using biochar as support material. *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2015;505:446–453. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.014>

Gross RA, Gu J, Eberiel D, Stephen M. Laboratory-Scale Composting Test Methods to Determine Polymer Biodegradability: Model Studies on Cellulose Acetate. *J Macromol Sci Part A Pure Appl Chem*. 1995;32:613–628. <https://doi.org/10.1080/10601329508010275>

Guimarães GGF, Mulvaney RL, Cantarutti RB, Teixeira BC, Vergütz L. Value of copper, zinc, and oxidized charcoal for increasing forage efficiency of urea N uptake. *Agric Ecosyst Environ*. 2016;224:157–165. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.036>

Ko BS, Cho YS, Rhee HK. Controlled Release of Urea from Rosin-Coated Fertilizer Particles. *Ind Eng Chem Res*. 1996;35:250–257. <https://doi.org/10.1021/ie950162h>

Lara Cabezas WAR, Korndorfer GH, Motta S a. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. *Rev Bras Ciência do Solo*. 1997;21:489–496. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300019>

MAPA. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizante e corretivos. 1. ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; 2014.

Matos ES, Mendonça ES. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. 2. ed. Viçosa, 2017.

Mulvaney RL, Bremner JM. A modified diacetyl monoxime method for colorimetric determination of urea in soil extracts. *Commun soil Sci plant Anal*. 1979;10:1163–1170. <https://doi.org/10.1080/00103629509369465>

Nuvunga SBP. Dinâmica de liberação do nitrogênio da ureia de eficiência melhorada [Dissertação]. Universidade Federal de Viçosa; 2017.

Okhamafe AO, York P. Thermal Characterization of Drug/Polymer and Excipient/Polymer Interactions in Some Film Coating Formulation. *J Pharm Pharmacol*. 1989;41:1–6. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1989.tb06318.x>

Papangkorn J, Isaraphan C, Phinhongthong S, Opaprakasit M, Opaprakasit P. Controlled-release material for urea fertilizer from polylactic acid. *Adv Mater Res*. 2008;55–57:897–900. <https://doi.org/10.428/www.scientific.net/amr.55-57.897>

Phuong VT, Verstichel S, Cinelli P, Anguillesi I, Coltelli MB, Lazzeri A. Cellulose acetate blends -effect of plasticizers on properties and biodegradability. *J Renew Mater*. 2014;2:35–41. <https://doi.org/10.7569/JRM.2013.634136>

Ray SS, Bousmina M. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world. *Prog in Mat Sci*. 2005;50:962–1079. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2005.05.002>

Rattanamanee A, Niamsup H, Srisombat L, Ongnuan, Punyodom W, Watanesk R, Watanesk S. Role of Chitosan on Some Physical Properties and the Urea Controlled Release of the Silk Fibroin/Gelatin Hydrogel. *J Polym Environ*. Springer US; 2015;23:334–340. <https://doi.org/10.1007/s10924-014-0703-6>

Rojas CAL, Bayer C, Fontoura SMV, Weber MA, Vieiro F. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. *Rev Bras Cienc do Solo*. 2012;36:261–270. <https://doi.org/10.1590/S0100.068320120000100027>

Ruggiero R, de Almeida Carvalho V, da Silva LG, de Magalhães D, Ferreira JA, de Menezes HHM, de Melo PG, Naves MM. Study of in vitro degradation of cellulose acetate membranes modified and incorporated with tetracycline for use as an adjuvant in periodontal reconstitution. *Ind Crops Prod*. 2015;72:2–6. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.021>

Senna AM, Menezes AJ de, Botaro VR. Estudo da densidade de ligações Cruzadas em géis superabsorventes obtidos do acetato de celulose. *Polímeros*. 2013;23:59–64. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282012005000078>

Sipponen MH, Rojas OJ, Pihlajaniemi V, Lintinen K, Österberg M. Calcium Chelation of Lignin from Pulping Spent Liquor for Water-Resistant Slow-Release Urea Fertilizer Systems. *ACS Sustain Chem Eng*. 2017;5:1054–1061. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b02348>

Timilsena YP, Adhikari R, Casey P, Muster T, Gill H, Adhikari B. Enhanced efficiency fertilisers: A review of formulation and nutrient release patterns. *J Sci Food Agric*. 2015;95:1131–1142. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6812>

Trenkel ME. *Slow – and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture*. 2nd ed. Paris, France: IFA, International fertilizer industry association; 2010.

Vieira MGA, Da Silva MA, Dos Santos LO, Beppu MM. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *Eur Polym J.* 2011;47:254–263. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011>

Wang FJ, Yang YY, Zhang XZ, Zhu X, Chung TS, Moochhala S. Cellulose acetate membranes for transdermal delivery of scopolamine base. *Mater Sci Eng C.* 2002;20:93–100. [https://doi.org/10.1016/S0928-4931\(02\)00018-8](https://doi.org/10.1016/S0928-4931(02)00018-8)

Wu L, Liu M, Rui Liang. Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. *Bioresour Technol.* 2008;99:547–554. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.027>



## ANEXOS

Quadro 1A – Quantidades de ureia solubilizada no solo das 5 coletas realizadas entre dez e sessenta min, com suas respectivas médias, desde a aplicação dos fertilizantes: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)

Fertilizantes	Coletas (min)					Média
	10	20	30	45	60	
	cg/g de ureia					
U	35,71	48,47	62,08	74,65	83,65	60,91
U_AcC	14,35	19,30	26,28	31,82	51,52	28,66
U_AcC_P	8,27	8,46	10,54	14,50	14,39	11,23
U_AcC_Peg	21,85	33,38	51,28	61,22	68,24	47,19
U_AcC_Trt	10,29	14,57	18,49	29,30	38,37	22,21
U_AcC_Def	3,33	5,85	9,48	15,19	15,00	9,77
KMC	40,22	53,62	60,88	74,50	81,46	62,14

Fonte: Autor.

Quadro 2A – Análise de variância das quantidades de ureia solubilizada no solo das 5 coletas realizadas entre dez e sessenta min, desde a aplicação dos fertilizantes: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)

FV	GL	SQ	QM	F	P
Bloco	2	365,463937	182,731969	3.504	0.0633
Fert	6	43699,111973	7283,185329	139.649	0,0000
Erro Fert*Bloco	12	625,840763	52,153397		
Coleta	4	13529,149413	3382,287353	115.514	0,0000
Fert*Coleta	24	3682,597027	153,441543	5.240	0,0000
Coleta/Fert (U)	4	4488,466440	1122,116610	38.323	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC)	4	2485,454893	621,363723	21.221	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_P)	4	112,830227	28,207557	0.963	0.4349
Coleta/Fert (U_AcC_Peg)	4	4459,747027	1114,936757	38.078	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_Trt)	4	1574,451293	393,612823	13.443	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_Def)	4	343,539160	85,884790	2.933	0.0284
Coleta/Fert (KMC)	4	3747,257400	936,814350	31.995	0,0000
Erro Fert*Bloco*Coleta	56	1639,692300	29,280220		
Total	104	63541,855413			
Média	34.481				
CV %	15.69				

Fonte: Autor.

Quadro 3A – Análise de variância dos contrastes da ureia solubilizada no solo nas 5 coletas realizadas entre dez e sessenta min, desde a aplicação dos fertilizantes: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trtr), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)

<sup>1</sup> FV	GL	SQ	QM	F	P
C <sub>1</sub>	1	1,421363	1,421363	0,027	0,8716
C <sub>2</sub>	1	17177,681952	17177,681952	329,368	0,0000
C <sub>3</sub>	1	436,523781	436,523781	8,370	0,0135
C <sub>4</sub>	1	2594,034569	2594,034569	49,739	0,0000
C <sub>5</sub>	1	14,532480	14,532480	0,279	0,6072
C <sub>6</sub>	1	17583.500411	17583.500411	337.150	0.0000
Erro	12	625,840763	52,153397		
Total	104	63541,855413			
Média	34,48				
CV %	20,94				

<sup>1</sup>C<sub>1</sub> U vs KMC, C<sub>2</sub> U vs (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr & U\_AcC\_Def), C<sub>3</sub> U\_AcC vs (U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr & U\_AcC\_Def), C<sub>4</sub> U\_AcC\_P vs (U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr, U\_AcC\_Def), C<sub>5</sub> U\_AcC\_P vs U\_AcC\_Def, C<sub>6</sub> KMC vs (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr & U\_AcC\_Def).

Fonte: Autor.

Quadro 1B – Quantidade médias e totais de N-NH<sub>3</sub> volatilizado após doze coletas realizadas entre 6 e 192 h desde a aplicação dos fertilizantes: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trt), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)

Fertilizantes	Coletas (horas)												Média	Total
	6	12	24	36	48	60	72	96	120	144	168	192		
	mg/g de N-NH <sub>3</sub>													
Solo	0,03	0,04	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06	0,09	0,07	0,05	0,04	0,05	0,06	0,75
U	1,61	12,4	149,13	142,32	37,35	8,84	6,16	5,64	3,00	4,27	0,74	0,42	30,99	371,97
U_AcC	0,62	6,55	81,39	139,72	53,32	59,96	19,08	11,08	9,93	5,72	4,00	0,65	27,78	333,36
U_AcC_P	0,45	2,63	45,38	129,15	74,44	24,34	15,98	14,86	10,14	7,67	2,67	1,02	27,39	328,77
U_AcC_Peg	1,00	9,04	82,88	148,33	53,44	12,77	8,73	7,02	3,56	1,76	1,02	0,75	27,52	330,35
U_AcC_Trt	0,50	5,16	95,10	133,09	50,76	16,21	11,58	8,27	5,21	3,91	2,38	0,79	27,75	333,02
U_AcC_Deo	0,63	4,95	57,60	130,68	57,85	20,60	12,64	8,64	6,10	4,45	1,62	1,12	25,57	306,93
KMC	0,48	0,60	0,51	1,21	3,50	6,52	15,99	38,51	56,40	52,77	27,90	18,69	18,59	223,13

Fonte: Autor.

Quadro 2B – Análise de variância das quantidades de N-NH<sub>3</sub> volatilizado após doze coletas realizadas entre 6 e 192 h, desde a aplicação dos fertilizantes: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante comercial (U\_AcC\_P), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trtr), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)

FV	GL	SQ	QM	F	P
Fert	7	33661,915112	4808,845016	56,928	0,0000
Erro Fert*Rep	21	1773,925863	84,472660		
Coleta	11	341566,79776	31051,527070	416,833	0,0000
Fert*Coleta	77	197142,66052	2560,294292	34,369	0,0000
Solo	11	0,002399	0,000218	0,000	1,0000
Coleta/Fert (U)	11	130784,26976	11889,479069	159,604	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC)	11	81650,383848	7422,762168	99,643	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_P)	11	66088,775713	6008,070519	80,652	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_Peg)	11	92111,863523	8373,805775	112,409	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_Trtr)	11	82550,769610	7504,615419	100,741	0,0000
Coleta/Fert (U_AcC_Def)	11	66549,770017	6049,979092	81,214	0,0000
Coleta/Fert (KMC)	11	18973,623421	1724,874856	23,155	0,0000
Erro Fert*Rep*Coleta	267	19889,855200	74,493840		
Total	383	594035.15446			
Média		23,212			
CV %		37,18			

Fonte: Autor.

Quadro 3B – Análise de variância dos contrastes do N-NH<sub>3</sub> volatilizada após doze coletas realizadas entre 6 e 192 h, desde a aplicação dos fertilizantes: ureia sem revestimento (U), ureia revestida com acetato de celulose (U\_AcC), ureia revestida com acetato de celulose contendo plastificante não informado (UAcCP), ureia revestida com acetato de celulose e polietileno glicol (U\_AcC\_Peg), ureia revestida com acetato de celulose e triacetina (U\_AcC\_Trtr), ureia revestida com acetato de celulose e dietil ftalato (U\_AcC\_Def) e ureia com polímero sintético da linha Kimcoat-N® (KMC)

<sup>1</sup> FV	GL	SQ	QM	F	P
C <sub>1</sub>	1	3692,164731	3692,164731	43,708	0,0000
C <sub>2</sub>	1	573.985792	573.985792	6,795	0,0165
C <sub>3</sub>	1	19,853086	19,853086	0,235	0,6328
C <sub>4</sub>	1	141,636380	141,636380	1,677	0,2094
C <sub>5</sub>	1	704,913281	704,913281	8,345	0,0088
C <sub>6</sub>	1	2968.826063	2968.826063	35.145	0,0000
Erro	21	1773.925863	84.472660		
Total	383	594035.15446			
Média		23,212			
CV %		39,60			

<sup>1</sup>C<sub>1</sub> U vs KMC, C<sub>2</sub> U vs (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr & U\_AcC\_Def), C<sub>3</sub> U\_AcC vs (U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr & U\_AcC\_Def), C<sub>4</sub> U\_AcC\_P vs (U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr, U\_AcC\_Def), C<sub>5</sub> U vs U\_AcC\_Def, C<sub>6</sub> KMC vs (U\_AcC, U\_AcC\_P, U\_AcC\_Peg, U\_AcC\_Trtr & U\_AcC\_Def).  
Fonte: Autor.

Quadro 1C – Biodegradação quantificada em % durante 8 coletas realizadas entre três e sessenta dias com suas respectivas médias, desde a aplicação dos tratamentos: acetato de celulose (AcC), acetato de celulose contendo plastificante comercial (AcC\_P), acetato de celulose e polietileno glicol (AcC\_Peg), acetato de celulose e triacetina (AcC\_Trt), acetato de celulose e dietil ftalato (AcC\_Def) e material positivo de referência celulose

Tratamentos	Coletas (d)								Média
	3	6	9	12	20	28	44	60	
					%				
AcC	0,27	0,46	0,70	2,16	2,45	2,81	6,24	7,80	2,86
AcC_P	1,09	7,13	8,60	11,06	25,85	32,61	39,38	42,48	21,03
AcC_Peg	0,43	0,70	1,75	3,63	6,23	8,35	12,42	16,96	6,31
AcC_Trt	9,94	14,46	15,61	17,12	19,85	21,61	22,42	23,43	18,06
AcC_Def	0,99	1,81	3,66	6,60	19,97	25,68	30,75	32,88	15,29
Celulose	1,38	10,85	18,35	25,26	38,39	44,86	56,18	64,42	32,46

Fonte: Autor.

Quadro 2C – Análise de variância da biodegradação quantificada das 8 coletas realizadas entre três e sessenta dias com suas respectivas medias, desde a aplicação dos tratamentos: acetato de celulose (AcC), acetato de celulose contendo plastificante não informado (AcC\_P), acetato de celulose e polietileno glicol (AcC\_Peg), acetato de celulose e triacetina (AcC\_Trt), acetato de celulose e dietil ftalato (AcC\_Def) e material positivo de referência celulose

FV	GL	SQ	QM	F	P
Trat	5	13618.349389	2723.669878	73.529	0,0000
Erro Trat*Rep	10	370.421224	37.042122		
Coleta	7	14481.231431	2068.747347	585.899	0,0000
Trat*Coleta	35	6470.491844	184.871196	52.358	0,0000
Coleta/Trat (AcC)	7	161.059463	23.008495	6.516	0,0000
Coleta/Trat (AcC_P)	7	5396.934183	770.990598	218.356	0,0000
Coleta/Trat (AcC_Peg)	7	746.653400	106.664771	30.209	0,0000
Coleta/Trat (AcC_Trt)	7	448.356829	64.050976	18.140	0,0000
Coleta/Trat (AcC_Def)	7	3826.861533	546.694505	154.832	0,0000
Coleta/Trat (Celulose)	7	10371.857867	1481.693981	419.637	0,0000
Erro Fert*Rep*Coleta	86	303.656710	3.530892		
Total	143	35244.150597			
Média	16.00				
CV %	11.74				

Fonte: Autor.