



**UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**GUSTAVO RICARDO AGUIAR SILVA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA ANTECIPADA NO ALGODOEIRO EM SOLO  
ARENOSO**

Presidente Prudente - SP  
2023



**UNIVERSIDADE DO OESTE PAULISTA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**GUSTAVO RICARDO AGUIAR SILVA**

**ADUBAÇÃO NITROGENADA ANTECIPADA NO ALGODOEIRO EM SOLO  
ARENOSO**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, da Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Fábio Rafael Echer

Presidente Prudente - SP  
2023

633.51           Silva, Gustavo Ricardo Aguiar.  
S586a            Adubação nitrogenada antecipada no algodoeiro em  
                  solo arenoso / Gustavo Ricardo Aguiar Silva. –  
                  Presidente Prudente, 2023.  
                  59f.: il.

                  Dissertação (Mestrado em Agronomia) -  
                  Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente  
                  Prudente, SP, 2023.  
                  Bibliografia.  
                  Orientador: Fábio Rafael Echer

                  1. Algodão. 2. Solo arenoso. 3. Adubação. I. Título.

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ADUBAÇÃO NITROGENADA ANTECIPADA NO ALGODOEIRO EM SOLO ARENOSO"

AUTOR(A): GUSTAVO RICARDO AGUIAR SILVA

ORIENTADOR(A): Dr. FÁBIO RAFAEL ECHER

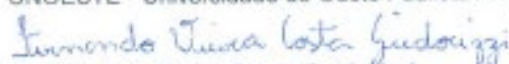
Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA

Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:



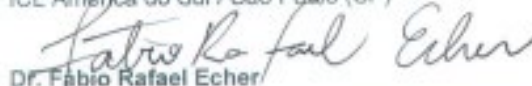
Dra. Bruna Wurr Rodak

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)



Dr. Fernando Vieira Costa Guidorizzi

ICL América do Sul / São Paulo (SP)



Dr. Fábio Rafael Echer

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 08 de fevereiro de 2023.

## DEDICATÓRIA

Dedico essa etapa da minha vida, como todas as outras, principalmente à minha mãe, Ednalva de Jesus Aguiar. Essa grande mulher que me concebeu e cuidou de mim como uma verdadeira mãe, que sempre tirou tudo dela para oferecer a mim. Dedico aos meus avós Abelardo e Lourdes, por serem além de avós, pais. Dedico aos meus irmãos, Guilherme e Giovana, que fizeram minha vida ser mais alegre, nunca vazia e cheia de amor. Dedico a minha namorada, Beatriz, que desde quando entrou em minha vida nunca deixou de transmitir o amor e o cuidado que tem não só por mim, mas por nós. Dedico aos meus cunhados, Gustavo e Fernanda, que tornaram minha vida ainda mais cheio de alegria. Dedico também ao grande presente da minha vida, minha sobrinha e afilhada Maria Cecília, que me vem fazendo conhecer ainda mais o amor. E por fim, dedico a todos os meus amigos. Todos vocês que me dão forças para lutar dia a dia. Amo vocês!

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois é aquele que me tira todo fardo pesado e me ajuda a caminhar.

Agradeço à minha mãe por todos os esforços em cuidar de mim, por toda educação dada, incentivo e amor.

Aos meus irmãos por sempre me ajudarem e estarem ao meu lado.

À minha namorada Beatriz, por me incentivar e me ajudar a evoluir em todo esse tempo.

Agradeço aos meus avós por todo esforço em me ajudar.

Aos meus amigos Cláudio e Alysson, por sempre estarem próximos a mim e minha família.

Agradeço ao meu grande Professor e Orientador Fábio Echer, pela sua excelente orientação, não só acadêmica, mas também pessoal, e os ensinamentos dados a mim durante todo esse tempo.

À UNOESTE, por toda estrutura que permitiu a realização do meu projeto.

Aos docentes da universidade por todo o conhecimento.

Aos técnicos do laboratório, em especial a Luciana.

Agradeço a todos os meus companheiros do grupo de estudos do algodão (GEA), que me ajudaram em todas as atividades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento da bolsa de mestrado.

À Associação Paulista de Produtores de Algodão (APPA) por fornecer recursos para a realização do projeto.

Enfim, eu agradeço do fundo do meu coração. Obrigado!

*“O sucesso é a soma de pequenos esforços  
repetidos dia após dia.”*

*Robert Collier*

## RESUMO

### Adução nitrogenada antecipada no algodoeiro em solo arenoso

Um dos grandes desafios na agricultura é melhorar a eficiência do uso do nitrogênio pelas culturas, pois sua rápida transformação o expõe facilmente às perdas por volatilização e lixiviação. Dessa forma, o objetivo foi avaliar o efeito do manejo da adubação nitrogenada (fontes e épocas de aplicação) sobre o teor de nitrogênio (N) no solo e na planta, produtividade e qualidade das fibras de algodão em um solo arenoso. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da UNOESTE, em Presidente Bernardes-SP, nas safras 2020/21 e 2021/22. O solo da área é de textura arenosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições. As parcelas tinham 7 metros de comprimento e 3,6 de largura e compostas pelos seguintes tratamentos: 1 - Nitrato de amônio aplicado a lanço aos 20, 40 e 60 dias após a emergência (DAE) (NA); 2 - Ureia convencional aplicada a lanço aos 20, 40 e 60 DAE (UC); 3 - Ureia convencional aplicada 100% aos 30 DAE de forma incorporada (UC 30 DAE); 4 - Ureia de liberação controlada com 70% da dose aplicada na semeadura de forma incorporada e 30% com a ureia convencional aos 50 DAE a lanço (ULC/UC); 5 - Ureia de liberação controlada com 70% da dose aplicada na semeadura de forma incorporada e 30% aos 50 DAE a lanço (ULC 70/30); 6 - Ureia de liberação controlada aplicada 100% na semeadura de forma incorporada (ULC 100 I); 7 - Ureia de liberação controlada aplicada 100% na semeadura a lanço (ULC 100 L). Na safra 2020/21 não houve efeito dos tratamentos nas variáveis analisadas, já na safra 2021/22, a produtividade de fibra, número de capulhos e peso médio de capulhos foram maiores nos tratamentos com ULC/UC, ULC 70/30 e ULC 100 L. O acúmulo de produtividade por nó na safra 2021/22 mostra que o efeito dos tratamentos começou a ser evidenciado a partir do 17º ramo frutífero. Nessa mesma safra, o teor de N na folha, índice de área foliar (IAF) e a qualidade de fibra, exceto para o índice de fibras curtas, não mostraram diferença entre os tratamentos. O índice de fibras curtas reduziu (2021/22) nos tratamentos com ULC 100 L e UC 30 DAE. A produtividade dos tratamentos foi maior na segunda safra, principalmente nos tratamentos com ULC 100 L, ULC 70/30, ULC/UC e NA. Os manejos com ULC 100 L, ULC 70/30 e ULC/UC aumentam os teores de amônia nas camadas mais superficiais (0-40 cm) e reduz a mobilidade do N na forma nítrica nas camadas mais profundas (40-80 cm). Em ciclos menores de cultivo (2020/21), uma única aplicação na semeadura com ULC traz benefícios a produtividade do algodão sem afetar a qualidade da fibra. Já em ciclos maiores (2021/22), as melhores estratégias de adubação são com ULC/UC, ULC 70/30 e ULC 100 L.

**Palavras-chave:** nitrogênio; produtividade de fibra; qualidade de fibra; fertilizantes nitrogenados; *Gossypium hirsutum* L.



## ABSTRACT

### Early nitrogen fertilization on cotton in a sandy

One of the major challenges in agriculture is to improve the efficiency of nitrogen use by crops, because its rapid transformation easily exposes it to losses by volatilization and leaching. Thus, the objective was to evaluate the effect of nitrogen fertilization management (sources and times of application) on nitrogen (N) content in soil and plant, productivity and quality of cotton fibers in a sandy soil. The experiment was conducted at the Experimental Farm of UNOESTE, in Presidente Bernardes-SP, in the 2020/21 and 2021/22 season. The soil of the area is sandy in texture. The experimental design was in randomized blocks with five replications. The plots were 7 meters long and 3.6 meters wide and composed of the following treatments: 1 - Ammonium nitrate applied to launch at 20, 40 and 60 days after emergence (DAE) (AN); 2 - Conventional urea applied to pitch at 20, 40 and 60 DAE (U); 3 - Conventional urea applied 100% to the 30 DAE in an incorporated form (U 30 DAE); 4 - Controlled release urea with 70% of the rate applied in the sowing of incorporated form and 30% with conventional urea at 50 DAE (CRU/U); 5 - Controlled release urea with 70% of the rate applied in the sowing of incorporated form and 30% at 50 DAE (CRU 70/30); 6 - Controlled release urea applied 100% in the sowing of incorporated form (CRU 100 I); 7 - Controlled release urea applied broadcasted 100% at sowing (CRU 100 B). In the 2020/21 season there was no effect of the treatments on the variables analyzed, in the 2021/22 crop, fiber yield, number of weeds and average weight of weeds were higher in treatments with CRU/U, CRU 70/30 and CRU 100 B. The accumulation of productivity per node in the 2021/22 crop shows that the effect of treatments began to be evidenced from the 17th fruit branch. In the same season, the N content in the leaf, leaf area index (LAI) and fiber quality, except for the short fiber index, showed no difference among treatments. The index of short fibers decreased (2021/22) in treatments with CRU 100 L and U 30 DAE. The productivity of the treatments was higher in the second season, mainly in treatments with CRU 100 B, CRU 70/30, CRU/U and NA. The managements with CRU 100 B, CRU 70/30 and CRU/U increase ammonia contents in the most superficial layers (0-40 cm) and reduce N mobility in nitric form in the deepest layers (0.4 – 0.8 m). In smaller cycles of cultivation (2020/21), a single application in sowing with ULC brings benefits to cotton productivity without affecting fiber quality. In larger cycles (2021/22), the best fertilization strategies are with CRU/U, CRU 70/30 and CRU 100 B.

**Palavras-chave:** nitrogen; fiber yield; fiber quality; nitrogen fertilizers; *Gossypium hirsutum*.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características química do solo da área experimental antes da semeadura do algodoeiro nas safras 2020/21 e 2021/22. ....	21
<b>Tabela 2.</b> Manejo das fontes de N em diferentes épocas e formas de aplicação. ....	23
<b>Tabela 3.</b> Produtividade acumulada do décimo sétimo nó ao vigésimo primeiro em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada na safra 2021/22. Letras iguais não se diferenciam pelo teste de T (LSD) a 5%. $a < b$ .....	32
<b>Tabela 4.</b> Teor de N na folha de algodão em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas comparam as safras. Letras minúsculas comparam os manejos. $a > b$ a 5% de probabilidade. ....	36
<b>Tabela 5.</b> Qualidade fibra (micronaire, resistência, comprimento e índice de fibras curtas – IFC) em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras se diferenciam pelo teste de T (LSD) a 5% de probabilidade ( $a > b$ ).....	43
<b>Tabela 6.</b> Correlação de Pearson da produtividade com os componentes de produção (número de capulhos, peso de capulhos e % de fibra), teor de N na folha, qualidade de fibra (micronaire, resistência, comprimento e IFC). ns: não significativo; **: significativo < 1%; *: significativo entre 1 a 5%.....	44

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Processos do ciclo do N no ecossistema. 1: Nitrogenase; 2: Absorção pela planta; 3: Desnitrificação; 4: Amonificação; 5: Nitrificação; 6: Imobilização. Modificado de Zhu *et al.* (2015)..... 15
- Figura 2.** Precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima nas safras 2020/21 e 2021/22. ....22
- Figura 3.** Produtividade e componentes de produção (peso médio de capulho, número de capulhos e rendimento de fibra) em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas comparam as safras em cada manejo de N. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada safra. a>b a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente a lanço. ....27
- Figura 4.** Produtividade de fibra acumulada por nó frutífero em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. ns: não significativo; \*: significativo a 5% pelo teste de T (LSD). UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente a lanço. ....31
- Figura 5.** Teores de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) da camada de 0-20 cm do solo no pleno-florescimento do algodoeiro em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas comparam a forma de nitrogênio. Letras minúsculas comparam os manejos. a>b a 5% de probabilidade pelo teste de T

(LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço. ....34

**Figura 6.** Índice de área foliar (IAF) em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. ns: não significativo a 5%. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço. ....38

**Figura 7.** Mobilidade do N em profundidade (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm) na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na safra 2020/21 após a colheita do algodão em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras se diferenciam a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço. ....40

**Figura 8.** Mobilidade do N em profundidade (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm) na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na safra 2021/22 após a colheita do algodão em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras se diferenciam

a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente a lanço. ....41

## LISTA DE SIGLAS

ha<sup>-1</sup> = Hectare

CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> = Uréia

NH<sub>3</sub> = Amônia

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = Amônio

NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Nitrato

PMC = Peso médio de capulho

CTC = Capacidade de troca catiônica

MOS = Matéria orgânica do solo

N<sub>2</sub>O = Óxido nitroso

DAE = Dias após a emergência

DAA = Dias após a aplicação

NBPT = Inibidores de urease

IAF= Índice de área foliar

IFC = Índice de fibras curtas

HVI = High volume instrumentals

NA = Nitrato de amônio

UC = Ureia convencional

UC 30 DAE = Ureia convencional aplicada 100% aos 30 DAE de forma incorporada

ULC/UC = Ureia de liberação controlada com 70% da dose aplicada na semeadura de forma incorporada e 30% com a ureia convencional aos 50 DAE a lanço

ULC 70/30 = Ureia de liberação controlada com 70% da dose aplicada na semeadura de forma incorporada e 30% aos 50 DAE a lanço

ULC 100 I = Ureia de liberação controlada aplicada 100% na semeadura de forma incorporada

ULC 100 L = Ureia de liberação controlada aplicada 100% na semeadura a lanço

## LISTA DE SIMBOLOS

% = Porcentagem

@ = Arroba

dm<sup>3</sup> = decimetro cúbico

mg = Miligrama

g = grama

S = Enxofre

N = Nitrogênio

mL = mililitro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1</b>	<b>Características da área experimental .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento experimental.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Manejo de semeadura, dessecação e adubação .....</b>	<b>23</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliação do tecido vegetal .....</b>	<b>24</b>
<b>3.5</b>	<b>Avaliações do solo.....</b>	<b>24</b>
<b>3.6</b>	<b>Componentes de produção, produtividade e qualidade de fibra.....</b>	<b>25</b>
<b>3.7</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Produtividade e componentes de produção.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Produtividade de fibra acumulada por nó frutífero .....</b>	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Teor de N no solo em pleno florescimento .....</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Teor de N na folha de algodão .....</b>	<b>35</b>
<b>4.5</b>	<b>Índice de área foliar (IAF).....</b>	<b>37</b>
<b>4.6</b>	<b>Mobilidade do N em profundidade após colheita do algodão.....</b>	<b>39</b>
<b>4.7</b>	<b>Qualidade de fibra .....</b>	<b>42</b>
<b>4.8</b>	<b>Correlações.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro herbáceo é a principal fonte de fibras para a indústria têxtil do país e do mundo (PAIVA *et al.*, 2016). O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de algodão e tem uma estimativa da área plantada ser próxima a 1,7 milhões de hectares na safra 2022/23 (CONAB, 2022). O estado do Mato Grosso é o maior produtor de algodão do país, com 1,2 milhões de hectares plantados e uma produção de 2,14 milhões de toneladas de algodão em pluma (ABRAPA, 2020). O estado de São Paulo tem uma área prevista de 12,3 mil hectares cultivados com algodão na safra 2022/23, e uma produção de 23,6 mil toneladas de algodão em pluma (CONAB, 2022).

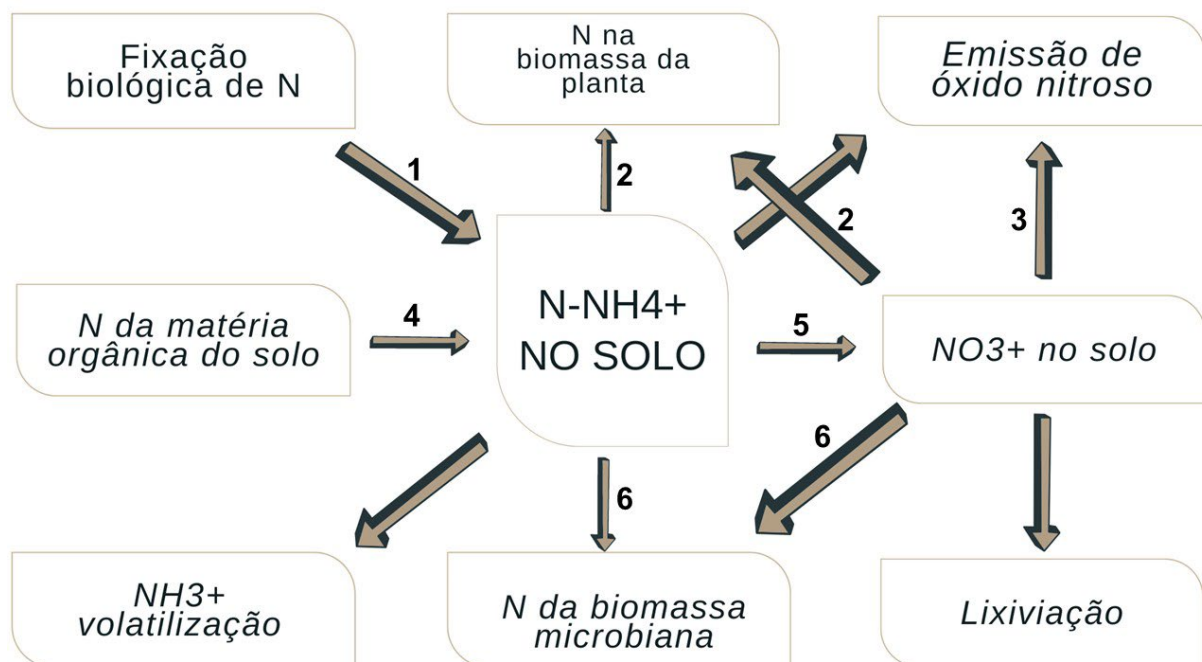
O nitrogênio (N) é o nutriente mais complexo no sistema (Figura 1), e um dos macronutrientes mais absorvidos pelo algodoeiro. Ele compõe a molécula da clorofila; síntese de aminoácidos, proteínas e quando aplicado adequadamente aumenta a produtividade (CARVALHO *et al.*, 2011), sendo a folha o principal componente para a identificação do status de N na planta (WIEDENFELD *et al.*, 2009). Como na maioria das culturas, o algodoeiro requer formas inorgânicas de N (KHAN *et al.*, 2017). A assimilação do N pelas plantas depende da atividade das enzimas envolvidas no ciclo do N e de energia necessária para essa assimilação, que varia em função da fonte de nitrogênio (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000).

A extração de N pelo algodoeiro para uma produção de 1.000 kg de algodão em caroço é cerca de 58 kg (VIEIRA *et al.*, 2018). A aplicação de N deve ocorrer em doses e épocas corretas, para que estimule o crescimento, florescimento, aumento da produtividade e melhore a qualidade da fibra (BONO *et al.*, 2006). A aplicação do nutriente deve ocorrer até o período de maior demanda da cultura, que pode variar com a cultivar ou com a retenção de frutos, mas normalmente ocorre por ocasião do pleno florescimento (TEIXEIRA *et al.*, 2008). Doses elevadas de N e aplicações tardias podem levar ao crescimento excessivo da cultura, formação tardia das estruturas reprodutivas e diminuição da produção, já a falta do nutriente leva a clorose das folhas, plantas de menor porte, ramos reprodutivos curtos e queda dos botões florais, flores e frutos (STAUT *et al.*, 2002).

Por ter alta mobilidade no solo, o N pode ser lixiviado e/ou volatilizado, e para evitar perdas econômicas, impactos ambientais, preservar o nutriente no solo e aumentar o rendimento das culturas (KHAN *et al.*, 2017) a eficiência do uso do N

deve ser maximizada (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Dos fertilizantes nitrogenados convencionais (ureia, sulfato de amônio e nitrato de amônio), a ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) é o mais utilizado no Brasil (IFA, 2020). Sua alta concentração de N (46%), disponibilidade no mercado, solubilidade e baixo custo por unidade de N justificam a larga utilização dessa fonte (CHIEN *et al.*, 2009). Ao ser aplicado no solo, o N da ureia pode ser perdido em até 50% na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ) (TASCA *et al.*, 2011), e isso pode variar dependendo da tecnologia do fertilizante utilizada, propriedades do solo e condições ambientais (SILVA *et al.*, 2017; SUNDERLAGE; COOK, 2018).

As perdas de N por volatilização ( $\text{NH}_3$ ) podem diminuir a produtividade da cultura e a eficiência do uso do N (ABALOS *et al.*, 2014). Contudo, o uso de novas tecnologias de fertilizantes pode reduzir as perdas de N e aumentar a eficiência do uso desse nutriente, como os fertilizantes de liberação controlada, aqueles revestidos por uma barreira física que controla a liberação do N no sistema (TRENKEL, 2010). Estes incluem um revestimento por meio de resina ou polímeros, ou mesmo com a cobertura de enxofre elementar, esses com solubilidade controlada (KANEKO *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Processos do ciclo do N no ecossistema. 1: Nitrogenase; 2: Absorção pela planta; 3: Desnitrificação; 4: Amonificação; 5: Nitrificação; 6: Imobilização. Modificado de Zhu *et al.* (2015).

Tanto os fertilizantes nitrogenados com inibidores de urease, quando os fertilizantes de liberação controlada são eficientes na recuperação do N em relação a ureia convencional (SOUZA *et al.*, 2013). A utilização da ureia revestida pode diminuir as perdas de N tanto por volatilização, como por lixiviação, devido ao sincronismo de liberação com a necessidade da cultura (CAHILL *et al.*, 2010; TRENKEL, 2010; GENG *et al.*, 2016). Conseqüentemente, a maior eficiência desses fertilizantes pode aumentar o rendimento do algodoeiro mesmo ele sendo aplicado 100% na semeadura (WANG *et al.*, 2013). Além disso, a ureia de liberação controlada pode aumentar o comprimento e a resistência da fibra, o peso médio de capulho (PMC) e o teor de N – inorgânico no período de floração até o estágio inicial de abertura dos capulhos (GENG *et al.*, 2016).

Um dos principais fatores que afetam a volatilização da amônia é a granulometria do solo, pois em solos argilosos a volatilização é menor do que em solos arenosos (SAN FRANCISCO *et al.*, 2011). Esse aumento na perda de N por amônia pode estar atribuído as características do solo apresentar maior pH, menor teor de matéria orgânica do solo (MOS) e capacidade de troca catiônica (CTC) (AWALE; CHATTERJEE, 2017). A maior CTC no solo pode diminuir as emissões de gases  $\text{NH}_3$  e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dos fertilizantes nitrogenados porque reduz a disponibilidade de N através do aumento da absorção de  $\text{NH}_4^+$  (JARECKIM *et al.*, 2008).

A  $\text{NH}_3$  produzida é dissolvida na água do solo onde é combinada com os prótons de hidrogênio formando o íon  $\text{NH}_4^+$ . Entretanto, algumas bactérias presentes no solo fazem a oxidação da  $\text{NH}_3^+$  ou  $\text{NH}_4^+$  em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), processo chamado de nitrificação (MOREIRA, 2016). O  $\text{NO}_3^-$  tem maior mobilidade nos solos arenosos, o que pode aumentar a lixiviação (MENDES *et al.*, 2015) porque esses tipos de solos tem maiores taxas de percolação de água e menor CTC (GAINES; GAINES, 1994). Portanto, o uso de fontes de liberação controlada pode diminuir as perdas de N tanto por lixiviação, como por volatilização.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do manejo da adubação nitrogenada (fontes e épocas de aplicação) sobre o teor de N no solo e na planta, produtividade e qualidade das fibras de algodão em um solo arenoso.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Os solos arenosos caracterizam-se por apresentar teores de argila e matéria orgânica inferiores a 15% e 2%, respectivamente (BALBINOT *et al.*, 2016). Esses baixos teores favorecem as perdas de N devido a maior porosidade e menor retenção de água, ou seja, ocorre maior percolação de água e lixiviação de N (LORENSINI *et al.*, 2017). No solo, esse macronutriente tem diversas transformações, e a forma nítrica ( $\text{NO}_3$ ) tem alta mobilidade e baixa ligação com os colóides, deixando-o passível de ser lixiviado (CARVALHO; ZOBAT, 2012). A perda por volatilização ocorre pela transformação do N em amônia ( $\text{NH}_3$ ) através da hidrólise enzimática da ureia no solo (ROS *et al.*, 2005).

Racionalizar o uso desse nutriente é uma medida para manter a sustentabilidade da lavoura (BOGIANI *et al.*, 2011). Uma parte do N acumulado na planta é proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo (FERREIRA; CARVALHO, 2005), por isso, para diminuir gastos com fertilizantes nitrogenados devemos utilizar plantas de cobertura para aumentar esses teores no solo (ASSIS e LANÇAS, 2005). Para as condições do cerrado, estima-se que cada 1% de MOS, na camada 0-30 cm, pode fornecer até 75 kg/ha/ano de N disponível às plantas (CARVALHO *et al.*, 2006). Cerca de 90% do nitrogênio encontrado no solo está na forma orgânica (LI *et al.*, 2013). A absorção de nitrogênio pelas plantas ocorre nas formas  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  através das raízes via transportadores (RENNENBERG *et al.*, 2010).

Na planta o N está ligado em diversos processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese, atividade das raízes, respiração, síntese de proteína, diferenciação celular e genética, sendo constituinte da molécula da clorofila e armazenado nos cloroplastos das folhas (SOARES *et al.*, 2013). A quantidade de nitrogênio absorvida pela planta varia devido a alguns fatores como: ciclo, desenvolvimento, formação das raízes e sua taxa de absorção (ARAÚJO, 2019). A deficiência desse nutriente reduz a produção de carboidratos proporcionando assim, uma menor resistência da fibra de algodão (TANG *et al.*, 2017). Além disso, o N melhora a atividade das enzimas Sacarose Sintase, Sacarose Fosfato Sintase e  $\beta$  1,3- glucanase que estão envolvidas na síntese da celulose, componente principal da fibra, e quando há uma deficiência ocorre a formação de celulose deteriorada que também pode formar fibras de baixa resistência (YING *et al.*, 2009). O N dentro da

planta é distribuído da seguinte forma: 14,1% nas paredes das maçãs, 15,9% no caule, 27,6% nas folhas e 42,2% nas sementes (MULLINS; BURMESTER, 1990).

O excesso de N, além de reduzir o rendimento de fibra, pode diminuir o micronaire, comprimento, uniformidade, resistência, alongamento e fiabilidade (FERREIRA *et al.*, 2004), mostrando que em condições de excesso de N, a planta prioriza o crescimento vegetativo (ROSOLEM; BOGIANI, 2014), o que pode aumentar o abortamento de frutos mais jovens localizados em posições mais precoces de frutificação, assim, há uma proporção maior de capulhos situados na posição superior da planta, desenvolvidos em condições mais desfavoráveis que os frutos abortados, o que gera a redução da qualidade da fibra (RAPHAEL *et al.*, 2019).

Doses adequadas de nitrogênio podem proporcionar aumento da produtividade, comprimento adequado e resistência da fibra, e ainda é essencial para o crescimento e florescimento da cultura (ROSA *et al.*, 2012). A ureia convencional é o fertilizante mais utilizado na agricultura brasileira, porém, apresenta uma baixa eficiência quando não é incorporada ao solo, devido a rápida hidrólise que ocorre e favorece a perda por volatilização (ZHAO *et al.*, 2009). Fontes diferentes de fertilizantes nitrogenados podem proporcionar maior produtividade e maior eficiência na adubação em cobertura do algodoeiro (SOUZA *et al.*, 2013).

Os fertilizantes de liberação controlada reduzem essas perdas de N que ocorrem com a utilização da ureia convencional, havendo uma barreira de proteção impedindo a exposição do nutriente, evitando assim, a atividade contínua dos mecanismos de perda (CIVARDI *et al.*, 2011). Estudos mostram que a utilização dessas tecnologias pode manter a produtividade das culturas utilizando aproximadamente 70-80% da dose de nitrogênio recomendada em relação ao outro fertilizante (BLAYLOCK, 2007). Esse mesmo autor observou um aumento no rendimento de grãos do milho e maior recuperação de N quando aplicado ureia revestida em cobertura comparado a ureia convencional. O uso da fonte de N de liberação controlada também pode ser 100% aplicado no momento em que irá realizar a semeadura, ocorrendo diminuição dos custos por diminuir operações com máquinas na lavoura (BONO *et al.*, 2006). Outro fator importante está na perda do nutriente por lixiviação, que pode ser menor dependendo da fonte utilizada (PEREIRA, 2018).

A má recuperação do nitrogênio devido à lixiviação excessiva pode reduzir a produtividade do algodão, principalmente em solos arenosos (SHAREEF *et al.*, 2018). Zareabyaneh e Bayatvarkeshi (2015) revelaram que a utilização da ureia de liberação controlada revestida com enxofre reduziu 9,9% a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  em um solo com 19% de argila durante dois anos. A diminuição da lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  além de apresentar maior eficiência de uso pelas plantas, pode reduzir impactos ambientais nos lençóis freáticos (KIRAN *et al.*, 2010).

Além disso, os fertilizantes de liberação controlada também podem reduzir as perdas de N por volatilização, na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e por óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gás de efeito estufa (TIAN *et al.*, 2015). Minato *et al.* (2020) mostra que a utilização de ureia de liberação controlada com mais camadas de proteção e revestimento mais espessos liberam o N gradualmente durante um período mais longo, reduzindo as perdas de  $\text{NH}_3$  em 36,4% comparada com a ureia não revestida. Os resultados de TIAN *et al.* (2017) mostram que a ureia de liberação controlada pode ser amplamente utilizada no sistema de produção do algodão com maior eficiência do uso do N e menor volatilização da  $\text{NH}_3$ .

Zheng *et al.* (2017) mesclou ureia convencional com ureia com liberação controlada em um sistema com milho e trigo e concluiu que a mistura dessas duas fontes pode ser recomendada para o aumento sustentável de produtividade das lavouras, manutenção da fertilidade do solo, redução da lixiviação e aumento dos lucros. A mistura da ureia convencional com a ureia de liberação controlada associada em uma única aplicação pode melhorar a produtividade de grãos do milho e criar um sistema de alto rendimento mais simples e comercialmente mais eficiente (GUO *et al.*, 2017). Essa nova alternativa de manejo pode diminuir a fertilização de N e manter o alto rendimento das culturas (QU *et al.*, 2020).

A época correta de aplicação do nitrogênio também é fundamental para o aumento de produtividade das culturas (SILVA *et al.*, 2005). As doses recomendadas de nitrogênio devem ser parceladas no plantio e em cobertura, até os 55-60 DAE, ou seja, do primeiro botão floral até o início do florescimento, principalmente em áreas com cultivo convencional e/ou solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica (CARVALHO *et al.*, 2006) para melhorar a eficiência de uso do fertilizante (MACHADO *et al.*, 2013). Estudos mostram que em período de veranico a aplicação em superfície da ureia de liberação controlada proporcionou maior produtividade ao milho do que a ureia convencional (MARTINS *et al.*, 2014).

Além de melhorar a eficiência do N no sistema, os fertilizantes de liberação controlada podem incrementar melhorias na produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro comparado aos fertilizantes convencionais (YANG *et al.*, 2016). Em sistema de rotação com gramíneas, produtividades maiores foram encontradas onde se utilizou fertilizantes de liberação controlada (SUN *et al.*, 2010). Zhang *et al.* (2000) relata que além de diminuir as perdas de N, os fertilizantes de liberação controlada podem melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos produzidos. Frazão *et al.* (2014) estudaram os efeitos das doses e das diferentes fontes de nitrogênio sobre o rendimento milho. Esses autores observaram que as fontes de nitrogênio de eficiência aumentada, tanto com NBPT, como a revestida com polímeros, aumentaram o suprimento de nitrogênio na folha e a produtividade de grãos do milho em comparação a ureia convencional. Souza *et al.* (2013) mostra em seus resultados que a utilização da ureia revestida aumenta a eficiência do uso de nitrogênio e a produtividade do algodoeiro mesmo reduzindo a dose do nutriente em 50%. Eles observaram que a cada 1 kg de N ha<sup>-1</sup> aplicado oriundo da ureia revestida com 50% da dose era convertido em 3,95@ ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço, enquanto a cada 1 kg de N ha<sup>-1</sup> aplicado pela ureia convencional com 100% da dose era convertido em 2,01@ ha<sup>-1</sup>.

O nitrato de amônio pode apresentar perdas de N na forma NH<sub>3</sub> inferiores à 15% (CABEZAS *et al.*, 1997). Chagas *et al.* (2017) mostra em seus resultados que a volatilização da NH<sub>3</sub> do nitrato de amônio é inferior as outras fontes de N, inclusive ureia revestida com polímeros e a ureia com NBPT. Esse resultado era esperado por esses autores, e eles explicam que essa redução é pelo fato de o fertilizante conter um radical nítrico e um amoniacal, sofrendo menor perda por volatilização e acidificando menos o solo. Fator esse importante, pois maiores perdas por volatilização são em solos mais ácidos (AWALE; CHATTERJEE, 2017). Outro fator do nitrato de amônio ter menores perdas é porque já está na forma em que a planta irá absorver (KRAKEKER, 2018). Além disso, quando o é algodão cultivado em solo de textura argilosa, o nitrato de amônio pode aumentar a produtividade do algodoeiro em comparação a ureia com NBPT e ureia convencional (KANEKO *et al.*, 2013). Nessas condições, é provável que os resultados possam estar associados a menor perda de N por volatilização.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Características da área experimental

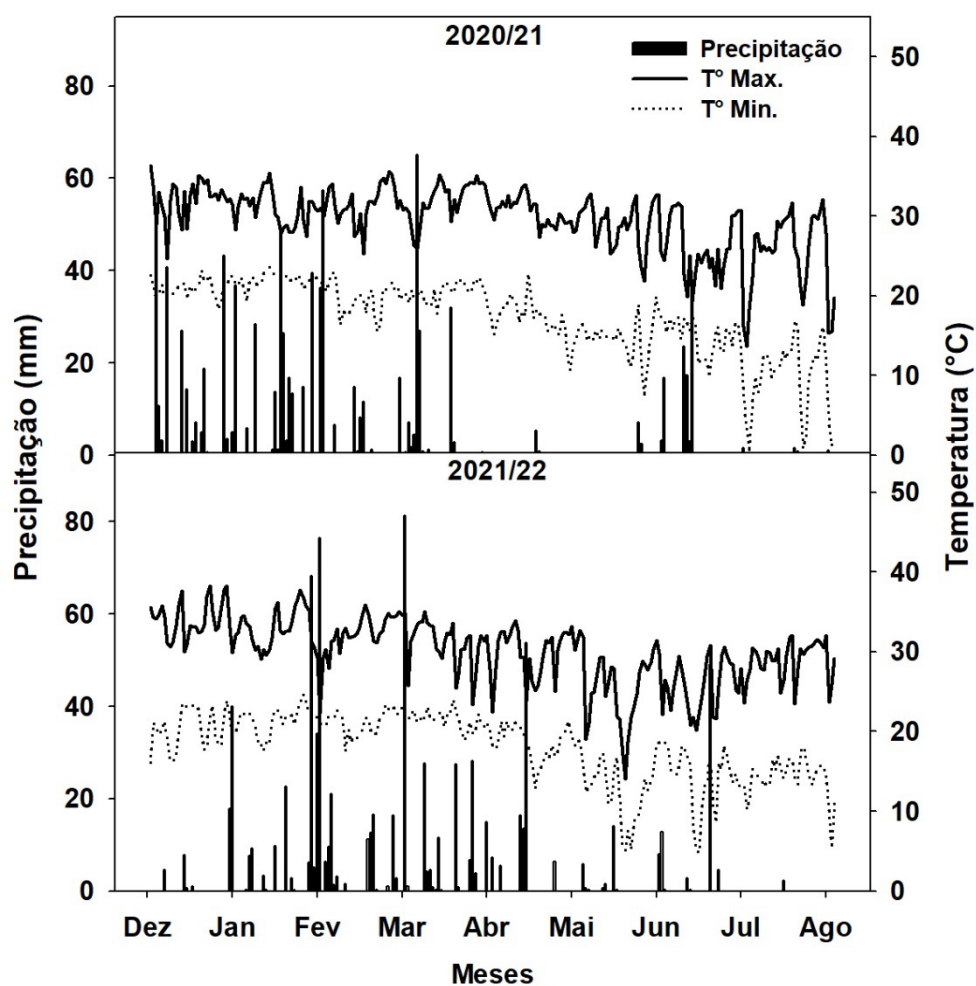
O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, no município de Presidente Bernardes-SP, nas safras 2020/21 e 2021/22. O solo desta região é classificado como Latossolo amarelo distrófico de textura arenosa (LEGRAIN *et al.*, 2015), e as características químicas antes da semeadura do algodoeiro estão na Tabela 1. A área experimental é definida pelas coordenadas geográficas: 22° 07' 32" Latitude Sul e 51° 23' 20" Longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 475 metros. Presidente Bernardes fica na região de Presidente Pudente, cuja a classificação a de Köppen, é do tipo Aw (clima tropical com verão chuvoso com o inverno seco), com temperaturas médias anuais em torno de 25 °C. Temperatura e precipitação durante as safras de condução do experimento podem ser visualizadas na Figura 2.

**Tabela 1.** Características química do solo da área experimental antes da semeadura do algodoeiro nas safras 2020/21 e 2021/22.

Safras	2020/21		2021/22	
	Profundidade (cm)			
Atributos do solo	0-20	20-40	0-20	20-40
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,0	4,3	4,7	4,6
Matéria orgânica (g dm <sup>-3</sup> )	18,6	16,0	11,4	12,2
Capacidade de troca catiônica (mmolc dm <sup>-3</sup> )	33,1	28,1	35,3	36,6
Fosforo resina (mg dm <sup>-3</sup> )	17,2	4,8	10,5	16,4
Enxofre (mg dm <sup>-3</sup> )	1,0	3,3	7,4	6,7
Alumínio trocável (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0	1,9	0,3	0,6
Alumínio + hidrogênio (mmolc dm <sup>-3</sup> )	17,6	20,6	17,6	20,6
Potássio trocável (mmolc dm <sup>-3</sup> )	1,0	0,9	1,2	1,2
Cálcio trocável (mmolc dm <sup>-3</sup> )	9,3	4,6	12,5	11,1
Magnésio trocável (mmolc dm <sup>-3</sup> )	5,1	1,9	4,0	3,6
Boro (mg dm <sup>-3</sup> )	0,2	0,1	0,4	0,3
Cobre (mg dm <sup>-3</sup> )	0,6	0,6	0,4	0,5
Ferro (mg dm <sup>-3</sup> )	29,9	22,9	26,6	35,2



Manganês ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,8	3,2	2,5	2,6
Zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,5	0,3	0,3	0,7
Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	848	841	*	*
Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	36	23	*	*
Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	116	137	*	*



**Figura 2.** Precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima nas safras 2020/21 e 2021/22.

### 3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco repetições. As parcelas foram delimitadas com 7 metros de comprimento e 3,6 metros de largura (4 linhas de algodão). Foi utilizado três diferentes fontes de

nitrogênio (Ureia (46% N); Nitrato de amônio (33% N) e Ureia de liberação controlada revestida com enxofre (40% N e 8% S)) e diferentes métodos de aplicação. Os tratamentos foram: 1 - Nitrato de amônio aplicado a lanço aos 20, 40 e 60 DAE (NA); 2 - Ureia convencional aplicada a lanço aos 20, 40 e 60 DAE (UC); 3 - Ureia convencional aplicada 100% aos 30 DAE de forma incorporada (UC 30 DAE); 4 - Ureia de liberação controlada com 70% da dose aplicada na semeadura de forma incorporada e 30% com a ureia convencional aos 50 DAE a lanço (ULC/UC); 5 - Ureia de liberação controlada com 70% da dose aplicada na semeadura de forma incorporada e 30% aos 50 DAE a lanço (ULC 70/30); 6 - Ureia de liberação controlada aplicada 100% na semeadura de forma incorporada (ULC 100 I); 7 - Ureia de liberação controlada aplicada 100% na semeadura a lanço (ULC 100 L).

O tratamento com UC 30 DAE foi inserido no segundo ano de estudo (2021/22), por isso, os gráficos e tabelas não terão resultados desse tratamento na safra 2020/21. Todos os tratamentos estão descritos na Tabela 2. A incorporação da ureia de liberação controlada foi realizada manualmente nas entre linhas de semeadura. Foi utilizado um sacho de duas pontas para abrir o sulco e incorporar o fertilizante.

**Tabela 2.** Manejo das fontes de N em diferentes épocas e formas de aplicação.

Fonte	Época de aplicação	Forma de aplicação
NA	20, 40 e 60 DAE	Lanço
UC	20, 40 e 60 DAE	Lanço
UC 30 DAE	30 DAE (100%)	Incorporado
ULC/UC	Semeadura (70%) e lanço 50 DAE (30%)	Incorporado/Lanço
ULC 70/30	Semeadura (70%) e lanço 50 DAE (30%)	Incorporado/Lanço
ULC 100 I	Semeadura (100%)	Incorporado
ULC 100 L	Semeadura (100%)	Lanço

UC: Ureia Convencional; NA: nitrato de amônio; ULC: Ureia de Liberação Controlada; DAE: Dia após a emergência.

### 3.3 Manejo de semeadura, dessecação e adubação

Em 2020, o milho foi semeado em linha dia 15/05/2020 com 200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com o intuito de correção dos teores de P no solo. Antes da semeadura do

milheto, os teores de P estavam com  $5,2 \text{ mg dm}^{-3}$ , e foram elevados para  $17,2 \text{ mg dm}^{-3}$  quando o algodão foi semeado (Tabela 1). No ano de 2021, o milheto foi semeado em linha no dia 01/06/2021. Em ambos os anos, foi realizada a semeadura com  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de sementes de milheto. A dessecação ocorreu nos dias 17/10/2020 e 18/10/2021 com glyphosate ( $1.440 \text{ g}$  de glifosato e  $1.080 \text{ g}$  de ácido de glifosato  $\text{ha}^{-1}$ ) e cletodim ( $120 \text{ gramas}$  de cletodim e  $335$  de alquilbenzeno  $\text{ha}^{-1}$ ).

A semeadura do algodoeiro ocorreu em 10/12/2020 e 30/12/2021 com as cultivares FM 974 GLT (2020/21) e TMG 22GLTP (2021/22), com 10 sementes por metro e as linhas espaçadas a  $0,9 \text{ m}$ . A adubação de base utilizada foi de  $26 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $124 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (fosfato monoamônico) na safra 2020/21 e  $13 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $33 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na safra 2021/22. Aos 20 DAE após a emergência, foi realizado o balanceamento do enxofre (S) nos tratamentos com UC, NA, ULC/UC e UC 30 DAE. A adubação potássica foi realizada na dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , dividida aos 25 e 50 DAE do algodoeiro.

### 3.4 Avaliação do tecido vegetal

Antes da semeadura do algodoeiro da safra 2021/22, foi realizada uma coleta da palhada de milheto para determinar o acúmulo de matéria seca e acúmulo de nitrogênio. A média das parcelas de cada tratamento não mostrou diferença estatística, sendo que o milheto em média, extraiu  $88,84 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. No pleno florescimento do algodoeiro (70 DAE), dez folhas por parcela foram coletadas na área útil da parcela (dois metros de linha) para análise de diagnose foliar. As folhas foram lavadas em água corrente e emergidas em água destilada e depois levadas a estufa de secagem a  $65^\circ\text{C}$  por 48 horas. Após serem tiradas da estufa, as folhas foram moídas para determinar o teor de nitrogênio no tecido vegetal (MALAVOLTA *et al.*, 1997).

### 3.5 Avaliações do solo

O teor de N inorgânico foi avaliado na camada de 0-20 no pleno florescimento do algodoeiro em ambas as safras (CANTARELLA; TRIVELLIN, 2011). Após a colheita do algodoeiro foi realizada uma coleta de solo nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm para a determinação do teor de N inorgânico ( $\text{NH}_4^+$  e

$\text{NO}_3^-$ ). O estoque de N do solo foi calculado pelo teor de N multiplicado pela densidade do solo em cada profundidade.

Para avaliar o N inorgânico, foi pesado 5 g de solo, colocados em copos plásticos e acrescentado 50 ml de cloreto de potássio e agitar por 1 h. Após a agitação, as amostras foram filtradas e pipetado 25 mL da solução em tubos para realizar a destilação. A mesma amostra foi destilada duas vezes para avaliar o amônio e nitrato. Adicionado 0,2 g de óxido de magnésio e fez-se a destilação. Na segunda destilação foi adicionado 0,2 g de liga de devarda. Após a destilação, foi feita a titulação com o ácido sulfúrico.

Em todas as amostras foi feita a determinação da umidade, pesando 5 g de solo e levado para estufa á 110°C por 24 h. Depois disso o solo foi pesado novamente para descontar a umidade.

### **3.6 Componentes de produção, produtividade e qualidade de fibra**

Por ocasião da colheita foram avaliados os componentes de produção (peso médio de capulho (PMC) e número de capulhos), mapeamento da produção (peso e número de capulhos por posição e por nó frutífero) e produtividade. A produtividade foi estimada através da colheita da área útil da parcela. A área útil da parcela foi definida como as duas linhas centrais de cultivo, sendo eliminado três metros das duas extremidades das linhas, e colhido 1 metro dessas.

Os capulhos foram contados e o PMC foi estimado através do peso da amostra da produtividade dividido pelo número de capulhos. Uma sub-amostra foi utilizada para determinação do rendimento de fibra e para avaliação dos parâmetros de qualidade de fibra do algodão (micronaire, resistência, comprimento e índice de fibras curtas) utilizando o método *High volume instrument* (HVI).

### **3.7 Análise estatística**

O estudo estatístico constou da análise de variância e de regressão, e as médias dos tratamentos experimentais foram comparadas pelo Teste de t (LSD) ao nível mínimo de 5% de probabilidade utilizando-se o software Sisvar e os gráficos foram feitos no Sigmaplot.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

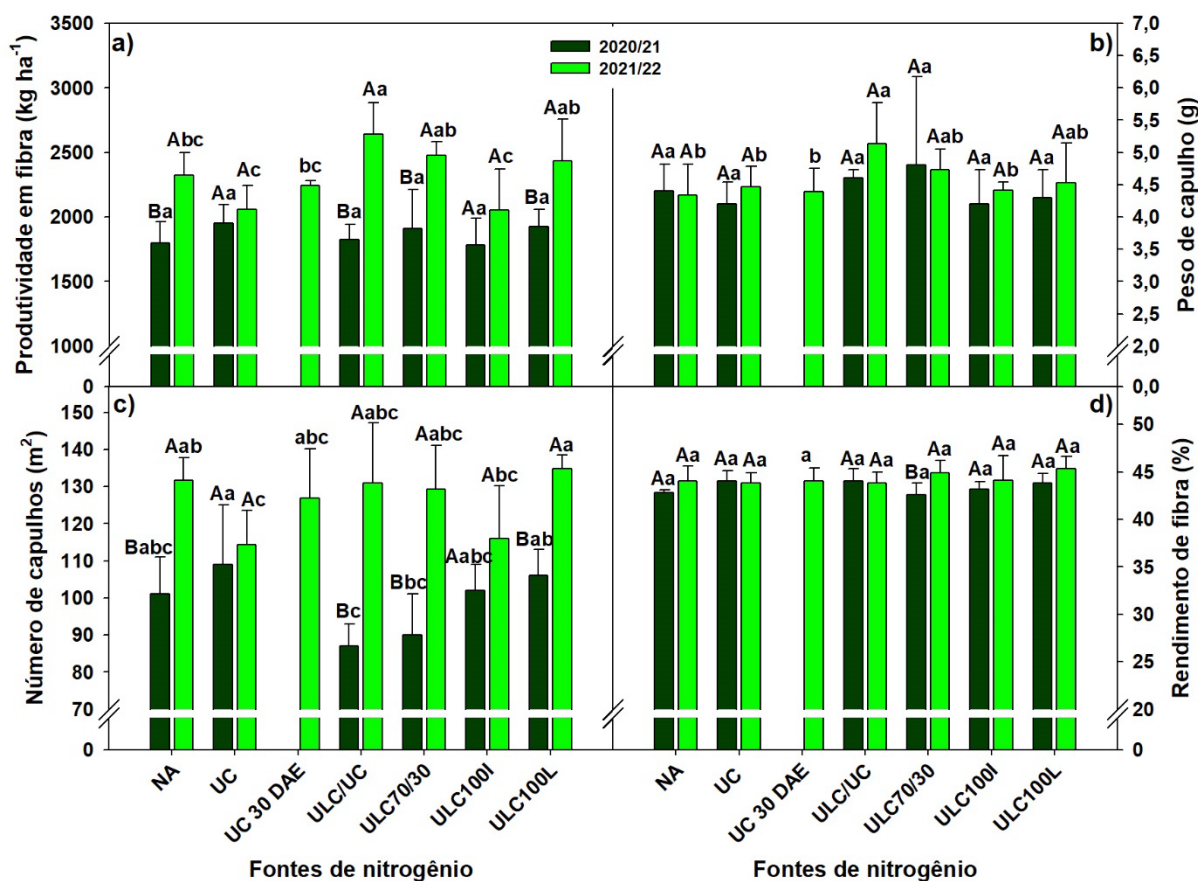
### 4.1 Produtividade e componentes de produção

Na safra 2020/21, a produtividade de fibra, peso médio de capulho e o rendimento de fibra não mostrou diferença entre os diferentes manejos de N (Figura 3a, c e d), sendo em média  $1866 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $4,1 \text{ g}$  e  $43,4\%$ , respectivamente. Dos componentes de produção, observou-se diferença entre os tratamentos somente no número de capulhos, que aumentou quando aplicou-se a ureia convencional em cobertura (Figura 3b).

Na safra 2021/22, não foi observado diferença no rendimento de fibra (Figura 3d). Ao aplicar a ureia de liberação controlada, exceto quando aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada, observamos um potencial maior de produtividade de fibra, principalmente quando associado a fonte ureia (Figura 3a). A produtividade dos tratamentos com ULC/UC, ULC 70/30 e ULC 100 L, foram 28%, 20% e 18% maiores que no tratamento com ULC 100 I.

O peso médio de capulho no segundo ano foi maior nos tratamentos que obtiveram maior produtividade (Figura 3b), sendo 18% (ULC/UC), 8% (ULC 70/30) e 4% (ULC 100 L) superior que o tratamento com nitrato de amônio. O manejo com ULC 100 L aumentou significativamente o número de capulhos, 17% e 16% maior que nos tratamentos com ureia e ULC 100 I, respectivamente (Figura 3c).

A média de produtividade do segundo ano ( $2318 \text{ kg ha}^{-1}$ ), foi 24% maior do que no primeiro ano ( $1866 \text{ kg ha}^{-1}$ ). ULC 100% L, ULC 70/30, ULC/UC e o nitrato de amônio, foram os manejos que aumentaram significativamente a produtividade no segundo ano em comparação ao primeiro (Figura 3a). Além disso, esses manejos também aumentaram o número de capulhos (Figura 3c).



**Figura 3.** Produtividade e componentes de produção (peso médio de capulho, número de capulhos e rendimento de fibra) em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas comparam as safras em cada manejo de N. Letras minúsculas comparam os manejos dentro de cada safra.  $a > b$  a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente a lanço.

A produtividade de fibra dos tratamentos variou entre as safras estudadas (Figura 3a). Na safra 2020/21 não foi observada diferença de produtividade entre os tratamentos, enquanto na safra 2021/22 a produtividade foi superior nos tratamentos

com a ureia de liberação controlada (ULC), exceto quando aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada. Na safra 2020/21, o potencial produtivo das plantas de algodão foi limitado pelo corte precoce das chuvas na segunda quinzena de março (Figura 2). Nesse período, o algodão estava com 90 DAE, e com as maçãs do terço médio se desenvolvendo e os botões florais ainda sendo fixados no terço superior, e conforme pode-se observar na Figura 4b o potencial produtivo dos tratamentos no segundo ano foi definido no terço médio (14° ao 19° nó) e superior (20° ao 24° nó), enquanto a produtividade acumulada no terço inferior foi similar entre os tratamentos (8° ao 13° nó).

O acúmulo de produtividade por nó na primeira safra se estabilizou no décimo sétimo nó (Figura 4a), onde iniciou o terço superior da planta, e como houve o corte precoce das chuvas, ocorreu o abortamento das estruturas nesse terço.

O déficit hídrico leva ao abortamento de estruturas no algodão como, botões, folhas e flores (ERGASHOVICH *et al.*, 2020), isso porque a falta de água leva a diminuição da condutância estomática da planta, o que resulta em menor potencial hídrico foliar e fotossíntese (MEEKS *et al.*, 2019; PILON *et al.*, 2019). Além disso, a seca afeta gravemente o desenvolvimento e crescimento das anteras, afetando a viabilidade do pólen (ZHANG *et al.*, 2020). Nessa condição (seca), ocorre uma maior produção de enzimas destrutivas na planta (pectinase, hidrolase e celulase), juntamente com a produção de etileno e ácido abscísico (TARIQ *et al.*, 2017; ZHAOOR *et al.*, 2017) o que leva ao abortamento das estruturas reprodutivas. Além disso, o estresse hídrico desencadeia a produção de espécies reativas de oxigênio, que regula processos biológicos e afeta negativamente o desenvolvimento reprodutivo do algodão (WANG *et al.*, 2016; HU *et al.*, 2020).

A deficiência hídrica também afeta a relação fonte-dreno da planta. Sob condições de estresse hídrico (seca), maior parte dos carboidratos são translocados para as raízes (absorção de água) seguida por folhas (fotossíntese) e frutos, e assim, menos é alocada para as partes reprodutivas (UL-ALLAH *et al.*, 2021; SHAREEF *et al.*, 2018). Portanto, o corte precoce das chuvas limitou a emissão e/ou o pegamento de estruturas reprodutivas no terço superior do algodoeiro na primeira safra, reduzindo o potencial produtivo e o efeito dos tratamentos sobre a produtividade de fibra.

Um estudo realizado em dois locais diferentes (WANG *et al.*, 2013) mostraram que as plantas fertilizadas somente com a ULC aumentam os níveis de

produtividade de algodão em comparação a aplicação da ureia comum totalmente na semeadura ou parcelada em cobertura, em 4,49% e 7,23% respectivamente. Esses autores mostram também que o nível de produtividade do algodão fertilizado com a associação de ULC (60%) e ureia (40%) não se diferencia dessa única aplicação de ULC. Esses resultados são semelhantes aos obtidos na segunda safra do presente estudo, pois as maiores produtividades de fibra foram obtidas com a aplicação da ULC, ou com a associação de ULC (70%) e UC (30%).

Os fertilizantes de liberação controlada foram produzidos para diminuir as perdas dos nutrientes e melhorar a recuperação destes pelas plantas (YANG *et al.*, 2012), entretanto, para melhorar a nutrição e a produtividade do algodão com as fontes de N de liberação controlada, a liberação do nutriente deve ser compatível com as demandas da cultura. GENG *et al.* (2016) mostraram que quando a liberação do N pela ULC é compatível com a demanda do algodoeiro, há maior incremento em produtividade em comparação à fonte convencional de ureia. Além disso, esses autores evidenciaram que há um aumento nos teores de nitrogênio inorgânico no solo quando é utilizado a ULC. A utilização da ULC em solos arenosos mostra ser vantajosa, principalmente por esse tipo de solo ter um maior potencial de perdas, o que pode resultar em maior resposta do que em solos argilosos (TIAN *et al.*, 2021). Associar o uso da ULC com ureia comum pode mitigar a volatilização de N ( $\text{NH}_3$ ) e a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$ , melhorando a absorção de N e o uso eficiente desse nutriente, e consequentemente, a produtividade da cultura (GUO *et al.*, 2021).

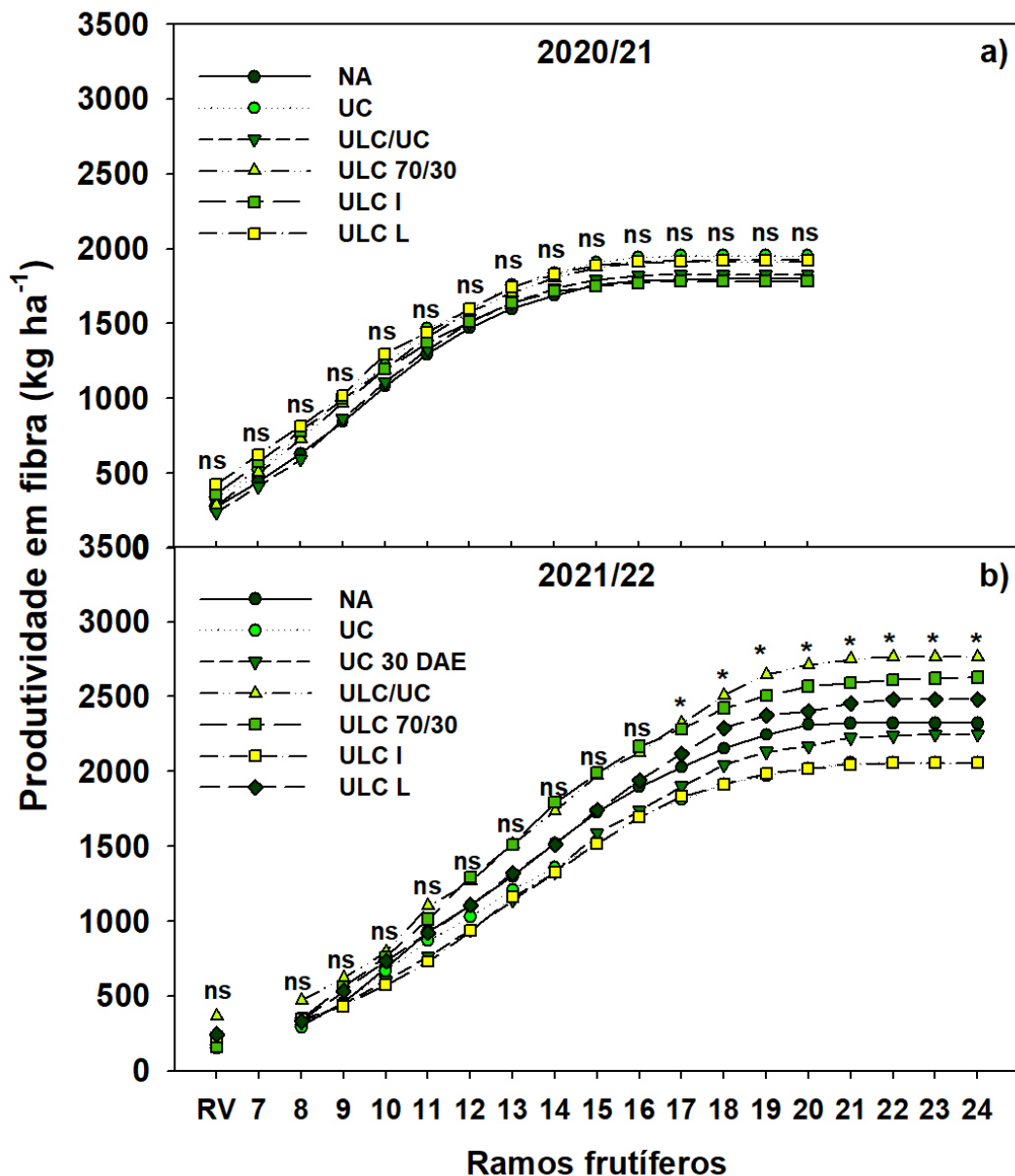
A ULC pode influenciar a produtividade de algodão em função do aumento do número e do peso de capulhos. Conforme os resultados observados os tratamentos com a ULC e a associação de ULC com UC que tiveram maior número e PMC (Figura 3b e c) foram os que tiveram maior produtividade na segunda safra (2021/22). Entretanto, no primeiro ano (2020/21) o aumento do número de capulhos foi através da fonte ureia, porém, sem efeitos na produtividade (Figura 3a e c). Cordeiro *et al.* (2022a) mostram que a produtividade de algodão pode correlacionar-se com o número ou com o peso de capulhos de forma isolada. Echer *et al.* (2020) ressaltam que a produtividade de fibra está mais relacionada com o número de capulhos do que o peso de capulhos. No primeiro ano não houve correlação da produtividade com o peso e o número de capulhos, uma vez que não houve diferença entre os tratamentos na produtividade, entretanto, no segundo ano, há



uma correlação positiva da produtividade com o número ( $r = 0,52$ ) e o peso de capulhos ( $r = 0,62$ ) (Tabela 5).

#### **4.2 Produtividade de fibra acumulada por nó frutífero**

Na safra 2020/21 não houve diferença de produtividade em nenhum dos ramos frutíferos da planta (Figura 4a), e a partir do décimo sétimo nó, há uma estabilização no acúmulo de produtividade dos tratamentos. Na segunda safra (2021/22), os manejos de adubação nitrogenada mostraram efeito a partir do décimo sétimo nó frutífero (Figura 4b). Em média, o tratamento com ULC/UC aumentou 31, 34% e 34% a produtividade nos ramos 17, 18 e 19, respectivamente, em comparação ao tratamento com ureia, e 34% no ramo 20, 21, em comparação ao tratamento com ULC 100 I (Tabela 3). A partir do vigésimo segundo nó ocorreu uma estabilização do acúmulo de produtividade, portanto, na Tabela 3 encontra-se detalhado a diferença entre os tratamentos do décimo sétimo ao vigésimo primeiro nó.



**Figura 4.** Produtividade de fibra acumulada por nó frutífero em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. ns: não significativo; \*: significativo a 5% pelo teste de T (LSD). UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na sementeira e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na sementeira e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na sementeira de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na sementeira a lanço.

**Tabela 3.** Produtividade acumulada do décimo sétimo nó ao vigésimo primeiro em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada na safra 2021/22. Letras iguais não se diferenciam pelo teste de T (LSD) a 5%. a<b.

Fontes de N	Nó				
	17	18	19	20	21
NA	2152,8 abc	2244,6 abc	2311,6 abc	2323,3 bc	2323,3 bc
UC	1912,8 c	1970,1 c	2019,3 c	2057,5 c	2057,5 c
UC 30 DAE	2046,2 bc	2132,0 bc	2166,7 bc	2225,2 bc	2238,6 bc
ULC/UC	2507,3 a	2646,6 a	2711,7 a	2748,7 a	2763,5 a
ULC 70/30	2423,3 ab	2506,6 ab	2568,4 ab	2592,4 ab	2613,5 ab
ULC 100 I	1914,5 c	1984,2 c	2019,8 c	2046,6 c	2055,6 c
ULC 100 L	2289,4 abc	2374,8 abc	2401,9 abc	2455,1 abc	2482,7 ab
CV (%)	12,51	12,62	12,39	11,89	11,83

UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço.

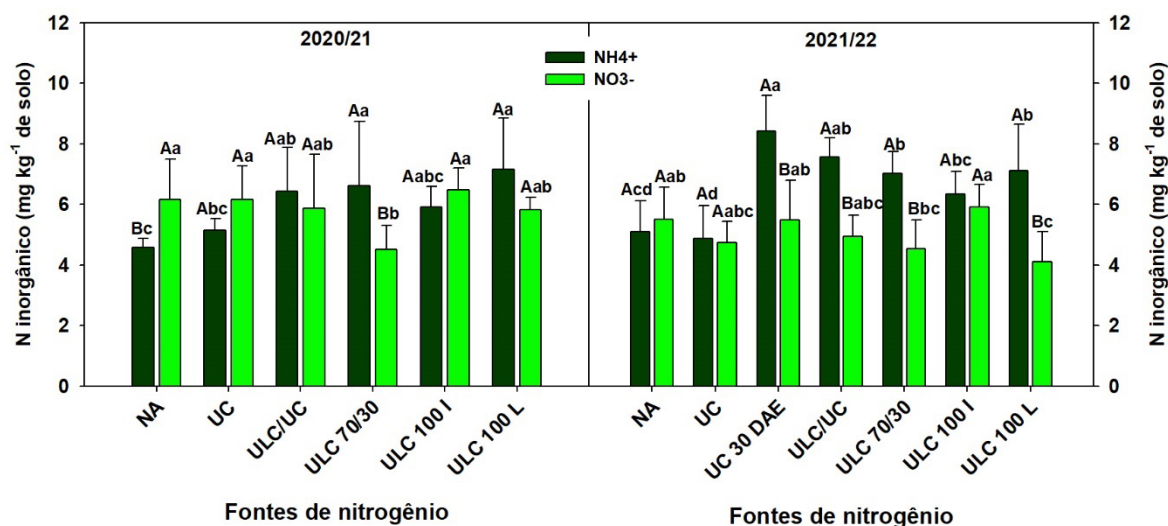
O incremento em produtividade a partir do décimo sétimo nó no segundo ano foi o que definiu a produtividade final dos tratamentos ULC/UC, ULC 70/30 e ULC 100 L (Figura 4b). A nutrição adequada com N melhora o metabolismo fisiológico do sistema fonte e dreno no terço superior da planta, garantindo a formação de novas estruturas reprodutivas e maior produtividade de fibra (CHEN *et al.*, 2019a, 2018). A ULC permite uma liberação mais lenta em relação as fontes convencionais, conseqüentemente, melhora o aproveitamento pelas culturas (TIAN *et al.*, 2017; GENG *et al.*, 2015). Os tratamentos com ULC/UC, ULC 70/30 e ULC 100 L podem ter melhorado a absorção de N pela planta de algodão durante o desenvolvimento das estruturas do terço médio e superior, garantindo maior pegamento das estruturas reprodutivas. Há relatos de que em áreas de produtividades elevadas a absorção de N pela planta e o teor de N na folha são maiores (GUO *et al.*, 2021; CORDEIRO *et al.*, 2022a; RODRIGUES *et al.*, 2022), entretanto, isso não ocorreu neste estudo.

Podemos observar que o algodão da safra 2021/22 teve um maior número de nós em comparação a safra 2020/21 (Figura 4a e b). Com a emissão de novos nós, conseqüentemente ocorre a formação de novas estruturas reprodutivas, permitindo um maior potencial produtivo (KHAN *et al.*, 2017), conforme ocorreu na safra 2021/22 em relação à safra 2020/21, principalmente nos tratamentos com ULC 100 L, ULC 70/30, ULC/UC e nitrato de amônio.

#### 4.3 Teor de N no solo em pleno florescimento

Na primeira safra (2020/21), o tratamento com ULC 100 L e ULC 70/30 tiveram a maiores médias de  $\text{NH}_4^+$ , sendo 7,15 e 6,62  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo, respectivamente, porém quando aplicado o nitrato de amônio, os teores de  $\text{NH}_4^+$  reduziram para 4,5  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo (Figura 5). As maiores médias de  $\text{NO}_3^-$  foram observados nos manejos com ULC 100 l, nitrato de amônio e ureia, com teores de 6,47, 6,16 e 6,16  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo, respectivamente.

Na safra 2021/22, o manejo com UC 30 DAE e ULC/UC aumentaram os teores de  $\text{NH}_4^+$ , 8,42 e 7,57  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo, respectivamente, enquanto o  $\text{NO}_3^-$  aumentou quando foi aplicado a ULC totalmente na semeadura de forma incorporada (Figura 5). Nessa mesma safra, houve um aumento da forma amoniacal do N nos manejos com ULC 100 L, ULC 70/30, ULC/UC e UC 30 DAE, 72%, 55%, 53%, 53%, respectivamente. Os resultados dos dois anos mostram que o manejo com ULC 100 l aumentou os teores de  $\text{NO}_3^-$ , enquanto o manejo com ULC 70/30 reduziu, em ambas as safras.



**Figura 5.** Teores de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) da camada de 0-20 cm do solo no pleno-florescimento do algodoeiro em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas comparam a forma de nitrogênio. Letras minúsculas comparam os manejos. a>b a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço.

A maioria das espécies vegetais absorvem amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) para suprir sua demanda por N (GHALY; RAMAKRISHNAN, 2015), e as condições ambientais, tipo de solo e fonte utilizada podem alterar os teores desses elementos na camada superficial do solo. Como podemos observar na Figura 5, a utilização de uma fonte de liberação controlada tende a aumentar os teores de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em comparação às fontes convencionais (ureia e nitrato de amônio) aplicadas a lanço. Isso porque a fertilização com fontes altamente solúveis em solos arenosos é propícia para aumentar a lixiviação do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em profundidade (WANG; ALVA, 1996), como podemos observar nas Figuras 7 e 8. Adicionalmente, a ureia de liberação

controlada reduz as perdas de N, aumentando o teor do nutriente no solo (ZHANG *et al.*, 2018).

Por ter baixa ligação com as argilas, o  $\text{NO}_3^-$  está passível de ser lixiviado para as camadas mais profundas do solo, e esse problema pode se agravar ainda mais em solos arenosos devido a sua alta porosidade, que favorece a drenagem mais rápida de água juntamente com a forma nítrica do N (LORENSINI *et al.*, 2017; CARVALHO; ZOBAT, 2012), por isso, mostra a importância da utilização de fontes e manejos que permitem o aumento de  $\text{NH}_4^+$  nas camadas mais superficiais. Vale ressaltar que a nitrificação pode ser algo negativo, visto que o  $\text{NH}_4^+$  pode ser armazenado na CTC do solo, diminuindo as perdas de N, principalmente em solos arenosos.

Além das fontes de liberação controlada aumentarem os teores de  $\text{NH}_4^+$  no solo, observamos isso também na safra 2021/22 quando foi aplicado a ureia totalmente incorporada aos 30 DAE (Figura 5). Isso pode ser resultado da grande quantidade de N aplicada em um único momento, da alta solubilidade do fertilizante e também pelo  $\text{NH}_4^+$  ser o primeiro elemento a ser convertido na hidrólise da ureia (GAO *et al.*, 2021).

#### **4.4 Teor de N na folha de algodão**

O teor de N na folha de algodão não mostrou diferença entre os tratamentos em ambas as safras (Tabela 4). Numericamente, os teores de N na folha foram maiores na segunda safra, entretanto, diferença foi observada somente no tratamento com ureia (2021/22).

**Tabela 4.** Teor de N na folha de algodão em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras maiúsculas comparam as safras. Letras minúsculas comparam os manejos. a>b a 5% de probabilidade.

Fontes de nitrogênio	Teor de N na folha	
	g kg <sup>-1</sup>	
	2020/21	2021/22
NA	39,5Aa	41,0Aa
UC	39,7Ba	43,0Aa
UC 30DAE	-	43,1a
ULC/UC	40,2Aa	42,6Aa
ULC 70/30	40,4Aa	42,4Aa
ULC 100I	40,2Aa	42,0Aa
ULC100L	39,9Aa	42,2Aa
CV%	4,7	

NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço.

Os teores adequados de N na folha de algodão estão entre 40 e 45 g kg<sup>-1</sup> (BORIN *et al.*, 2014). Podemos observar que na primeira safra (2020/21) os tratamentos com ULC 100 L, ureia e nitrato de amônio tiveram os teores de N levemente abaixo do adequado, enquanto os tratamentos com ULC 100 I, ULC 70/30 e ULC/UC tiveram os teores na faixa crítica de recomendação (40 g kg<sup>-1</sup>). Na segunda safra (2021/22) todos ficaram dentro dos teores considerados adequados.

Na safra 2020/21 ocorreu um período de 9 dias sem chuva antes da coleta das folhas para diagnose foliar, o que pode explicar os níveis abaixo (ULC 100 L, ureia e nitrato de amônio) e no nível crítico (ULC 100 I, ULC 70/30 e ULC/UC) dos teores de N na folha. A última chuva ocorreu 10 dias antes da coleta, com um volume de 11,6 mm, coincidindo com a aplicação de N dos tratamentos com ureia e nitrato de amônio. Sabemos que a restrição hídrica é um dos fatores que podem agravar a absorção de N pelo algodoeiro (CORDEIRO *et al.*, 2022a; DUBEY *et al.*,

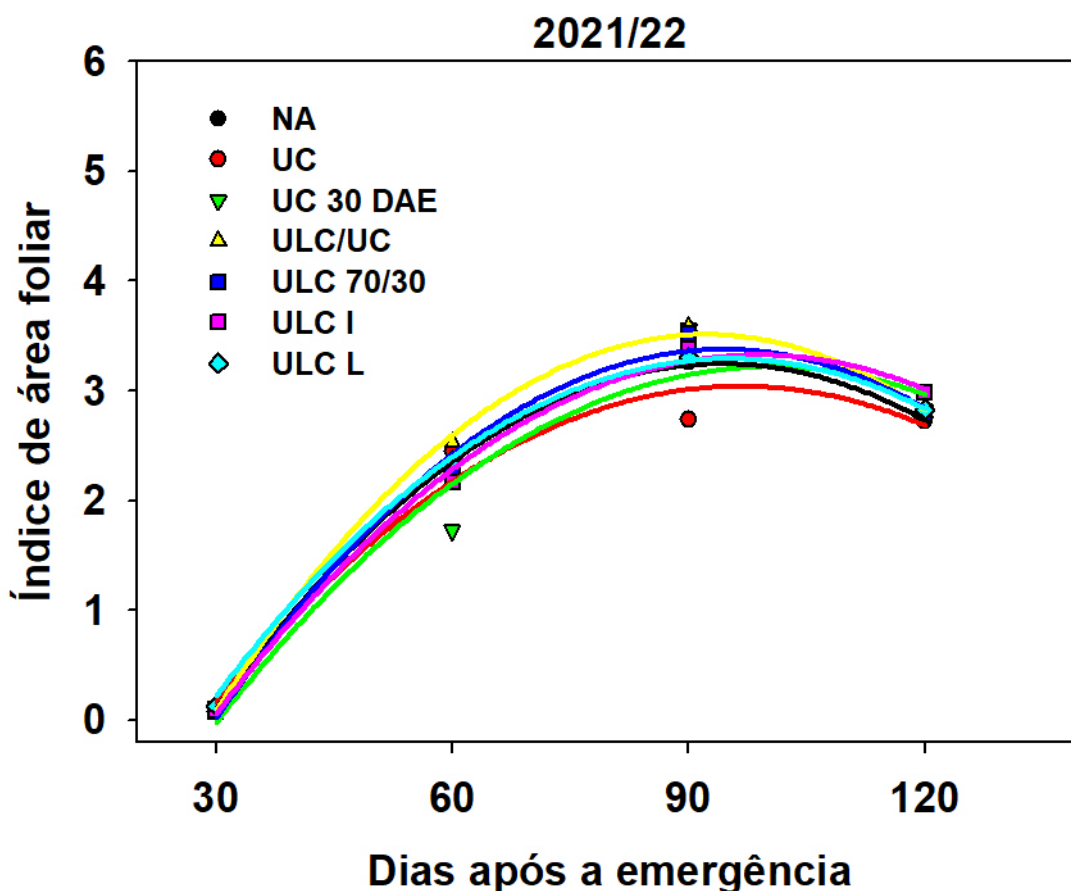
2021), isso porque o N é absorvido pela planta através do fluxo de massa (COURTY *et al.*, 2015).

Na safra 2021/22, após a aplicação do N via nitrato de amônio e ureia aos 60 DAE, ocorreu um volume de chuva acumulado até os 70 DAE (época de coleta das folhas) de 49,2 mm, o que permitiu a solubilização do fertilizante e a absorção do N pelo algodoeiro, principalmente na fonte ureia, que aumentou significativamente os teores no segundo ano em comparação ao primeiro.

#### **4.5 Índice de área foliar (IAF)**

O índice de área foliar (IAF) não variou entre os tratamentos, independente da época de avaliação (Figura 6). O pico de IAF ocorreu aos 90 DAE em todos os tratamentos, tendo uma média de 3,33.





**Figura 6.** Índice de área foliar (IAF) em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. ns: não significativo a 5%. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente a lanço.

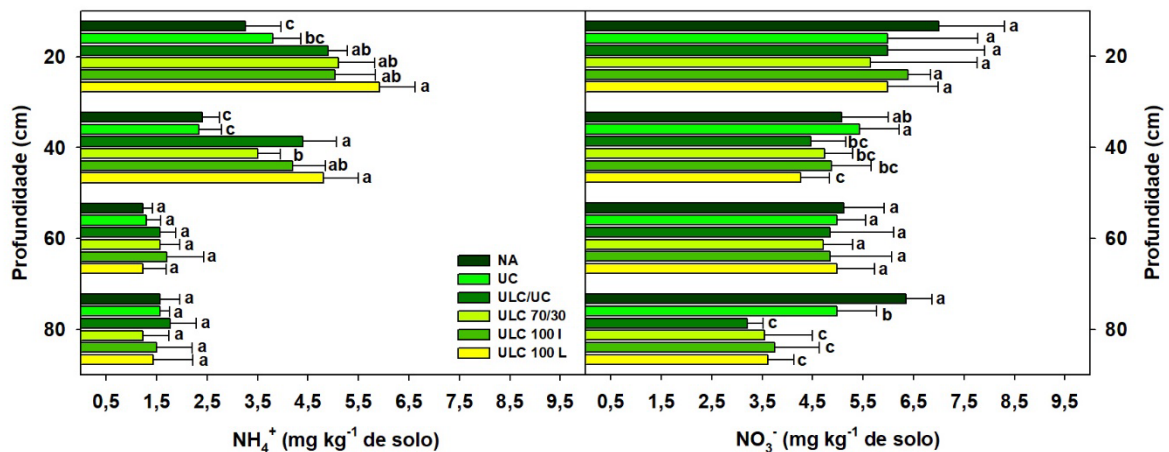
O IAF é um parâmetro importante para medir a produção de biomassa do algodão (BEDNARZ *et al.*, 2005) e, é um dos parâmetros fisiológicos que determinam a produtividade da cultura (KHAN *et al.*, 2020). Para obter elevadas produtividades é necessário manter o IAF ideal para que a cultura tenha uma maior eficiência de interceptação da radiação, principalmente nas fases de floração e formação das maçãs (CHEN *et al.*, 2019b). Vários estudos mostram uma variação no IAF ideal para a cultura do algodoeiro, que está entre 3,6 e 5,0 (BANGE; MILROY, 2004; FENG *et al.*, 2017; ASIIMWE *et al.*, 2013; DAI *et al.*, 2017; ZONG *et al.*, 2021). O IAF ideal irá depender do manejo, sistema de produção e do ambiente

de cultivo do algodoeiro. Khan *et al.* (2020) mostram que quanto maior a população de plantas, maior é o IAF, e isso tem forte influência na produtividade de fibra. Apesar de muitos trabalhos mostrarem o efeito positivo do IAF na produtividade, não houve efeito dos tratamentos no IAF.

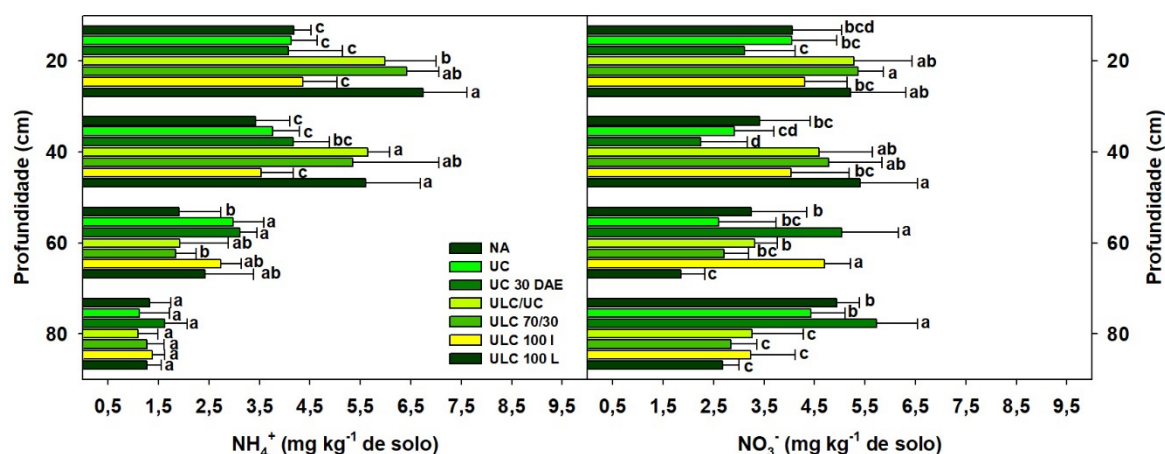
#### **4.6 Mobilidade do N em profundidade após colheita do algodão**

Na safra 2020/21, os teores de  $\text{NH}_4^+$  no solo após a colheita do algodão se diferenciaram entre os manejos apenas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade (Figura 7). A maior média de  $\text{NH}_4^+$  nas profundidades de 0-20 e 20-40 foram de 5,91 e 4,80  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, ambas no tratamento com ULC 100 L. A redução dos teores de  $\text{NH}_4^+$  ocorreu nos tratamentos com ureia e nitrato de amônio, em ambas as profundidades. Os teores de  $\text{NO}_3^-$  não se diferenciaram nas camadas de 0-20 e 40-60 cm de profundidade, enquanto nas camadas de 20-40 e 60-80 os tratamentos com ureia e nitrato de amônio aumentaram os teores de  $\text{NO}_3^-$ . A aplicação de ureia aumentou em 27% os teores de  $\text{NO}_3^-$  na camada de 20-40 cm, enquanto o manejo com nitrato de amônio aumentou em 75% na camada mais profunda. Em ambas as camadas o manejo com ULC diminuiu a mobilidade do N em profundidade.

Na segunda safra de cultivo (2021/22), os manejos com ULC 100 L, ULC 70/30 e ULC/UC aumentaram nas camadas mais superficiais (0-20 e 20-40 cm) os teores tanto de  $\text{NH}_4^+$ , como os de  $\text{NO}_3^-$  (Figura 8). Esses manejos também diminuiram a mobilidade do N na forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) nas camadas mais profundas (40-60 e 60-80 cm), enquanto o manejo com UC 30 DAE aumentou.



**Figura 7.** Mobilidade do N em profundidade (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm) na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na safra 2020/21 após a colheita do algodão em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras se diferenciam a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço.



**Figura 8.** Mobilidade do N em profundidade (0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm) na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) na safra 2021/22 após a colheita do algodão em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras se diferenciam a 5% de probabilidade pelo teste de T (LSD). Barras verticais representam erro padrão das médias. NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semente e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semente a lanço.

No mercado atual há diversos fertilizantes nitrogenados, entre eles estão os convencionais, estabilizados, de liberação lenta e os de liberação controlada (GUELF, 2017). Os novos fertilizantes (estabilizados, de liberação lenta e controlada) foram idealizados para melhorar a eficiência do uso do N pela cultura (ZHANG *et al.*, 2022), diminuindo as perdas tanto por volatilização (GUO *et al.*, 2021), como por lixiviação (INCROCCI *et al.*, 2020).

Como podemos observar em nossos resultados (Figura 7 e 8), quando utilizado o fertilizante de liberação controlada, com 100% ou 70% da dose, houve redução dos teores de  $\text{NO}_3^-$  nas camadas mais profundas (40-60 e 60-80 cm) e um aumento do  $\text{NH}_4^+$  na camada superficial (0-20 e 20-40) em comparação às fontes convencionais. A nitrificação é um processo que transforma o  $\text{NH}_4^+$  em  $\text{NO}_3^-$ , e esse processo é ainda mais acelerado em regiões tropicais com solos arenosos, aumentando o teor de  $\text{NO}_3^-$  em comparação ao de  $\text{NH}_4^+$  (CAMPOS *et al.*, 2020). Adicionalmente, essa situação pode permitir uma lixiviação de até  $33 \text{ kg ha}^{-1}$  ano de nitrato (ROSOLEM *et al.*, 2018).

Cordeiro *et al.* (2022b) relatam que a utilização da ULC aumenta a disponibilidade do  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  em média de 12% até a camada de 60 cm após a colheita do algodão. Esse aumento pode gerar um residual de N para a safra seguinte, necessitando de menos fertilizante, principalmente quando houver a utilização de plantas de cobertura para ciclagem do N. Esses autores ainda discutem que o uso isolado desses fatores (ULC ou plantas de cobertura) não é o suficiente para diminuir a taxa de lixiviação do N, e que é necessário a associação dos dois fatores. Ressaltando que, nesse estudo foi utilizado na entressafra o cultivo de milho como planta de cobertura, confirmando que a associação de ULC e plantas de cobertura podem diminuir a mobilidade do N em profundidade.

As fontes convencionais, principalmente o nitrato de amônio aumentou o N na forma nítrica na camada de 80 cm em ambas as safras. Esses resultados eram esperados, já que esse fertilizante oferta o N tanto na forma amoniacal quanto na forma nítrica. Na segunda safra, apesar da ureia aplicada totalmente aos 30 DAE aumentar o  $\text{NH}_4^+$  na camada de 0-20 cm no pleno florescimento, não impediu de elevar os teores de  $\text{NO}_3^-$  em comparação ao manejo com as ULC na camada de 40 a 80 cm de profundidade após a colheita do algodão. Complementarmente, houve redução do  $\text{NH}_4^+$  nas camadas mais superficiais (0 a 40 cm). Isso está associado ao tipo de fertilizante aplicado e ao tempo de conversão do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ . Como a fonte ureia tem sua conversão primeiramente em  $\text{NH}_4^+$ , houve um tempo para ocorrer a oxidação à forma nítrica. Binkley *et al.* (1999) relatam que, em condições de campo, a oxidação do  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$  pode ocorrer de semanas a meses. Portanto, logo após o processo de nitrificação, houve a mobilidade do N às camadas abaixo de 40 cm.

#### **4.7 Qualidade de fibra**

Entre os parâmetros de qualidade de fibra apenas o índice de fibras curtas variou entre os diferentes manejos de N (Tabela 5), que foi menor no tratamento com nitrato de amônio (2020/21), ULC 100 L e U 30 DAE (2021/22). Micronaire, resistência e comprimento de fibra não se diferenciaram entre os tratamentos, independente da safra.

**Tabela 5.** Qualidade fibra (micronaire, resistência, comprimento e índice de fibras curtas – IFC) em função dos diferentes manejos de adubação nitrogenada. Letras se diferenciam pelo teste de T (LSD) a 5% de probabilidade (a>b).

Fontes de nitrogênio	Micronaire		Resistência		Comprimento		IFC	
	ug pol <sup>-1</sup>		gf TEX <sup>-1</sup>		mm		%	
	2020/21	2021/22	2020/21	2021/22	2020/21	2021/22	2020/21	2021/22
NA	3,8a	4,4a	36,5a	32,2a	31,3a	29,8a	7,1a	7,0b
UC	3,6a	4,2a	35,8a	32,5a	30,9a	29,8a	7,8b	7,3b
UC 30DAE	-	4,3a	-	33,2a	-	30,6a	-	6,5a
ULC/UC	4,0a	4,4a	35,5a	33,5a	31,2a	30,2a	7,6ab	7,1b
ULC 70/30	3,7a	4,5a	35,0a	32,1a	31,3a	29,8a	7,4ab	7,1b
ULC 100I	3,7a	4,2a	35,1a	32,3a	31,4a	29,5a	7,3ab	7,2b
ULC100L	3,9a	4,2a	35,7a	32,3a	31,5a	30,0a	7,1a	6,7a
CV%	8,5		4,3		2,1		6,5	
Valores adequados	3,5 – 4,5		>27		>27,4		< 10	

NA – Nitrato de amônio aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC – Ureia convencional aplicada aos 20, 40 e 60 DAE; UC 30 DAE – Ureia convencional aplicada totalmente aos 30 DAE; ULC /UC – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% com ureia convencional a lanço aos 50 DAE; ULC 70 /30 – Ureia de liberação controlada aplicada 70% de forma incorporada na semeadura e 30% aos 50 DAE; ULC 100 I – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura de forma incorporada; ULC 100 L – Ureia de liberação controlada aplicada totalmente na semeadura a lanço.

As sementes de algodão são compostas por células epidérmicas que se expandem e se transformam na fibra de algodão (KHAN *et al.*, 2020). Fatores como manejo de N e condições ambientais podem afetar as características intrínsecas da fibra (SILVA *et al.*, 2022). O déficit hídrico pode reduzir o número de nós, e conseqüentemente, o número de capulhos (drenos) (ECHER *et al.*, 2020), que pode conservar a qualidade da fibra (GORMUS, 2002), entretanto, não foi observado para micronaire, resistência e comprimento os efeitos dos manejos de N (2020/21 e 2021/22) e do déficit hídrico (2020/21).

Uma das características chave da fibra é o micronaire (ZUMBA *et al.*, 2018), que é um grande indicador da espessura da fibra, e os valores desejáveis estão

entre 3,5 a 5,0  $\mu\text{g pol}^{-1}$  (SNIDER *et al.*, 2022), com faixa premium entre 3,5 e 4,2  $\mu\text{g pol}^{-1}$ . A resistência e o comprimento da fibra também tem os valores desejáveis pelo mercado têxtil, que são acima de 27 gf  $\text{TEX}^{-1}$  e 27,4 mm, respectivamente (LIMA; BÉLOT, 2020). Podemos observar na Tabela 4 que os valores de micronaire, resistência e comprimento estão nos valores desejáveis.

A baixa porcentagem de fibras curtas é uma característica desejável ao mercado têxtil, e reduziu quando foi aplicado o nitrato de amônio (2020/21), ULC 100 L e U 30 DAE (2021/22). Um estudo feito por Ayele *et al.* (2017) mostra que fibras mais maduras tem um menor índice de fibras curtas. A melhor nutrição com N pode aumentar a maturidade da fibra, principalmente nas estruturas localizadas no terço superior das plantas (SILVA *et al.*, 2022). Apesar do aumento do índice de fibras curtas nos demais tratamentos, todos estão nos valores desejáveis, que são abaixo de 10% (LIMA; BÉLOT, 2020).

#### 4.8 Correlações

Pouca correlação da produtividade foi encontrada entre as variáveis analisadas (Tabela 6). No primeiro ano, os componentes de produção não mostraram correlação com a produtividade, entretanto, no segundo ano foi observado que a produtividade de fibra está correlacionada com o número e o peso médio de capulhos. Em ambas as safras, a porcentagem de fibra e o teor de N na folha do algodão não foram correlacionadas com a produtividade.

**Tabela 6.** Correlação de Pearson da produtividade com os componentes de produção (número de capulhos, peso de capulhos e % de fibra), teor de N na folha, qualidade de fibra (micronaire, resistência, comprimento e IFC). ns: não significativo; \*\*: significativo < 1%; \*: significativo entre 1 a 5%.

	Produtividade de fibra	
	2020/21	2021/22
Número de capulhos	0,09 <sup>ns</sup>	0,52 <sup>**</sup>
Peso médio de capulhos	0,28 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>**</sup>
% fibra	0,20 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
N na folha	-0,04 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>

O rendimento de fibra, número de capulhos e o peso médio de capulhos são os principais componentes de produção da cultura do algodão. Dentre eles, o número de capulhos é o componente mais determinante da produtividade do algodão (SHARMA *et al.*, 2015; ECHER *et al.*, 2020), apesar disso, nos nossos resultados observamos que a produtividade teve maior correlação com o peso médio de capulhos do que com o número de capulhos na segunda safra (Tabela 6). Há relatos em que o peso médio de capulho pode determinar de forma isolada a produtividade do algodão (CORDEIRO *et al.*, 2022a), e que, além do número de capulhos, o rendimento de fibra também pode estar associado à maiores produtividades de fibra (ZHI *et al.*, 2016).



## 5 CONCLUSÕES

Em anos agrícolas cujas condições climáticas resultem em menor comprimento do ciclo de cultivo, como na safra 2020/21, uma única aplicação da ureia de liberação controlada na semeadura a lanço pode trazer benefícios ao produtor, sem afetar a produtividade e a qualidade de fibra do algodão. Por outro lado, quando o clima favorece o aumento do ciclo, como em 2021/22, há três estratégias de adubação para elevar os níveis de produtividade sem afetar a qualidade de fibra: 1°) Aplicar 70% da dose de N na semeadura com a ureia de liberação controlada de forma incorporada e os outros 30% restantes aos 50 dias após a emergência com a fonte ureia. 2°) Realizar a adubação somente com a aplicação da ureia de liberação controlada, porém, parcelar 70% na semeadura de forma incorporada e 30% em cobertura aos 50 DAE. 3°) Realizar uma única adubação com 100% da dose de N na semeadura aplicada a lanço com a fonte de ureia de liberação controlada.

Os manejos com ULC 100 L, ULC 70/30 e ULC/UC podem permitir maior disponibilidade do N inorgânico, inclusive  $\text{NH}_4^+$  na camada de 0-20 cm no pleno-florescimento do algodoeiro. Além disso, podem diminuir a mobilidade do  $\text{NO}_3^-$  nas camadas mais profundas (40-80 cm) após a colheita do algodão e aumentar os teores de  $\text{NH}_4^+$  nas camadas mais superficiais (0 a 40 cm).

## REFERÊNCIAS

- ABALOS, D.; JEFFERY, S.; SANZ-COBENA A.; GUARDIA G.; VALLEJO A. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 2014. DOI:10.1016/J.AGEE.2014.03.036
- ABRAPA. **Algodão no Brasil**. 2020. Disponível: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>
- ARAÚJO, Matheus Antônio. **Avaliação do método de Kjeldahl na determinação de nitrogênio e sua aplicação na análise foliar**. 2019. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- ASIIMWE, R. K.; SANCHEZ, P. A. E.; WANG, G. Plant architecture influences growth and yield response of upland cotton to population density. **Field Crops Research**, n.145, p.52-59, 2013.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférrico sob sistema de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.515-522, 2005.
- AWALE, R.; CHATTERJEE, A. Enhanced efficiency nitrogen products influence ammonia volatilization and nitrous oxide emission from two contrasting soils. **Agronomy Journal**, v.109, n.1, p.47-57, 2017.
- AYELE, A.; HEQUET, E.; KELLY, B. The impact of fiber maturity on estimating the number of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fibers per seed surface area. **Industrial Crops and Products**, n.102, p.16-22, 2017.
- BALBINOT, A. A. J.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; WERNER, F.; FERREIRA, A.S. Nitrogênio mineral na soja integrada com a pecuária em solo arenoso. **Revista Agroambiente Online**, v.10, n.2, p.107-113, 2016.
- BANGE, M. P.; E MILROY, S. P. Growth and dry matter partitioning of diverse cotton genotypes. **Field Crops Research**, v.87, n.1, p.73-87, 2004.
- BLAYLOCK, A. O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. **Informações Agronômicas**, n.120, p.8-10, dez. 2007.
- BEDNARZ, C. W.; SHURLEY, W. D.; ANTHONY, W. S.; E NICHOLS, R. L. Yield, quality, and profitability of cotton produced at varying plant densities. **Agronomy Journal**, v.97, n.1, p.235-240, 2005.
- BINKLEY, D.; HEATHER BURNHAN; ALLEN, H. L. Water quality impacts of forest fertilization with nitrogen and phosphorus. **Forest Ecology and Management**, v.121, p.191-213, 1999.

BOGIANI, J. C.; FERREIRA, G. B.; SMIDERLE, O. J.; de OLIVEIRA JUNIOR, M. C. M.; BORIN, A. L. D. C. Adubação com potássio e nitrogênio de cultivares de algodoeiro sob sistema de cultivo adensado. In Embrapa Roraima-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO*, 8.; COTTON EXPO, 1., 2011. **Anais [...]**.Campina Grande: Embrapa Algodão, 2011.

BONO, J. A. M.; ALBUQUERQUE S. J. C.; SPEKKEN, S. S. P. O nitrogênio protegido como alternativa de fertilizante para o uso no plantio da cultura do algodão. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v.10, n.1, p.39-45, 2006.

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B. E.; CARVALHO, M. D. Adubação do algodoeiro no ambiente de Cerrado. **Comunicado Técnico**, n.375, 2014.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, n.2, p.365-372, apr. 2000.

CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; 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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.3, p.489-496, 1997.

CAHILL, S.; OSMOND, D.; WEISZ, R.; HEINIGER, R. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for the production of corn and winter wheat. **Agronomy Journal**, n.102, p.1226-36, 2010.

CAMPOS, C. A.; SUAREZ, M. G.; LABORDE, J. Analyzing vegetation cover-induced organic matter mineralization dynamics in sandy soils from tropical dry coastal ecosystems. **Catena**, v.185, p.104264, 2020.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. **Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor**. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p.271-276.

CARVALHO, M.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. *In: FREIRE, E. C. (Ed.). Algodão no cerrado do Brasil*. 2. ed. Brasília: ABRAPA, 2011. p. 677-752.

CARVALHO, M. D.; LEANDRO, W. M.; FERREIRA, A. D. B.; BARBOSA, K. A. Sugestão de adubação nitrogenada do algodoeiro para o Estado de Goiás com base em resultados de pesquisa. **Comunicado Técnico**, 2006.

CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente?. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.6, n.6, p.960-974, 2012.

CHAGAS, P. H. M.; GOUVEIA, G. C. C.; COSTA, G. G. S. BARBOSA, W. F. S.; ALVES, A. C. Volatilização de amônia em pastagem adubada com fontes nitrogenadas. **Journal of Neotropical Agriculture**, v.4, n.2, p.76-80, 2017.

- CHEN, J.; LIU, L.; WANG, Z.; SUN, H.; ZHANG, Y.; BAI, Z.; LI, C. Nitrogen fertilization effects on physiology of the cotton boll–leaf system. **Agronomy**, v.9, n.6, p.271, 2019a.
- CHEN, Z.; NIU, Y.; ZHAO, R.; HAN, C.; HAN, H.; LUO, H. The combination of limited irrigation and high plant density optimizes canopy structure and improves the water use efficiency of cotton. **Agricultural Water Management**, n.218, p.139-148, 2019b.
- CHEN, Y.; LI, Y.; ZHOU, M.; RUI, Q.; CAI, Z.; ZHANG, X.; CHEN, D. Nitrogen (N) application gradually enhances boll development and decreases boll shell insecticidal protein content in N-deficient cotton. **Frontiers in Plant Science**, n.9, p.51, 2018.
- CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, A. H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, n.102, p.267-322, 2009.
- CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N. D.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.52-59, 2011.
- CONAB. 2022. Disponível: <https://www.conab.gov.br/>
- CORDEIRO, C. F. S.; RODRIGUES, D. R.; ECHER, F. R. Cover crops and controlled-release urea decrease need for mineral nitrogen fertilizer for cotton in sandy soil. **Field Crops Research**, n.276, p.108387, 2022a.
- CORDEIRO, C. F. D. S.; RODRIGUES, D. R.; RORATO, A. F. D. S.; ECHER, F. R. Cover crops and controlled-release urea decrease nitrogen mobility and improve nitrogen stock in a tropical sandy soil with cotton cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.46, 2022b.
- COURTY, P. E.; SMITH, P.; KOEGEL, S.; REDECKER, D.; WWPF, D. Inorganic nitrogen uptake and transport in beneficial plant root-microbe interactions. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.34, n.1-3, p.4-16, 2015.
- DAI, J.; KONG, X.; ZHANG, D.; LI, W.; DONG, H. Technologies and theoretical basis of light and simplified cotton cultivation in China. **Field Crops Research**, n.214, p.142-148, 2017.
- DUBEY, R. S.; SRIVASTAVA, R. K.; PESSARAKLI, M. Physiological mechanisms of nitrogen absorption and assimilation in plants under stressful conditions. *In: Handbook of plant and crop physiology*. CRC Press, 2021. p.579-616.
- ECHER, F. R.; PERES, V. J. S.; ROSOLEM, C. A. Potassium application to the cover crop prior to cotton planting as a fertilization strategy in sandy soils. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1-10, 2020.

ERGASHOVICH, K. A.; AZAMATOVNA, B. Z.; TOSHETEMIROVNA, N. U.; RAKHIMOVNA, A. K. Ecophysiological effects of water deficiency on cotton varieties. **Journal of Critical Reviews**, v.7, n.9, p.244-246, 2020.

FENG, L.; DAI, J.; TIAN, L.; ZHANG, H.; LI, W.; DONG, H. Review of the technology for high-yielding and efficient cotton cultivation in the northwest inland cotton-growing region of China. **Field Crops Research**, n.208, p.18-26, 2017.

FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. **Adubação do algodoeiro no Cerrado: resultados de pesquisa em Goiás e Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão 2005. (Documentos, 138)

FERREIRA, G. B.; SEVERINO, L. S.; PEDROSA, M. B.; ALENCAR, A. R.; VASCONCELOS, O. L., FERREIRA, A. F. ABREU JR., J. S. **Resultados de pesquisa com a cultura do algodão no Oeste e Sudoeste da Bahia, Safra 2003/2004**. Campina Grande, Embrapa Algodão. 2004. (Documentos, 133)

FRAZÃO, J. J.; SILVA, Á. R. D.; SILVA, V. L. D.; OLIVEIRA, V. A.; CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.12, p.1262-1267, 2014.

GAINES, T. P.; GAINES, S. T. Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.25, n.13-14, p.2561-2570, 1994.

GAO, J.; LUO, J.; LINDSEY, S.; SHI, Y.; WEI, Z.; WANG, L.; ZHANG, L. Effects of boric acid on urea-N transformation and 3, 4-dimethylpyrazole phosphate efficiency. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.101, n.3, p.1091-1099, 2021.

GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; LIU, Z. Effects of polymer-coated urea and sulfur fertilization on productivity, nitrogen use efficiency and cotton leaf senescence. **Field Crops Research**, n.187, p.87-95, 2016.

GENG, J.; MA, Q.; ZHANG, M.; LI, C.; LIU, Z.; LYU, X.; ZHENG, W. Synchronized relationships between nitrogen release of controlled release nitrogen fertilizers and nitrogen requirements of cotton. **Field Crops Research**, n.184, p.9-16, 2015.

GHALY, A. E.; RAMAKRISHNAN, V. V. Nitrogen sources and cycling in the ecosystem and its role in air, water and soil pollution: a critical review. **Journal of Pollution Effects & Control**, p.1-26, 2015.

GORMUS, O. Effects of rate and time of potassium application on cotton yield and quality in Turkey. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.188, n.6, p.382-388, 2002.

GUELFY, D. **Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada**. Piracicaba: IPNI, 2017.

GUO, J.; WANG, Y.; BLAYLOCK, A. D.; CHEN, X. Mixture of controlled release and normal urea to optimize nitrogen management for high-yield corn (> 15 Mg ha<sup>-1</sup>). **Survey of Field Crops**, v.204, p.23-30, 2017.

GUO, J.; FAN, J.; ZHANG, F.; YAN, S.; ZHENG, J.; WU, Y.; LI, Z. Blending urea and slow-release nitrogen fertilizer increases dryland maize yield and nitrogen use efficiency while mitigating ammonia volatilization. **Science of The Total Environment**, n.790, p.1480, 2021.

HU, W.; HUANG, Y.; BAI, H.; LIU, Y.; WANG, S.; ZHOU, Z. Influence of drought stress on pistil physiology and reproductive success of two *Gossypium hirsutum* cultivars differing in drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, v.168, n.4, p.909-920, 2020.

IFA STAT. **International fertilizer association**. 2020. Disponível em: <https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition>

INCROCCI, L.; MAGGINI, R.; CEI, T.; CARMASSI, G.; BOTRINI, L.; FILIPPI, F.; PARDOSSI, A. Innovative controlled-release polyurethane-coated urea could reduce N leaching in tomato crop in comparison to conventional and stabilized fertilizers. **Agronomy**, v.10, n.11, p.1827, 2020.

JARECKIM, M.; PARKIN T. B.; CHAN, A. S. K.; HATFIELD, J. L.; JONES, R. Greenhouse gas emissions from two soils receiving nitrogen fertilizer and swine manure slurry. **Journal Environmental**, v.37, p.1432-1438, 2008. Doi: 10.2134/jeq2007.0427

JAWORSKI, E. G. Nitrate reductase assay in intact plant tissues. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.43, p.1274-1279, 1971.

KANEKO, F. H.; LEAL, A. J. F.; ANSELMO, J. L.; BUZZETI, S.; TOSTA, F. D. S. Fontes e manejos da adubação nitrogenada em algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.1, p.57-63, 2013.

KHAN, A.; NAJEEB, U.; WANG, L.; TAN, D. K. Y.; YANG, G.; MUNSIF, F.; HAFEEZ, A. Planting density and sowing date strongly influence growth and lint yield of cotton crops. **Field Crops Research**, v.209, p.129-135, 2017.

KHAN, N.; XING, F.; FENG, L.; WANG, Z.; XIN, M.; XIONG, S.; LI, Y. Comparative yield, fiber quality and dry matter production of cotton planted at various densities under equidistant row arrangement. **Agronomy**, v.10, n.2, p.232, 2020.

KIRAN, J. K.; KHANIF, Y. M.; AMMINUDDIN, H.; ANIAR, A. R. Effects of controlled release urea on the yield and nitrogen nutrition of flooded rice. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v.41, p.811-819, 2010.

KRAKEKER, A. M. **Fontes de nitrogênio no cultivo do milho**. 2018. Monografia (Trabalho de Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

LEGRAIN, X.; BERDING, F.; DONDEYNE, S.; SCHAD, P.; CHAPELLE, J. **World reference base for soil resources 2014**. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO, 2015.

LORENSINI, F.; CARETTA, C. A.; CONTI, L.; FERREIRA, P. A. A.; DANTAS, N.K.L.; BRUNETTO, G. Adubação nitrogenada na fase de crescimento da videira 'Chardonnay' e 'Pinot noir' e formas de nitrogênio em solo arenoso do bioma pampa. **Revista Ceres**, v.64, n.4, p.433-440, 2017.

LI, S.X.; WANG, Z.H.; STEWART, B.A. Chapter five – responses of crop to ammonium and nitrate N. **Advances in Agronomy**, v.118, p.205–397, 2013.

LIMA J.J.; BÉLOT, J. L. A fibra de algodão: qualidade e classificação. *In*: BELOT, J.L.; VILELA, P.M.C.A. (Org.). **Manual de boas práticas de algodão em Mato Grosso**. 4. ed. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão, 2020. p.382-398.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E.; LANA, R. M. Q.; SILVA, A. A.; RIBEIRO, V. J. (2013). Produtividade da cultura do milho em função de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.8, n.5, p.93-104, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.3, p.271-279, 2014.

MEEKS, C. D.; SNIDER, J. L.; BABB-HARTMAN, M. E.; BARNES, T. L. Evaluating the mechanisms of photosynthetic inhibition under growth-limiting, early-season water deficit stress in cotton. **Crop Science**, n.59, n.3, p.1144-1154, 2019.

MENDES, I. C.; SOUZA, D. M. G.; JUNIOR, F. B. R. Bioindicadores de qualidade de solo dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.32, n.1/2, p.185-203, jan./ago. 2015.

MOREIRA, A. C. M. **Fracionamento de N no solo e na cultura da soja manejada em sistema de semeadura direta com rotação de culturas**. 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2016.

PAIVA, F. I. G. *et al.* Qualidade da fibra do algodoeiro BRS verde irrigado com águas de diferentes níveis salinos. **Irriga**, v.1, n.1, p.209-220, 2016.

PEREIRA, M. D. S. **Lixiviação de amônio e nitrato em um latossolo vermelho distrófico cultivado com algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch) em função de doses e fontes de nitrogênio em sistemas irrigado e não irrigado**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018.

PILON, C.; LOKA, D.; SNIDER, J. L.; OOSTERHUIS, D. M. Drought-induced osmotic adjustment and changes in carbohydrate distribution in leaves and flowers of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.205, n.2, p.168-178, 2019.

QU, Z.; QI, X.; SHI, R.; ZHAO, Y.; HU, Z.; CHEN, Q.; LI, C. Reduced N Fertilizer Application with Optimal Blend of Controlled-Release Urea and Urea Improves Tomato Yield and Quality in Greenhouse Production System. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 1-10, 2020.

RAPHAEL, J. P. A.; ROSOLEM, C. A.; ECHER, F. R. Distribuição na produção do algodoeiro, fatores ecofisiológicos e implicações sobre a produtividade e sobre a qualidade da fibra. *In: Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso*. 4. ed. Cuiabá: IMAmt, 2020. p.112-134,

RENNENBERG, H.; WILDHAGEN H.; EHLTING, B. Nitrogen nutrition of poplar trees. **Plant Biology**, v.12, p.275–291, 2010. doi: 10.1111/j.1438-8677.2009.00309.x

RODRIGUES, D. R.; CORDEIRO, C. F. D. S.; Echer, F. R. Low soil fertility impairs cotton yield in the early years of no-tillage over degraded pasture. **Journal of Plant Nutrition**, p.1-11, 2022.

ROS, C. O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, n.4, p.799-805, 2005.

ROSA, H. A.; SANTOS, R. F.; VIEIRA, M. D.; WERNER, O. V.; DELAI, J. M.; OLIVEIRA, M. R. Nitrogênio na cultura do Algodão. **Acta Iguazu**, v.1, n.1, p.64-68, 2012.

ROSOLEM, C. A.; BOGIANI, J. C. Nutrição e estresses nutricionais em algodoeiro. *In: O algodoeiro e os estresses abióticos: temperatura, luz, água e nutrientes*. Cuiabá: IMAmt/AMPA, 2014. p.103-21.

ROSOLEM, C. A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A.; OCHSNER, T. E. Nitrate leaching in soybean rotations without nitrogen fertilizer. **Plant and Soil**, n.423, p.27-40, 2018.

SAN FRANCISCO, S.; URRITA, O.; MARTIN, V.; PERISTEROPOULOS, A.; GARCIA, M. J. M. Efficiency of urease and nitrification inhibitors in reducing ammonia volatilization from diverse nitrogen fertilizers applied to different soil types and wheat straw mulching. **Journal Science Food Agricultural**, v.91, p.1569-1575, 2011. Doi: 10.1002/jsfs.4349

SHARMA, B.; MILLS, C. I.; SNOWDEN, C.; RITCHIE, G. L. Contribution of boll mass and boll number to irrigated cotton yield. **Agronomy Journal**, v.107, n.5, p.1845-1853, 2015.

SHAREEF, M.; GUI, D.; ZENG, F.; AHMED, Z.; WAGAS, M.; ZHANG, B.; FIAZ, M. Impact of drought on assimilates partitioning associated fruiting physiognomies and



yield quality attributes of desert grown cotton. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.40, n.4, p.1-12, 2018.

SILVA, E. C. D.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. D. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.353-362, 2005.

SILVA, G. R. A.; ROCHA, C. H.; ECHER, F. R. Impact of cover crops and nitrogen on cotton fiber cellulose and quality traits. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, p.1-14, 2022.

SILVA, I. C. D. **Crescimento e produtividade do algodoeiro em função da aplicação de nitrogênio e níquel**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

SILVA, S. M. D.; OLIVEIRA, L. J.; FARIA, F. P.; REIS, E. F. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, S. M. D. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Ciência Rural**, v.41, n.11, p.1931-1937, 2011.

SNIDER, J.; VIRK, G.; PARKASH, V.; KAUR, N. Efeito das altas temperaturas e da seca na fisiologia, produtividade e qualidade das fibras de algodão. *In*: ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. **Fisiologia aplicada ao manejo do algodoeiro**. 1. ed. Cuiabá: IMAmt, 2022. p.14-36.

SOARES, H. R.; NETO, E. B.; BARRETO, L. P.; LIRA, R. M.; LUCENA, E. H. L.; LIMA, N. S.; SILVA, A. Comparação de metodologias para determinação de N- Total em tecido vegetal. *In*: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENÇÃO, 13. **Anais [ ...]**. JEPEX 2013.

SOUZA, J. R.; CASTRO, G. S. A.; RIBEIRO, B. N.; ROLIM, M. V.; KANEKO, F. H. Manejo de nitrogênio revestido com polímeros na cultura do algodão. **Acta Iguazu**, v.2, n.1, p.43-49, 2013.

STAUT, L. A.; LAMAS, F. M.; KURIHARA, C. H.; REIS JÚNIOR, R. D. A. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do algodoeiro em sistema plantio direto. **Comunicado Técnico**, n.67, 2002.

SUN, K. G.; HE, A. L.; HU, Y.; LI, B.Q. Study on the effect of the control released urea in the wheat-corn rotation system. **Journal Soil Science**, v.41, p.1125–1129. 2010.

SUNDERLAGE, B.; COOK, R. L. Soil property and fertilizer additive effects on ammonia volatilization from urea. **Soil Science Society of America Journal**, v.82, n.1, p.253-259, 2018.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.493-502, 2011.

TANG, F.; CHEN, L.; SHAO, D.; WANG, T.; ZHANG, M. Nonstructural carbohydrates in leaves subtending cotton bolls, fibers and embryos in response to nitrogen stress. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.64, n.6, p.763-775, 2017.

TARIQ, M.; YASMEEN, A.; AHMAD, S.; HUSSAIN, N.; AFZAL, M. N.; HASANUZZAMAN, M. Shedding of fruiting structures in cotton: factors, compensation and prevention. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.20, n.2, p.251-262, 2017.

TEIXEIRA, I. R.; KIKUTI, H.; BORÉM, A. Crescimento e produtividade de algodoeiro submetido a cloreto de mepiquat e doses de nitrogênio. **Bragantia**, v.67, n.4, p.891-897, 2008.

TIAN, Z.; WANG, J. J.; LIU, S.; ZHANG, Z.; DODLA, S. K.; MYERS, G. Application effects of coated urea and urease and nitrification inhibitors on ammonia and greenhouse gas emissions from a subtropical cotton field of the Mississippi delta region. **Science of the Total Environment**, n.533, p.329-338, 2015.

TIAN, X.; GENG, J.; GUO, Y.; LI, C.; ZHANG, M.; CHEN, J. Controlled-release urea decreased ammonia volatilization and increased nitrogen use efficiency of cotton. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.180, n.6, p.667-675, 2017.

TIAN, X.; FAN, Z.; ZHAO, Y.; SUN, S.; LI, T.; YU, N.; ZHAI, S. Controlled-release urea improved cotton productivity and nitrogen use efficiency in China: a meta-analysis. **Agronomy Journal**, v.113, n.3, p.2251-2259, 2021.

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

UL-ALLAH, S.; REHMAN, A.; HUSSAIN, M.; FAROOQ, M. Fiber yield and quality in cotton under drought: effects and management. **Agricultural Water Management**, v.255, p.106994, 2021.

VIEIRA, J. L. V.; NARDI, K. T.; SILVA, G. R. A.; MOREIRA, L. A.; ZAVASCHI, E.; MOURA, T. A.; OTTO, R. Nutrient uptake by high-yielding cotton crop in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.42, 2018.

WANG, R.; GAO, M.; JI, S.; WANG, S.; MENG, Y.; ZHOU, Z. Carbon allocation, osmotic adjustment, antioxidant capacity and growth in cotton under long-term soil drought during flowering and boll-forming period. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.107, p.137-146, 2016.

WANG, S.; LI, X.; LU, J.; HONG, J.; CHEN, G.; XUE, X.; LIU, G. Effects of controlled-release urea application on the growth, yield and nitrogen recovery efficiency of cotton. **Agricultural Sciences**, 2013.

WANG, F. L., ALVA, A. K. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, n.5, p.1454-1458, 1996.

WIEDENFELD, B., WALLACE, B. W., HONS, F. Indicators of cotton nitrogen status. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, n.8, p.1353-1370, 2009.

YANG, X.; GENG, J.; LI, C.; ZHANG, M.; TIAN, X. Cumulative release characteristics of controlled-release nitrogen and potassium fertilizers and their effects on soil fertility, and cotton growth. **Scientific Reports**, v.6, p.39030, 2016. DOI. 10.1038/srep39030

YANGH, Y.; ZHANG, M.; LI, Y. C.; FAN, X.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Soil Science Society of America Journal**, v.76, n.6, p.2307-2317, 2012.

YANG, Y.; ZHANG, M.; LI, Y. C.; FAN, X.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Soil Science Society of America Journal**, v.76, n.6, p.2307-2317, 2012.

YING, F.; XINHUA, Z.; YOUHUA, W.; RONGHUI, M.; ZHIGUO, Z. Responses of carbohydrate metabolism to nitrogen in cotton fiber development and its relationships with fiber strength formation. **Scientia Agricultura Sinica**, v.42, n.1, p.93- 102, 2009.

ZAHOOR, R.; ZHAO, W.; ABID, M.; DONG, H.; ZHOU, Z. Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) functional leaf under drought stress. **Journal of Plant Physiology**, v.215, p.30-38, 2017.

ZHANG, M.; ZHANG, X.; GUO, L.; QI, T.; LIU, G.; FENG, J. XING, C. Single-base resolution methylome of cotton cytoplasmic male sterility system reveals epigenomic changes in response to high-temperature stress during anther development. **Journal of Experimental Botany**, v.71, n.3, p.951-969, 2020.

ZHANG, M.; NYNORG, M.; MALHI, S. S; SOLBERG, E. D. Yield and protein content of barley as affected by release rate of coated urea and rate of nitrogen application. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, p.401-412, 2000.

ZHANG, G.; ZHAO, D.; LIU, S.; LIAO, Y.; HAN, J. Can controlled-release urea replace the split application of normal urea in China? A meta-analysis based on crop grain yield and nitrogen use efficiency. **Field Crops Research**, v.275, p.108343, 2022.

ZHANG, S.; SHEN, T.; YANG, Y.; LI, Y. C.; WAN, Y.; ZHANG, M.; ALLEN, S. C. Controlled-release urea reduced nitrogen leaching and improved nitrogen use efficiency and yield of direct-seeded rice. **Journal of Environmental Management**, v.220, p.191-197, 2018.

ZHAO, X.; XIE, Y. X.; XIONG, Z. Q.; YAN, X. Y.; XING, G. X.; ZHU, Z. L. Nitrogen fate and environmental consequence in paddy soil under rice-wheat rotation in the Taihu lake region, China. **Plant and Soil**, v.319, n.1-2, p.225-234, 2009.

ZHENG, W.; LIU, Z.; ZHANG, M.; SHI, Y.; ZHU, Q.; SUN, Y.; GENG, J. Improving crop yields, nitrogen use efficiency and profits using controlled-release and uncoated urea mixtures in a wheat-corn system. **Field Crops Research**, v.205, p.106-115, 2017.

ZHI, X. Y.; HAN, Y. C.; LI, Y. B.; WANG, G. P.; DU, W. L.; LI, X. X.; LU, F. E. N. G. Effects of plant density on cotton yield components and quality. **Journal of Integrative Agriculture**, v.15, n.7, p.1469-1479, 2016.

ZHU, X.; ZHANG, W.; CHEN, H.; MO, J. Impacts of nitrogen deposition on soil nitrogen cycle in forest ecosystems: a review. **Acta Ecologica Sinica**, v.35, n.3, p.35-43, 2015.

ZONG, R.; WANG, Z.; ZHAN, J.; LI, W. The response of photosynthetic capacity and yield of cotton to various mulching practices under drip irrigation in Northwest China. **Agricultural Water Management**, n.249, p.106814, 2021.

ZUMBA, J.; RODGERS, J.; INDEST, M. Impact of temperature and relative humidity on the near infrared spectroscopy measurements of cotton fiber micronaire. **Textile Research Journal**, v.88, n.20, p.2279-2291, 2018.