



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

CARLOS FELIPE DOS SANTOS CORDEIRO

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ALGODOEIRO CULTIVADO EM
SISTEMAS DE ROTAÇÕES DE CULTURAS**

Presidente Prudente - SP
2021



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

CARLOS FELIPE DOS SANTOS CORDEIRO

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ALGODOEIRO CULTIVADO EM
SISTEMAS DE ROTAÇÕES DE CULTURAS**

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

Orientador:
Prof. Dr. Fábio Rafael Echer

Presidente Prudente - SP
2021

631.42
C794m

Cordeiro, Carlos Felipe dos Santos.

Manejo da adubação nitrogenada no algodoeiro cultivado em sistemas de rotações de culturas / Carlos Felipe dos Santos Cordeiro. – Presidente Prudente, 2021. 126 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2021.

Bibliografia.

Orientador: Fábio Rafael Echer.

1. Produtividade. 2. Mapeamento de Plantas. 3. Nitrogênio no solo. 4. Microbiologia do solo. 5. Solo Arenoso. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA NO ALGODOEIRO CULTIVADO EM SISTEMAS DE ROTAÇÕES DE CULTURAS"

AUTOR(A): CARLOS FELIPE DOS SANTOS CORDEIRO

ORIENTADOR(A): 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:



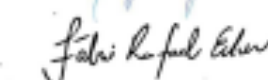
Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

UNESP - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho / Botucatu (SP)



Prof. Dr. Douglas Ramos Gueff Silva

UFLA - Universidade Federal de Lavras / Lavras (MG)



Prof. Dr. Fábio Rafael Echer

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

Data da realização: Presidente Prudente, 22 de fevereiro de 2021.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, José Carlos Cordeiro e Estela Cristina dos Santos Cordeiro pela minha existência. Por todos os ensinamentos e exemplos de dedicação, empenho e comprometimento passado para mim desde a minha infância. Esses ensinamentos fazem de minha vida até hoje e com certeza contribuíram para execução deste trabalho. Muito obrigado por tudo. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À minha mãe Estela Cristina dos Santos Cordeiro, por todos ensinamentos e apoio durante toda essa jornada. Ao meu pai José Carlos Cordeiro, pelo exemplo, por todos ensinamentos. Ao meu irmão Luis Fernando dos Santos Cordeiro pela amizade e apoio. À minha vó Maria de Lourdes Cordeiro por todo carinho.

À minha namorada Lívia Maria Filetti por todo carinho, apoio, dedicação e amor dedicados à mim. Por sempre estar me incentivando a buscar meus objetivos.

À minha amiga Alana Silva Botelho pela amizade.

Ao meu orientador Professor Dr. Fábio Rafael Echer, pela excelente orientação, por todos os ensinamentos, confiança no meu trabalho, conselhos e pela amizade construída nos últimos anos.

À Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, pela excelente estrutura e corpo docente que teve grande contribuição a minha formação.

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia – UNOESTE, pela excelente estrutura.

Aos docentes do Programa de Pós Graduação em Agronomia – UNOESTE, por todos os ensinamentos. Em especial aos professores Fabio Fernando Araujo pelo apoio nas análises microbiológicas e Carlos Sérgio Tiritan pelos ensinamentos.

Aos professores Tiago Aranda Catuchi, Alexandrius de Moraes Barbosa, pelo convívio e ensinamentos.

À todos os membros o Grupo de Estudos do Algodão (GEA), pela amizade construída, trabalho em equipe e união. Agradecimentos em especial a Daniel Rodela Rodrigues pelo auxílio nas coletas e avaliações desse trabalho. A Caroline Rocha Honorato pelo

auxílio nas análises microbiológicas. E a todos alunos de graduação que fizeram parte do estudo.

À todos os funcionários da universidade. Técnicos de laboratórios e de campo. Em especial aos funcionários da fazenda experimental da UNOESTE, pelo apoio do ensaio a campo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de mestrado (Processo nº 2018-23770-0).

À Fundação Agrisus, pelo recurso concedido para realização desse estudo (PA 2628/19).

À Associação dos Produtores de Algodão do Estado de São Paulo (APPA), pelo recurso concedido para realização desse estudo.

A todos meus sinceros agradecimentos.

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz”. (Ayrton Senna).

RESUMO

Manejo da adubação nitrogenada no algodoeiro cultivado em sistemas de rotações de culturas

O Sistema de Semeadura Direta é fundamental para viabilizar a produção agrícola em solos de textura arenosa de baixa fertilidade, sendo que nesses ambientes, além da restrição hídrica o baixo teor de N no solo limita as produtividades das culturas, especialmente quando há rotação com gramíneas de alta relação C:N com culturas não leguminosas, como o algodão. Em função disso foi conduzido um ensaio a campo por duas safras (2018/2019 e 2019/2020) com objetivo de avaliar a dinâmica do nitrogênio (solo/planta) e a produtividade do algodoeiro em sistemas de produção com rotações de culturas distintas, doses e fontes de N mineral. Os sistemas de rotação de culturas foram implantados em 2016, e foram constituídos da ausência de plantas de cobertura e combinações de gramíneas e leguminosas, solteira ou em consórcio. Foram utilizadas três doses de N (70, 100 – dose recomendada- e 130 kg ha⁻¹) e duas fontes de N (ureia convencional e ureia de liberação controlada). O uso de ureia de liberação controlada associada a maior diversidade de plantas de cobertura na entressafra resultou em maior produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro, sem necessidade de aumentar a adubação nitrogenada em sistemas com plantas de cobertura, mas no pousio foi necessário aumentar a adubação em 30% no ano com alto potencial produtivo. O aumento da dose de N aumentou a concentração de capulhos e produtividade na parte superior da planta, reduzindo a precocidade da planta, principalmente em sistemas com leguminosas, além da ureia de liberação controlada melhorar a produtividade alocada no ponteiro da planta. As plantas de cobertura e ureia de liberação controlada aumentam o estoque de N no solo e reduzem a lixiviação de nitrogênio inorgânico e apesar das maiores doses de N aumentarem o estoque de N no solo, também aumentam as perdas por lixiviação. A maior diversidade de plantas de cobertura e dose moderada de N melhora a atividade microbiana do solo, e o teor de glomalina é maior após o uso de gramíneas associado a dose recomendada de N. Nossos resultados mostram que não há necessidade de aumentar a adubação nitrogenada no algodoeiro nesse ambiente de produção, e desde que se utilize plantas de cobertura, a ureia de liberação controlada pode ser uma aliada para melhorar a eficiência no N no sistema solo-planta e reduzir o uso de fertilizante nitrogenado.

Palavras chave: Produtividade. Mapeamento de Plantas. Nitrogênio no Solo. Microbiologia do Solo. Solo Arenoso.

ABSTRACT

Management of nitrogen fertilization in cotton grown under crop rotation systems

No-tillage is essential to enable agricultural production in sandy soils with low fertility, and in these environments, in addition to water restriction, the low N content in the soil limits crop yields, especially when there is rotation with grasses. high C: N ratio with non-leguminous crops, such as cotton. As a result, a field trial was conducted for two seasons (2018/2019 and 2019/2020) in order to evaluate the dynamics of nitrogen (soil / plant) and the yield of cotton in production systems with different crop rotations, doses and sources of mineral N. Crop rotation systems were implemented in 2016, and consisted of the absence of cover crops and combinations of grasses and legumes, single or in consortium. Three doses of N (70, 100 - recommended dose - and 130 kg ha⁻¹) and two sources of N (conventional urea and controlled-release urea) were used. The use of controlled-release urea associated with a greater diversity of cover crops in the off-season resulted in higher yield and quality of cotton fiber, without the need to increase nitrogen fertilization in systems with cover crops, but in fallow it was necessary to increase fertilization. 30% in the year with high productive potential. The increase in the dose of N increased the concentration of bolls and yield in the upper part, reducing the precocity of the plant, mainly in systems with legumes, in addition to the controlled-release urea improving the yield allocated in the upper plant. Cover crops and controlled-release urea increase the N stock in the soil and reduce the leaching of inorganic nitrogen, and although higher doses of N increase the N stock in the soil, they also increase leachate losses. The greater diversity of cover crops and moderate dose of N improves the microbial activity of the soil, and the glomalin content is higher after the use of grasses associated with the recommended dose of N. Our results show that there is no need to increase nitrogen fertilization in cotton in this production environment, and as long as cover crops are used, controlled-release urea can be an ally to improve N efficiency in the soil-plant system and reduce the use of nitrogen fertilizer.

Keywords: Yield. Plant Mapping. Soil Nitrogen. Soil Microbiology. Sandy Soil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Precipitação, temperatura máxima e mínima.....	30
Figura 2 – Média mensal de radiação e déficit de pressão de vapor diário.....	30
Figura 3 – Produtividade de fibra do algodoeiro.....	34
Figura 4 – Relação entre produtividade de fibra do algodoeiro, número e peso de capulhos.....	37
Figura 5 – Estoque de nitrogênio inorgânico do solo (0-40 cm), após a colheita do algodoeiro.....	41
Figura 6 – Produtividade de fibra do algodoeiro acumulada por nó, em função das doses e fontes de N em cada sistema.....	57
Figura 7 – Produtividade de fibra do algodoeiro em cada sistema considerando média das doses e fontes de N.....	58
Figura 8 – Número de capulhos por parte da planta e posição frutífera em função das doses e fontes de N em cada sistema.....	60
Figura 9 – Número de capulhos por parte da planta e posição frutífera em cada sistema considerando média das doses e fontes de N.....	61
Figura 10 – Teor de nitrogênio inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) do solo após a colheita do algodoeiro safra 2018/2019.....	80
Figura 11 – Teor de nitrogênio inorgânico (NH_4^+ e NO_3^-) do solo após a colheita do algodoeiro safra 2019/2020.....	81
Figura 12 – Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano (qMIC) e atividade da enzima desidrogenase em pré-semeadura do algodoeiro.....	100
Figura 13 – Glomalina facilmente extraível do solo em pleno florescimento do algodoeiro.....	108
Figura 14 – Correlação de Pearson entre produtividade de fibra do algodoeiro com carbono da biomassa microbiana, atividade da enzima β -glicosidase e quociente metabólico (qCO_2).....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Detalhes dos tratamentos 2015-2020	29
Tabela 2 –	Características químicas e físicas do solo	30
Tabela 3 –	Altura de plantas, número de nós, número de capulhos, peso médio de capulhos e rendimento de fibra do algodoeiro.....	36
Tabela 4 –	Acúmulo de matéria seca e acúmulo de nitrogênio na parte aérea do algodoeiro e concentração de nitrogênio foliar.....	38
Tabela 5 –	Correlação de Pearson entre produtividade de fibra, capulhos, peso de capulhos, acúmulo de matéria seca, nitrogênio na parte aérea e concentração de nitrogênio foliar.....	39
Tabela 6 –	Micronaire, comprimento, resistência e índice de fibras curtas do algodoeiro.....	39
Tabela 7 –	Análise de variância para distribuição da produtividade por nó do algodoeiro.....	56
Tabela 8 –	Análise de variância para distribuição do número de capulhos por parte da planta e posição frutífera.....	59
Tabela 9 –	Precocidade do algodoeiro determinada pelo nó frutífero em que a planta atingiu 90% da produtividade total.....	62
Tabela 10 –	Estoque de nitrogênio total, inorgânico, amônio e nitrato do solo (0-20 cm), relação entre amônio/nitrato e porcentagem de N inorgânico em relação ao N total do solo, em pré semeadura do algodoeiro.....	74
Tabela 11 –	Estoque de N total e inorgânico do solo (0-20 cm) em pleno florescimento do algodoeiro.....	75
Tabela 12 –	Estoque de amônio e nitrato do solo (0-20 cm) em pleno florescimento do algodoeiro.....	76
Tabela 13 –	Estoque de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) do solo (0-60 cm) após a colheita do algodoeiro.....	77
Tabela 14 –	Análise de variância para teor de amônio e nitrato do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, após a colheita do algodoeiro.....	78

Tabela 15 – Produção de matéria seca e relação C:N de parte aérea e raiz (0-20 cm) das plantas de cobertura em pré-semeadura do algodoeiro.....	99
Tabela 16 – Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo em pleno florescimento do algodoeiro.....	101
Tabela 17 – Respiração do solo e quociente metabólico (qCO_2) do solo em pleno florescimento do algodoeiro.....	102
Tabela 18 – Atividade das enzimas urease e desidrogenase do solo em pleno florescimento do algodoeiro.....	104
Tabela 19 – Atividade das enzimas β -glicosidase e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) no solo em pleno florescimento do algodoeiro.....	106
Tabela 20 – Correlação de Pearson entre produtividade de fibra do algodoeiro, com nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, glomalina e atividade das enzimas urease, desidrogenase e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA)....	109

LISTA DE SIGLAS

ABRAPA	- Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
CBM	- Carbono da biomassa microbiana
COT	- Carbono orgânico total
CRU	- Controlled-release urea
CTC	- Capacidade de troca de cátions
CV	- Coeficiente de variação
DAE	- Dias após emergência
FAO	- Food and Agriculture Organization
FBN	- Fixação biológica d nitrogênio
FDA	- Hidrólise de diacetato de fluoresceína
NBM	- Nitrogênio da biomassa microbiana
GS	- Gramínea solteira
G+G	- Gramínea+gramínea
G+L	- Gramínea+leguminosa
HVI	- High Instrumentals Volume
i.a	- Ingrediente ativo
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
LSD	- Least significant difference
M.O	- Matéria Orgânica
MOS	- Matéria orgânica do solo
MS	- Matéria seca
NC	- Número de capulhos
Ni	- Nitrogênio inorgânico
Nt	- Nitrogênio total
ns	- Não significativo
PMC	- Peso médio de capulhos
P1	- Primeira posição frutífera
P2	- Segunda posição frutífera
P3+	- Terceira ou mais posições frutíferas
qCO ₂	- Quociente metabólico
qMIC	- Quociente microbiano

- RV - Ramo vegetativo
- SSC - Sistema de Semeadura Convencional
- SSD - Sistema de Semeadura Direta
- ULC - Ureia de liberação controlada

LISTA DE SÍMBOLOS

C: Carbono.

Ca: Cálcio.

g: Grama.

H: Hidrogênio.

K: Potássio.

Kg: Quilograma.

Mg: Magnésio.

Mg: Megagrama.

mg: Miligrama.

N: Nitrogênio.

NO₃⁻: Nitrato.

NH₄⁺: Amônio.

NH₃: Amônia.

pH: Potencial hidrogeniônico.

P: Fósforo

S: Enxofre.

Tg: Teragrama.

%: Porcentagem.

β: Beta.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	19
2 JUSTIFICATIVA	20
3 HIPÓTESE	20
4 OBJETIVOS	20
4.1 Objetivo Geral	20
4.2. Objetivos específicos	20
5 REVISÃO DE LITERATURA	21
6 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO AFETADOS PELO MANEJO DE DOSES E FONTES DE N EM SISTEMAS COM ASSOCIAÇÕES DE PLANTAS DE COBERTURA	26
6.1 Introdução	27
6.2 Material e métodos	28
6.2.1 Caracterização da área do estudo	29
6.2.2 Delineamento experimental	31
6.2.3 Manejo das plantas de cobertura	31
6.2.4 Manejo do algodoeiro	32
6.2.5 Avaliações	32
6.2.6 Análises dos dados	33
6.3 Resultados	33
6.3.1 Produtividade de fibra e componentes de produção	33
6.3.2 Matéria seca e N na planta	37
6.3.3 Correlações	38
6.3.4 Qualidade de fibra	39
6.4 Discussão	43
6.5 Conclusão	47
REFERÊNCIAS	47
7 DISTRIBUIÇÃO DE CAPULHOS E PRECOCIDADE DO ALGODOEIRO AFETADOS PELAS PLANTAS DE COBERTURA, DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO	51
7.1 Introdução	52
7.2 Material e métodos	53
7.2.1 Caracterização da área do estudo	53
7.2.2 Delineamento experimental	53
7.2.3 Manejo das plantas de cobertura	53

7.2.4 Manejo do algodoeiro	53
7.2.5 Avaliações	54
7.2.6 Análises dos dados	54
7.3 Resultados	55
7.3.1 Distribuição da produtividade de fibra	55
7.3.2 Distribuição dos capulhos.....	58
7.3.3 Precocidade do algodoeiro.....	61
7.4 Discussão	62
7.5 Conclusão	66
REFERÊNCIAS	66
8 ESTOQUE E LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO AFETADOS PELAS PLANTAS DE COBERTURA, DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO EM UM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM ALGODÃO	69
8.1 Introdução	70
8.2 Material e métodos	72
8.2.1 Caracterização da área do estudo	72
8.2.2 Delineamento experimental.....	72
8.2.3 Manejo das plantas de cobertura	72
8.2.4 Manejo do algodoeiro	72
8.2.5 Avaliações das plantas de cobertura.....	72
8.2.6 Avaliações do N total e inorgânico do solo.....	72
8.2.7 Análises dos dados	73
8.3 Resultados	73
8.3.1 Efeitos das plantas de cobertura sobre o teor de N no solo antes da semeadura do algodoeiro.....	74
8.3.2 Efeitos das doses e fontes de nitrogênio em diferentes sistemas sobre o estoque de nitrogênio no solo em pleno florescimento do algodão.....	74
8.3.3 Efeitos das doses e fontes de nitrogênio em diferentes sistemas sobre o estoque de nitrogênio no solo após a colheita do algodão.....	76
8.3.4 Teor de nitrato e amônio no perfil do solo após a colheita do algodão	78
8.4 Discussão	82
8.5 Conclusão	86
REFERÊNCIAS	86
9 GLOMALINA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO COM PLANTAS DE COBERTURA E MANEJO DO NITROGÊNIO EM UM SOLO CULTIVADO COM ALGODÃO	92
9.1 Introdução	93

9.2 Material e métodos	95
9.2.1 Caracterização da área do estudo	95
9.2.2 Delineamento experimental.....	95
9.2.3 Manejo das plantas de cobertura	95
9.2.4 Manejo do algodoeiro	95
9.2.5 Avaliações plantas de cobertura	95
9.2.6 Avaliações biomassa microbiana, respiração do solo e quociente metabólico e microbiano.....	96
9.2.7 Avaliações da atividade enzimática do solo	96
9.2.8 Avaliação da glomalina facilmente extraível do solo	97
9.2.9 Avaliação da produtividade de fibra do algodoeiro	98
9.2.10 Análises dos dados	98
9.3 Resultados	98
9.3.1 Produção de matéria seca das plantas de cobertura e microbiologia do solo em pré-semeadura do algodoeiro	98
9.3.2 Biomassa microbiana, respiração do solo e quociente metabólico em pleno florescimento do algodoeiro	100
9.3.2 Atividade enzimática do solo em pleno florescimento do algodoeiro	103
9.3.3 Glomalina facilmente extraível do solo em pleno florescimento do algodoeiro	107
9.3.4 Correlação entre parâmetros microbiológicos do solo e glomalina com a produtividade do algodoeiro	110
9.4 Discussão	111
9.5 Conclusão	116
REFERÊNCIAS	116
CONSIDERAÇÕES FINAIS	122
REFERÊNCIAS	123

1 INTRODUÇÃO

Setenta por cento do algodão brasileiro é cultivado no Mato Grosso, sendo a maioria após o cultivo da soja em semeadura direta. Por outro lado, em áreas em que o algodoeiro é implantado sobre pastagens degradadas, como no Oeste de São Paulo, a movimentação do solo é intensa, e em função da textura arenosa pode favorecer o processo de degradação (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Assim a implementação de sistemas conservacionistas do solo, como o Sistema de Semeadura Direta (SSD), reduz os riscos e aumenta as chances de sucesso da cotonicultura no oeste de São Paulo.

O Sistema de Semeadura Direta (SSD) e a rotação de culturas com plantas de cobertura são técnicas fundamentais para sistemas de produção sustentáveis, tendo grande importância em solos de textura arenosa, pois promovem o aumento no teor de matéria orgânica no solo (RAPHAEL *et al.*, 2016), melhoria na microbiologia do solo (NIVELLE *et al.*, 2016), ciclagem de nutrientes (CALONEGO; ROSOLEM, 2013) e maior armazenamento de água no solo além de aumentar a produtividade das culturas (WITTEWER *et al.*, 2017).

Porém, o uso de *ruziensis* solteira como planta de cobertura pode intensificar a imobilização do nitrogênio, reduzindo a absorção de N pelo algodoeiro (ECHER *et al.*, 2012). Isso acontece sobretudo em solos de textura arenosa pois os estoques de nitrogênio no solo são baixos. Assim, o aumento da dose de N nas culturas pode ser uma estratégia para reduzir o efeito da imobilização, porém o custo do fertilizante deve ser considerado na análise.

O uso de leguminosas associadas às gramíneas no SSD e os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada podem melhorar a dinâmica e aumentar a eficiência do N nos sistemas de produção, amenizando os efeitos negativos da imobilização do N no solo ou as perdas por lixiviação/volatilização. A cobertura do solo é melhor com a utilização de gramíneas, mas o maior aporte de nitrogênio no solo se dá com o uso de leguminosas, dessa forma o consórcio entre gramíneas e leguminosas pode atender as duas demandas (cobertura do solo e fixação de nitrogênio) (GABRIEL *et al.*, 2016).

Fertilizantes nitrogenados de liberação lenta reduzem a emissão NH_3^+ e a lixiviação de NO_3^- (SAHA *et al.*, 2018); aumentam os teores de N inorgânico no solo e a produtividade e a qualidade de fibra do algodão em relação a ureia convencional

(YANG *et al.*, 2016). Assim, em solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica e N no solo, o uso de leguminosas associado a gramíneas e fertilizantes nitrogenados de liberação controlada podem melhorar a produtividade e qualidade de fibra e diminuir a dependência do N mineral.

2 JUSTIFICATIVA

Sistemas de produção onde prevalece o uso de gramíneas podem limitar a produtividade do algodão devido a imobilização de N no solo limitar o crescimento e desenvolvimento da planta. Dessa forma, o aumento das doses de N mineral associado ao uso de leguminosas pode amenizar o efeito da imobilização, além de melhorar a atividade da microbiota do solo. O uso de fontes de N de liberação controlada pode ser uma alternativa para reduzir as perdas por lixiviação e melhorar a eficiência de uso do N no sistema de produção em solos de textura arenosa.

3 HIPÓTESE

A associação de gramíneas e leguminosas e o uso de fertilizante nitrogenado de liberação controlada podem reduzir a demanda de N mineral pelo algodoeiro sem prejudicar a produtividade e qualidade de fibra do algodão cultivado em Sistema de Semeadura Direta.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Avaliar a dinâmica do nitrogênio (solo/planta) e a produtividade do algodoeiro em sistemas de produção com rotações de culturas distintas, doses e fontes de N mineral.

4.2. Objetivos específicos

- Avaliar o crescimento, nutrição, produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro em função das doses e fontes de nitrogênio em diferentes sistemas de rotação de culturas.
- Avaliar a distribuição dos capulhos, produtividade e precocidade do algodoeiro em sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio.
- Avaliar os efeitos interativos dos sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio sobre o estoque e lixiviação de nitrogênio em um solo arenoso cultivado com algodão.
- Avaliar os efeitos interativos dos sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de N sobre a atividade microbiana do solo e teor de glomalina do solo e a relação desses indicadores de qualidade do solo com a produtividade de fibra do algodoeiro.

5 REVISÃO DE LITERATURA

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) é uma das principais culturas cultivadas no mundo, produzido em mais de 60 países, sendo que China, Índia, Estados Unidos, Paquistão e Brasil são responsáveis por cerca de 80% da produção mundial. O produto de maior interesse da cultura é a fibra, mas tem outras finalidades como produção de óleo através das sementes e alimentação animal (CHIAVEGATO *et al.*, 2009).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de algodão, tendo a maior produtividade em sistemas de sequeiro (1600 kg ha⁻¹ de fibra), com rendimento de fibra superior à 40% (ABRAPA, 2021). As altas produtividades e rendimentos de fibras estão diretamente relacionados com o alto nível tecnológico adotado pelos produtores e principalmente bons manejos da fertilidade do solo, já que essa planta apresenta alta exigência quanto a qualidade do solo, tendo seu máximo potencial produtivo em solos férteis, ricos em matéria orgânica, profundos e bem drenados (SANTOS *et al.*, 2020).

Dentre os nutrientes requeridos pela cultura do algodão o N apresenta maior demanda sendo necessário 60 kg ha⁻¹ de N para produção de 1 Mg ha⁻¹ de fibra, porém, para produtividades de 2,4 Mg ha⁻¹ de fibra são necessários 290 kg ha⁻¹ de N,

ou seja, quanto maior o potencial produtivo da planta maior é a demanda por nitrogênio (ROCHESTER *et al.*, 2007; VIEIRA *et al.*, 2018).

A deficiência de N na cultura do algodão pode reduzir tanto a produtividade como a qualidade da fibra (FRITSCHI *et al.*, 2003; LUO *et al.*, 2018). Segundo Chen *et al.* (2010) o nitrogênio é fundamental para o funcionamento dos processos fisiológicos, atuando na atividade enzimática e com papel fundamental na qualidade de fibra do algodão, e se fornecido de forma correta resulta em melhor crescimento, florescimento e produtividade da cultura do algodão (CARVALHO *et al.*, 2007).

A deficiência de N resulta em menor taxa fotossintética, senescência prematura das plantas e menor potencial produtivo (DONG *et al.*, 2012). Nesse cenário a utilização do N na cultura do algodão deve ser melhor estudada em ambientes tropicais em novos sistemas de produção sobre solos arenosos que têm baixo teor de matéria orgânica e conseqüentemente de N.

O SSD além de aumentar a produtividade do algodoeiro traz melhorias para estrutura armazenamento de água no solo e a correta utilização de fertilizantes nitrogenados resulta em altos rendimentos e redução da emissão de gases (SHAH *et al.*, 2016). Em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica (81% areia 0,6% M.O) a produtividade do algodão foi 20% superior em SSD em relação ao SSC (WATTS *et al.*, 2017).

Em SSD a utilização do nabo forrageiro melhorou a produtividade do algodão em 25% em relação a aveia. Além disso, o incremento da fertilização nitrogenada até 90 kg ha⁻¹ aumentou de forma linear a produtividade do algodoeiro (máxima de 2900 kg ha⁻¹ de algodão em caroço) (FERRARI *et al.*, 2015). Borin *et al.* (2017) também em SSD, porém pós-soja, observaram produtividade máxima do algodoeiro (1100 kg ha⁻¹ de fibra) com aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N.

Por outro lado, em sistemas irrigados de manejo intensivo, SSD, solos arenosos e baixo teor de M.O (1,2%) os maiores rendimentos foram obtidos com aplicação de 255 kg ha⁻¹ de N (1808 kg ha⁻¹ de fibra) sendo a fonte utilizada ureia convencional (DAI *et al.*, 2017). Ou seja, a dose de N ótima do algodoeiro varia de acordo com o sistema de produção adotado, e em sua maioria em sistemas de solos arenosos e SSD há maior demanda de N no sistema solo/planta.

O N é um dos elementos com maior complexidade no sistema solo/planta, podendo ser lixiviado na forma de NO₃⁻, volatilizado na forma NH₃ (SAHA *et al.*, 2018), ou imobilizado pelos microrganismos do solo (MORO *et al.*, 2013). Estima-se mais de

50% do nitrogênio aplicado nas culturas é perdido por lixiviação, volatilização e desnitrificação, resultando em baixa eficiência desse nutriente nos sistemas de produção agropecuária (FAGERIA; BALIGAR, 2005).

A utilização de fertilizantes de liberação controlada pode ser uma alternativa para reduzir as perdas e aumentar a eficiência do nitrogênio no sistema. Yang *et al.* (2016) relataram melhor eficiência do uso do N, maior produtividade (19%) e qualidade de fibra do algodão quando utilizado fertilizantes nitrogenados de liberação controlada em relação a fertilizantes convencionais. A utilização de fertilizantes nitrogenados de liberação controlada pode melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos produzidos, além de reduzir as perdas (ZHANG *et al.*, 2000).

O uso de fertilizantes de liberação controlada pode reduzir o impacto ambiental da lixiviação do NO_3^- para o lençol freático (KIRIAN *et al.*, 2010), e a economia de tempo e de mão de obra, pois o número de aplicações pode ser reduzido durante o ciclo da cultura (ZEBARTH *et al.*, 2009). Outra alternativa é o fornecimento de nitrogênio na forma orgânica, via fixação biológica de nitrogênio, realizada pelas leguminosas, pois apresenta menores custos e maior eficiência (HUNGRIA; MENDES, 2014). Além disso, as leguminosas trazem outras vantagens ao sistema como produção de palhada de melhor qualidade.

Em sistemas de produção com alto volume da palha pode haver maior imobilização de N pelos microrganismos do solo (PULLICINO *et al.*, 2014) e isso acontece com maior intensidade em sistemas com rotação com gramíneas devido a maior relação carbono/nitrogênio (VAUGHAN *et al.*, 2000), o que reduz a quantidade de N disponível às culturas.

Em algodão os problemas com a dinâmica do nitrogênio em SSD com palhada de gramíneas parecem serem maiores. Echer *et al.* (2012) relataram menor crescimento inicial do algodão tanto de raízes como de parte aérea, além da menor absorção de nitrogênio quando o algodão foi cultivado sobre palhada de *Urochloa ruziziensis*. Borin *et al.* (2015) em Sistema de Semeadura Direta (SSD) com gramíneas também relataram menor crescimento inicial e produtividade do algodoeiro, e quando utilizado leguminosas no SSD o mesmo não foi observado. Porém, devido a menor relação C/N das leguminosas, sua palha é decomposta mais rapidamente, deixando o solo exposto precocemente (BONILLA *et al.*, 2016), com risco de erosão, menor armazenamento de água e lixiviação dos nutrientes devido a menor formação de agregados, que são favorecidos pelo alto volume de raízes das gramíneas

(CALONEGO; ROSOLEM, 2010). Nessa situação a utilização de gramíneas em consórcio com leguminosas pode ser uma boa opção para cultivo de segunda safra, visando a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Para formação de matéria orgânica (MOS) estável deve haver um equilíbrio entre carbono e nitrogênio no solo, ou seja, a adição de altos volumes de palha de alta relação C/N (gramíneas) não é garantia de aumento da MOS, sendo necessário entrada de nitrogênio no sistema (WANG *et al.*, 2018), que pode ser feito via fertilizante nitrogenado ou adição de leguminosas no sistema de produção.

Souza *et al.* (2018) reportaram maiores teores de C do solo em sistemas de rotação de culturas com algodão/leguminosa/gramíneas em relação a algodão/leguminosas. Raphael *et al.* (2016) afirmam que a formação de MOS é limitada tanto pela falta de plantas de cobertura na primavera como fornecimento de N no sistema, sendo de grande importância a utilização de plantas de cobertura e uso adequado do nitrogênio em ambientes tropicais para aumento da MOS. Assim o aumento na MOS no solo pode aumentar a disponibilidade de nitrogênio no sistema e reduzir os problemas com a imobilização do N, tornando o SSD mais sustentável.

Teixeira *et al.* (2014) relata grande importância entre a microbiologia e dinâmica do C e N no solo para aumento da MOS a longo prazo. Em ambientes diversificados as entradas de N e C no sistema ocorre de maneira mais equilibrada, melhorando a atividade da microbiota do solo e a dinâmica do N, reduzindo a nitrificação e a volatilização (DENG *et al.*, 2016).

O uso apenas de gramíneas como planta de cobertura, sem fertilização nitrogenada reduz os teores de carbono e nitrogênio no solo, sendo necessário o uso de leguminosas e/ou fertilização nitrogenada para aumentar os teores de carbono e nitrogênio do solo, assim melhorando também a microbiologia do solo (NIVELLE *et al.*, 2016). A microbiologia do solo está fortemente associada a dinâmica do nitrogênio, sendo os microrganismos responsáveis pela mineralização e disponibilidade do N no solo (JIA *et al.*, 2010).

A atividade da enzima desidrogenase pode ser influenciada tanto pelo sistema de produção (plantas de cobertura) como pela oferta de nitrogênio no solo (NIVELLE *et al.*, 2016). Já a respiração do solo pode ser reduzida com a fertilização nitrogenada, assim havendo menor emissão de CO₂ (JIA *et al.*, 2010). A adição de resíduos vegetais de alta relação C/N aumenta os teores do nitrogênio da biomassa microbiana (nitrogênio imobilizado) (ROBERTS *et al.*, 2015). O mesmo fato é observado com

adição de nitrogênio no sistema (ZAMAN *et al.*, 2002). Sistemas de rotação de culturas com utilização de leguminosas aumentaram o teor de C da biomassa microbiana em relação a sistemas em pousio ou cultivo de gramíneas na primavera antecedendo a cultura de verão (Raphael *et al.*, 2016). A enzima β -glicosidase está associada ao ciclo do carbono no solo, sendo que em sistema de alternância de cultura soja/milho ou mata nativa os teores são maiores em relação à monocultura (cana-de-açúcar), devido aos maiores teores de MOS, que melhora os parâmetros microbiológicos do solo (ZAGO *et al.*, 2018).

A glomalina é uma glicoproteína produzida por fungos micorrízicos arbusculares e está relacionada à formação de MOS, respondendo de 4 a 5% do carbono do solo e de 0,08% a 0,2% de carbono da biomassa microbiana (RILLING *et al.*, 2001). Tem papel fundamental na estabilidade de agregados do solo (WU *et al.*, 2014) e pode ser influenciada pela adição de N no sistema (ZHANG *et al.*, 2015). Assim sistemas com presença de gramíneas com alto volume radicular pode melhorar os teores dessa proteína presente no solo, melhorando a sua qualidade.

6 PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FIBRA DO ALGODOEIRO AFETADOS PELO MANEJO DE DOSES E FONTES DE N EM SISTEMAS COM ASSOCIAÇÕES DE PLANTAS DE COBERTURA

Resumo

Os riscos de produção e custo com fertilizantes nitrogenados em ambientes de solos arenosos e restrição hídrica são altos, o que pode inviabilizar a agricultura nesses locais, mas o uso de plantas de cobertura e fertilizantes de eficiência aprimorada podem viabilizar a produção agrícola nesses ambientes. O objetivo do estudo foi avaliar o crescimento, nutrição, produtividade, qualidade de fibra do algodoeiro e estoque de N inorgânico do solo em função das doses (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes (ureia e ureia de liberação controlada (ULC) de nitrogênio em diferentes sistemas de rotação de culturas (Pousio, Gramínea solteira, Gramínea+gramínea, Gramínea+leguminosa e MIX). O estudo foi realizado por duas safras (2018-2020). A ULC aumentou o acúmulo de biomassa, acúmulo de nitrogênio na parte aérea e concentração de N nas folhas do algodoeiro em relação a ureia convencional. A produtividade da safra 2018/2019 foi 61% ou 727 kg ha⁻¹ de fibra menor comparado a safra 2019/2020, devido a restrição hídrica. No MIX a produtividade de fibra foi 12% (208 kg ha⁻¹) e 21% (304 kg ha⁻¹) maior no GS e no pousio, respectivamente. O pousio aumentou a produtividade com aplicação de até 130 kg ha⁻¹ de N (ureia). A ULC reduziu a demanda por fertilizante nitrogenado em 30%, principalmente nos sistemas com plantas de cobertura; aumentou o peso de capulho em 13% em ano com boa precipitação e o estoque de N em 16% (média duas safras). O micronaire e a resistência de fibra foram menores sob alta dose de N (130 kg ha⁻¹). O MIX de plantas de cobertura é a melhor opção entre os sistemas para aumentar a produtividade do algodoeiro logo no primeiro ano. Não há necessidade de aumentar a adubação nitrogenada em sistemas com planta de cobertura. A ULC pode reduzir a dose a ser aplicada do fertilizante, mas é dependente do sistema.

Palavras chave: Rotação de culturas. MIX de plantas. Fontes de nitrogênio. Qualidade de fibra. Estoque N solo.

Abstract

The risks of production and cost with nitrogen fertilizers in sandy soil and water restriction environments are high, which can make agriculture in the places unfeasible, but the use of cover plants and improved efficiency fertilizers can enable agricultural production in environments. The objective of the study was to evaluate the growth, nutrition, yield, cotton fiber quality and inorganic N stock of the soil depending on the doses (70, 100 and 130 kg ha⁻¹) and sources (controlled-release urea and urea) in different crop rotation systems (fallow, single grass, grass + grass, grass + legume and MIX). The study was carried out for two crops (2018-2020). The yield of the 2018/2019 crop was 61% or 727 kg ha⁻¹ of lesser fiber compared to the 2019/2020 crop, due to a water restriction of nitrogen in the shoot and concentrated N in the cotton leaves in relation to the conventional urea, fiber yields of 12% (208 kg ha⁻¹) and 21% (304 kg ha⁻¹) higher in GS and fallow, respectively, at MIX increased yield with application of up to 130 kg ha⁻¹ N (urea). ULC reduced the demand for nitrogen fertilizer by 30%, mainly in the s systems with cover crops; increased the weight of boll by 13% in a year with good capacity and the N stock by 16% (average of two harvests). The micronaire and

fiber resistance were lower under high doses of N (130 kg ha^{-1}). The cover crops MIX is the best option among the systems to increase cotton yield in the first year. There is no need to increase nitrogen fertilization in cover crop systems. The ULC can reduce the dose to be applied of the fertilizer, but it is system dependent.

Keywords: Crop rotation. Cover crops mixtures. Nitrogen sources. Fiber quality. Stock N soil.

6.1 Introdução

O manejo do nitrogênio (N) em solos arenosos sob clima tropical é um desafio devido á dinâmica desse nutriente e a dificuldade em acumular matéria orgânica nesses solos. Nesses ambientes o N é um dos principais limitantes à produção agrícola (CORDEIRO; ECHER, 2019; SILVA *et al.*, 2020). A produção agrícola ao redor do mundo tem incorporado áreas menos favoráveis à obtenção de altas produtividades como áreas de solos arenosos e instabilidade climática, devido a restrição de abertura de novas áreas, e aliado aos cenários de mudanças climáticas (IPCC, 2013), demandará maiores esforços para melhoria dos microambientes locais visando a mitigação dos efeitos causados pelo clima sobre as culturas agrícolas. No mundo são cerca de 900 milhões de hectares de solos arenosos (HARTEMINK; HUTING, 2007). Cerca de 8% do território brasileiro é ocupado por solos arenosos (DONAGEMMA *et al.*, 2016) que estão ocupados principalmente por pastagens degradadas, e que serão incorporados para produção agrícola nos próximos anos, incluindo o cultivo do algodão.

No Brasil o cultivo de algodão ocorre predominantemente em regiões com precipitação regulares, sobre solos de textura média e argilosa e alta fertilidade, em rotação com soja (ECHER; ROSOLEM, 2015; RAPHAEL *et al.*, 2019; ECHER *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2020), cujos estoques de N no solo são maiores. Em outras regiões do mundo como nos USA e China o algodoeiro é cultivado com maior frequência em solos com baixo teor de argila e fertilizado com altas doses de nitrogênio (GENG *et al.*, 2016; HU *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2020). Em ambientes de solos arenosos as doses de N podem ser reduzidas com uso de plantas de cobertura e sistema de semeadura direta a longo prazo (NOURI *et al.*, 2020) e fertilizantes de liberação controlada (YANG *et al.*, 2016).

O Sistema de Semeadura Direta (SSD) e o uso de plantas de cobertura são fundamentais para melhorar a qualidade do solo e a produtividade de fibra (NOURI *et*

al., 2019; SANTOS *et al.*, 2020). Em ambientes de solos arenosos, a maior diversidade de plantas de cobertura aumenta o teor de N inorgânico em 30% e a produtividade de grãos em 17% comparado ao uso exclusivo de gramíneas (CHU *et al.*, 2017), devido ao fornecimento de alta quantidade de carbono ao solo, proveniente das gramíneas, e nitrogênio, proveniente em maior parte das leguminosas (JENSEN *et al.*, 2020).

O algodoeiro absorve em torno de 60 kg ha⁻¹ de N para cada tonelada de algodão em caroço produzida, e a exportação varia de acordo com a produtividade (VIEIRA *et al.*, 2018). A deficiência ou excesso de N resulta em desequilíbrio na taxa fotossintética, atividade enzimática, produtividade e qualidade de fibra (TANG *et al.*, 2018; COST *et al.*, 2020; ECHER *et al.*, 2020), e a dose recomendada pode variar de acordo com a disponibilidade hídrica (COST *et al.*, 2020), sistema de produção (NOURI *et al.*, 2020) e fonte de nitrogênio utilizada (GENG *et al.*, 2015; GENG *et al.*, 2016).

A ureia convencional é o principal fertilizante nitrogenado utilizado mundialmente (YANG *et al.*, 2020), ainda que as perdas por volatilização (MINATO *et al.*, 2020) e lixiviação (ZHANG *et al.*, 2018) possam ser elevadas sob condições edafoclimáticas desfavoráveis, como solos com baixos teores de MOS, arenosos e com baixa capacidade de retenção de água e altas temperaturas do ar. Por outro lado, fertilizantes de eficiência aprimorada, como a ureia de liberação controlada revestida com enxofre, reduzem as perdas por volatilização em até 36% comparado a ureia comum em ambiente de solo arenoso e clima tropical (MINATO *et al.*, 2020), o que pode representar economia do fertilizante (YANG *et al.*, 2020), melhoria da produtividade e qualidade de fibra (GENG *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2016) e aumentar o estoque de N do solo (ZHANG *et al.*, 2018).

Dessa forma a diversidade de plantas de cobertura no sistema de produção e o uso da ureia de liberação controlada podem ser boas estratégias para melhorar a eficiência do nitrogênio no sistema solo-planta em ambientes com solos arenosos e baixa altitudes, reduzir a dose aplicada do fertilizante nitrogenado e aumentar produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro. O objetivo do estudo foi avaliar o crescimento, nutrição, produtividade e qualidade de fibra do algodoeiro em função das doses e fontes de nitrogênio em diferentes sistemas de rotação de culturas.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Caracterização da área do estudo

Os sistemas de rotação de culturas foram implantados em 2015, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Detalhes dos tratamentos no período 2015-2020 das culturas agrícola e de cobertura I.

Sistemas	Safr 1 (2015/2016)		Safr 2 (2016/2017)		Safr 3 (2017/2018)		Safr 4 (2018/2019)		Safr 5 (2020)
	1° safr	2° safr	1° safr	2° safr	1° safr	2° safr	1° safr	2° safr	1° safr
Pousio	Soja	Milho/pousio	Algodão	Pousio	Soja	Sorgo/pousio	Algodão	Pousio	Algodão
Gramínea solteira	Soja	Ruziensi	Algodão	Mombaça	Soja	Ruziensi	Algodão	Ruziensi	Algodão
MIX	Soja	M+R+G	Algodão	A+T+M+E	Soja	S+R+J	Algodão	R+Mil.+M	Algodão
Gramínea+ leguminosa	Soja	R+G	Algodão	A+T	Soja	S+J	Algodão	Mil.+M	Algodão
Gramínea+ gramínea	Soja	M+R	Algodão	M+E	Soja	S+R	Algodão	R+Mil.	Algodão

M+R+G= milho+ruzieni+ feijão Guandú; P+R= ruzieni+feijão guandú; C+R= milho+ruzieni; A+T+M+E = aveia preta+tremoço+Mombaça+estilozantes; A+t= aveia+tremoço; M+E: Mombaça+estilozantes; S+R+J= Sorgo+ruzieni+java; S+J= Sorgo+java; S+R= Sorgo+ruzieni. R+Mil.+M= Ruzieni+milho+ mucuna preta. Mil.M= milho+ mucuna preta. R+Mil= Ruzieni+milho.

O presente estudo foi conduzido nas safras 2018/2019 e 2019/2020 em Presidente Bernardes no estado de São Paulo, Brasil, (22°11'53"S, 51°40'30"W, com altitude de 401m). A clima da região é tropical com inverno seco (Aw - Köppen). A precipitação, temperatura máxima e mínima e o déficit de pressão de vapor durante a condução do estudo estão na Figura 1 e a radiação global na Figura 2. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico de textura arenosa (SANTOS *et al.*, 2018) (Ferralsol) (FAO, 2015). As características de química e física do solo estão apresentadas na Tabela 1.

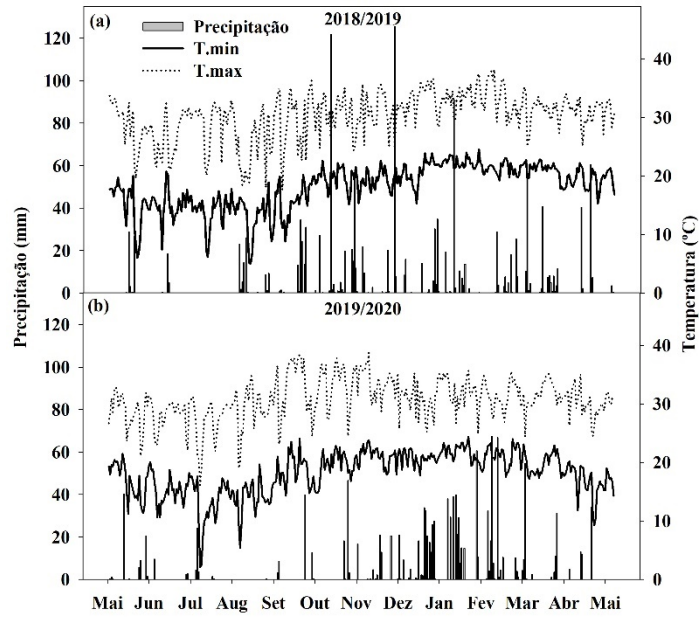


Figura 1. Precipitação, temperatura máxima e mínima durante a condução do estudo. Presidente Bernardes, São Paulo, Brasil, 2018/2019 e 2019/2020.

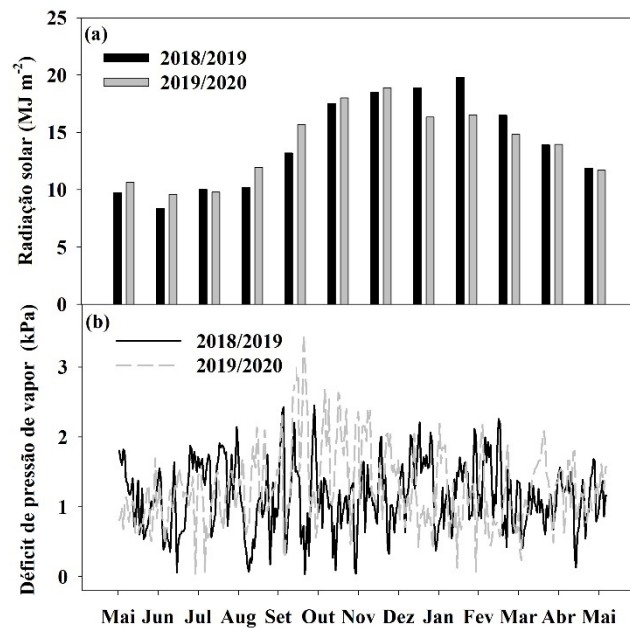


Figura 2. Média mensal de radiação global e déficit de pressão de vapor diário. Presidente Bernardes, Sao Paulo, Brazil, 2018/2019 and 2019/2020.

Tabela 2. Características químicas e físicas do solo (média sistemas), antes da implantação dos sistemas.

Prof. (cm)	pH	MOS g dm ⁻³	P _{resina} ... mg dm ⁻³ ...	S	H+Al	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	CTC	Areia	Silte	Argila
						mmolc dm ⁻³				g kg ⁻¹	
0-20	5,0	8,9	2,1	8,0	15,9	0,6	7,5	3,8	27,5	835	22	143
20-40	4,8	4,6	1,4	4,7	15,9	0,5	5,1	3,9	25,3	815	39	146

6.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. As parcelas foram compostas pelos sistemas de rotação de culturas: Pousio (vegetação espontânea), Gramínea solteira (GS), Gramínea+gramínea (G+G) (duas gramíneas em consórcio), Gramínea+leguminosa (G+L) (uma gramínea e uma leguminosa em consórcio) e MIX (misturas três de plantas de cobertura); as subparcelas pelas doses de nitrogênio: 70, 100 e 130 kg ha⁻¹; e as sub-subparcelas pelas fontes de nitrogênio: ureia (45% N) e ureia de liberação controlada (ULC), revestida com enxofre elementar (40% N + 8% S). As parcelas tiveram dimensões de 15x9 m; as sub-parcelas de 4,5x9m e as sub-subparcelas de 4,5x4,5m.

6.2.3 Manejo das plantas de cobertura

A semeadura das culturas de cobertura foi realizada em abril e maio de 2018 e 2019, respectivamente, utilizando-se adubação de base em todos tratamentos de 20, 70 e 32 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente em 2018. Devido à baixa precipitação (115 mm) acumulada, a produtividade do sorgo foi baixa (estimou-se 0,9 t ha⁻¹ de grãos) e este não foi colhido, não havendo, portanto, exportação de nutrientes. Em 2019 as plantas de cobertura foram semeadas sem fertilizantes, devido a ausência de culturas de interesse econômico na segunda safra.

A densidade de semeadura foi de 6 kg ha⁻¹ para a *Urochloa ruziziensis*; 2,2 kg ha⁻¹ para *Macrotyloma axillara* cv. Java; 90 kg ha⁻¹ para a mucuna preta (*Mucuna pruriens*) e 18 kg ha⁻¹ para o milheto (*Pennisetum americanum*), e foi a mesma em cultivos solteiros ou consorciados. Em setembro de 2018 foi aplicado 1,7 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico em setembro de 2019 1 Mg ha⁻¹ de gesso agrícola.

A dessecação das plantas de cobertura foi realizada em setembro e outubro de 2018 e 2019, respectivamente, utilizando-se o herbicida não seletivo glifosato (1.44 L ha⁻¹ do i.a.) Após a dessecação das plantas cobertura quantificou-se a produção de massa de matéria seca da parte aérea e raiz com a coleta de três sub-amostras por parcela em uma área de 0,2 m² para a parte aérea (palha) e de 2000 cm³ (10 x 10 x 20 cm) para raiz, as quais foram secas. e apresentaram as seguintes produções da parte aérea: 1,4; 4,0; 4,6; 1,6 e 3,6 Mg ha⁻¹ (2018); 0,90; 4,5; 4,9; 3,7 e 5,1 Mg ha⁻¹

(2019), nos tratamentos pousio, GS, G+G, G+L e MIX, respectivamente; e de raiz: 0,94; 2,7; 2,8; 0,95; 3,2 t ha⁻¹ (2018) e 0,68; 1,7; 1,0; 0,78; 1,1 Mg ha⁻¹ (2019), nos tratamentos pousio, GS, G+G, G+L e MIX, respectivamente.

6.2.4 Manejo do algodoeiro

A semeadura do algodoeiro (cultivar tardia FM 983GLT) foi realizada em 22/11/2018 e 28/11/2019, no espaçamento de 0,90 m entre linhas, com oito sementes por metro linear. Na adubação de semeadura utilizou-se 25 e 125 kg ha⁻¹ de N e P₂O₅, respectivamente (fosfato-monoamônico). Aos 30 DAE foi aplicado 1,8 kg ha⁻¹ de boro (Ulexita). A adubação potássica foi parcelada aos 30 e 60 DAE, com aplicação total de 120 kg ha⁻¹ de K₂O, via cloreto de potássio. Aos 25 e 45 DAE após emergência foram realizadas as adubações nitrogenadas de cobertura, conforme os tratamentos. Nesse mesmo período foi aplicado enxofre elementar nas parcelas com ureia, com finalidade de balancear o enxofre fornecido via ureia de liberação controlada. O manejo de pragas, doenças e regulador de crescimento foi realizado de acordo com a necessidade da cultura, sendo o mesmo manejo para todos tratamentos.

6.2.5 Avaliações

A coleta para diagnose foliar do N foi realizada no pleno florescimento (75 DAE), com a amostragem de dez folhas (primeira folha totalmente expandida, com pecíolo) em cada parcela. A determinação da produção de massa de matéria seca e acúmulo de N foi realizada aos 75 DAE (pleno florescimento do algodoeiro), pela coleta de três plantas por parcela, que foram lavadas em água corrente, emergidas em água destilada, secas em estufa por 96 horas á 65 °C, pesadas em balança de precisão (0,01 g) e moídas. A concentração de nitrogênio no tecido foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997). Em seguida estimou-se o acúmulo de matéria seca e nitrogênio na parte aérea do algodoeiro em kg ha⁻¹.

Aos 148 DAE foram avaliados a altura e número de nós em quatro plantas por parcela; colheita manual de dois metros das linhas centrais da parcela para avaliação dos componentes de produção (número de capulhos e peso médio do capulho) e estimativa da produtividade. Uma sub-amostra de 100 gramas foi separada para

determinar o rendimento e os parâmetros de qualidade de fibra: micronaire, comprimento, resistência, maturidade, uniformidade, alongação e índice de fibras curtas pelo método High Volume Instrumentals (HVI).

Após a colheita do algodoeiro nas duas safras, foi coletado solo na profundidade de 0-40 cm, com cinco sub-amostras por parcela, para determinação do nitrogênio inorgânico do solo (nitrato e amônio) cujas análises foram realizadas conforme a metodologia descrita por Cantarella e Trivelin (2001). Os estoques de N do solo foram calculados considerando o teor de N (mg kg^{-1} de solo) e a densidade do solo na camada de 0-40 cm. A densidade do solo foi determinada por meio da coleta de cinco amostras de solo em cada sistema, de forma aleatória, utilizando anéis de aço de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura. Em seguida, foi calculada a densidade média. A densidade era de 1,71; 1,65; 1,70; 1,70 e 1,69 g dm^{-3} no pousio, GS, G+G, G+L e MIX, respectivamente.

6.2.6 Análises dos dados

A análise estatística foi realizada através da análise de variância, e o teste t (LSD) a 5% probabilidade ($p < 0,05$) foi utilizado para comparar as médias dos tratamentos.

6.3 Resultados

6.3.1 Produtividade de fibra e componentes de produção

A produtividade de fibra foi 61 maior na safra 2019/2020. A produtividade foi menor no pousio nos dois anos comparado aos sistemas de rotações. O sistema com MIX de plantas de cobertura foi 21% (304 kg ha^{-1} de fibra) mais produtivo que o pousio (média de duas safras) (Figura 3).

A maior produtividade no pousio com ureia não revestida ocorreu com a dose 130 kg ha^{-1} (30% maior que a dose recomendada) nas duas safras. Já com ureia de liberação controlada, a máxima produtividade foi obtida com 100 kg ha^{-1} de N nas duas safras, resultando portanto, em uma economia de 30% na dose aplicada de N com o uso da ULC (Figura 3 a;b). Houve redução da produtividade com 130 kg ha^{-1}

de N, nos tratamentos pousio, GS e MIX (ULC) e G+L (duas fontes) (2018/2019); GS e MIX (ULC) (2019/2020) (Figura 3). Na maior parte das vezes não houve das doses entre as duas fontes de N.

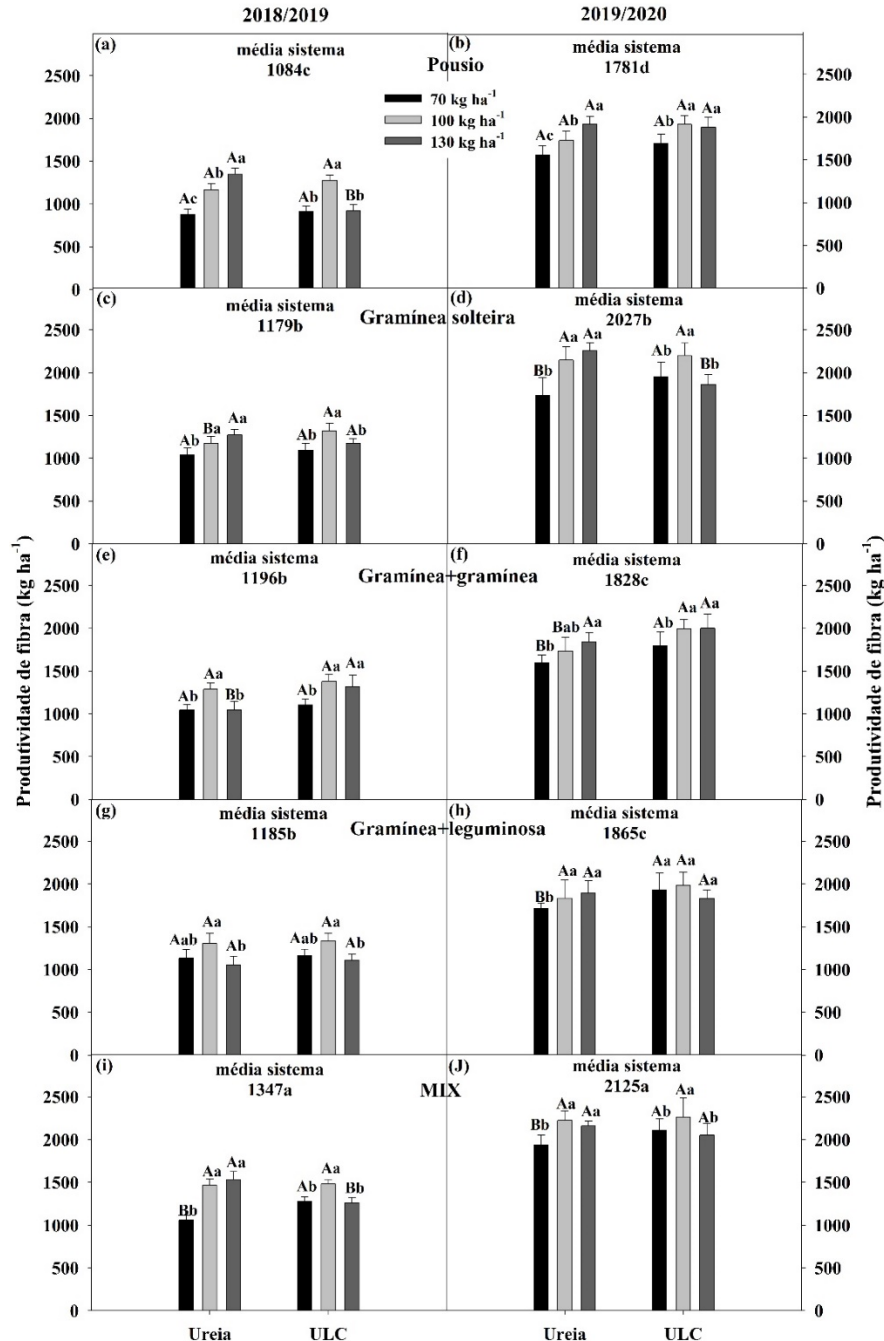


Figura 3. Produtividade de fibra do algodoeiro cultivado em sistemas com plantas de cobertura com diferentes doses N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes. Barras verticais representam erro padrão da média.

Em 2018/2019 não houve efeito das fontes de N sobre o número e peso do capulho. Em 2019/2020 apesar da ureia de liberação controlada reduzir o número de capulhos em 7%, o peso médio aumentou em 13% (média dos sistemas e doses de N (Tabela 3). Altas doses de N (130 kg ha^{-1}) reduziram o número (2018/2019) e peso de capulhos em (2019/2020) (Tabela 3). O pousio teve menor peso e número de capulhos na safra 2018/2019, mas em 2019/2020 não se diferenciou dos consórcios G+G e G+L (Tabela 3). Não houve efeito dos sistemas sobre o rendimento de fibra, e na safra 2018/2019 altas doses de N reduziram o rendimento, mas sem efeito das fontes nos dois anos avaliados (Tabela 3).

A aplicação de 130 kg ha^{-1} de N aumentou em 7% (2018/2019) e 5% (2019/2020) o número de nós (Tabela 3). As menores alturas de plantas foram nos sistemas GS e G+L (2018/2019) e GS, G+G e G+L (2019/2020). A altura de plantas aumentou pela elevação da dose de N ($70\text{-}130 \text{ kg ha}^{-1}$), 11% em 2018/2019 e 7% em 2019/2020 e 5% pela aplicação de ureia de liberação em 2018/2019 (Tabela 3).

Tabela 3. Altura de plantas, número de nós, número de capulhos, peso de capulhos (PMC) e rendimento de fibra (Rend.) do algodoeiro cultivado em sucessão a diferentes plantas de cobertura, com diferentes doses N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia convencional e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$).

Sistemas	Altura	Nós	Cap.	PMC	Rend.	Altura	Nós	Cap.	PMC	Rend.
	cm	--	m ⁻²	g	%	cm	--	m ⁻²	g	%
	2018/2019					2019/2020				
Pousio	101 ab	16,7 a	63,9 b	3,96 d	41,4 a	111 a	19,6 a	95,1 b	4,69 bc	41,8 a
Gramínea solteira	97 b	17,8 a	70,4 a	4,06 cd	41,2 a	105 b	19,2 a	104,8 a	4,80 b	42,2 a
Gramínea+gramínea	98 ab	17,2 a	68,3 a	4,33 b	41,6 a	106 b	18,9 a	97,5 b	4,67 bc	42,2 a
Gramínea+leguminosa	96 b	17,5 a	68,4 a	4,24 bc	41,3 a	106 b	19,1 a	99,3 b	4,61 c	42,3 a
MIX	104 a	17,1 a	70,6 a	4,56 a	41,8 a	108 ab	19,1 a	105,1 a	5,04 a	42,1 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)										
70	93 b	16,7 b	61,7 c	4,19 a	41,5 a	104 b	18,7 c	95,4 b	4,69 b	42,1 a
100	101 a	17,1 b	73,1 a	4,32 a	41,8 a	107 b	19,2 b	101,9 a	4,89 a	42,2 a
130	104 a	17,9 a	70,2 b	4,18 a	41,0 b	111 a	19,6 a	103,8 a	4,70 b	42,2 a
Fontes de N										
Ureia	97 b	17,0 b	67,7 a	4,20 a	41,5 a	108 a	19,3 a	104,2 a	4,51 b	42,0 a
ULC	102 a	17,5 a	68,9 a	4,26 a	41,5 a	106 a	19,0 a	96,5 b	5,02 a	42,3 a
Valor de p										
S	0,0202	0,2395	0,0007	0,0000	0,2132	0,0089	0,1285	0,0001	0,0000	0,5926
DN	0,0005	0,0000	0,0000	0,1248	0,0040	0,0000	0,0001	0,0000	0,0070	0,8842
FN	0,0316	0,0110	0,2236	0,3708	0,8507	0,0544	0,0524	0,0000	0,0000	0,2861
S*DN	0,5759	0,4057	0,0000	0,0136	0,0613	0,6804	0,9836	0,0009	0,0484	0,4964
S*FN	0,4568	0,0803	0,0552	0,0000	0,0743	0,0062	0,0024	0,3098	0,0502	0,5659
DN*FN	0,3208	0,4409	0,0152	0,0137	0,0902	0,1696	0,3651	0,1158	0,0369	0,1008
S*DN*FN	0,4312	0,0584	0,0603	0,0647	0,0502	0,5166	0,7514	0,0866	0,0869	0,9896
CV%	9,6	5,8	7,0	7,1	2,1	6,1	5,2	9,3	7,2	3,1

No primeiro ano a seca limitou o potencial produtivo (até 1600 kg ha⁻¹ de fibra), e a produtividade teve maior correlação com o número de capulhos ($r=0,92$), do que com o peso de capulho ($r=0,63$) (Figura 4a). Porém no segundo ano houve boa distribuição da chuva, o que elevou o potencial produtivo (até 2200 kg ha⁻¹ de fibra), e produtividade apresentou maior correlação com peso de capulho ($r=0,80$) do que com o número de capulhos ($r=0,44$) (Figura 4b), indicando que a obtenção de produtividades maiores depende também do aumento do PMC.

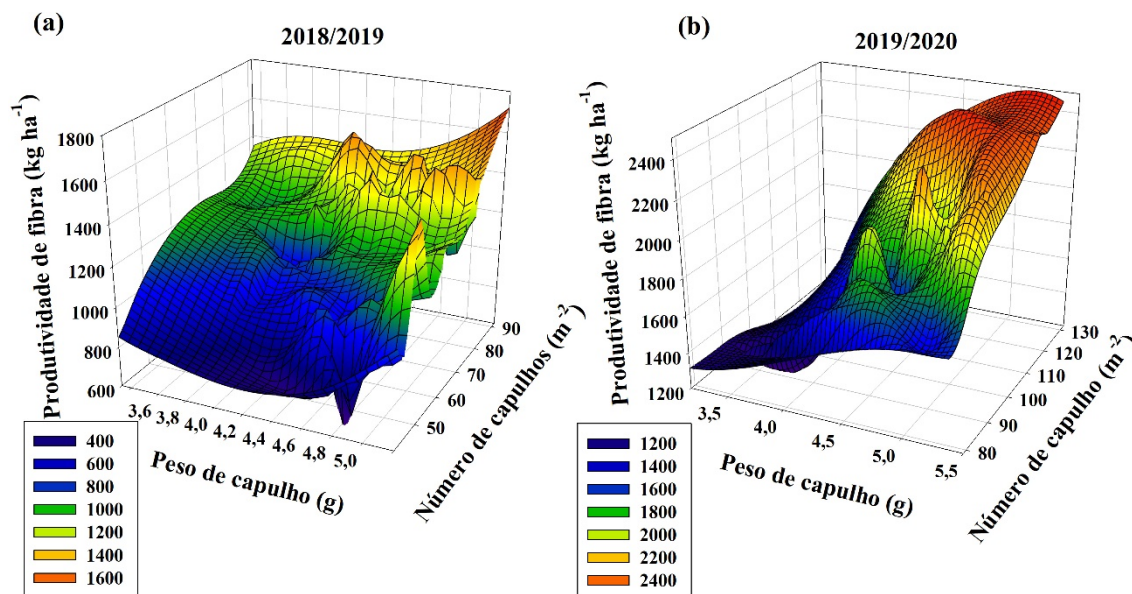


Figura 4. Relação entre produtividade de fibra do algodoeiro, número e peso de capulhos, nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

6.3.2 Matéria seca e N na planta

Não houve interação entre os tratamentos para o acúmulo de massa de matéria seca da parte aérea (MS), N na planta e o teor de N foliar (Tabela 4). O acúmulo de matéria seca da parte aérea do algodoeiro em 2018/2019 foi maior nos sistemas com baixo aporte de biomassa das plantas de cobertura (pousio e G+L) e em 2019/2020 maior nos sistemas com alto aporte (GS e MIX). O acúmulo de N no algodoeiro em 2018/2019 foi maior no pousio e G+G e 2019/2020 no MIX. A maior concentração de N foliar foi no MIX (2018/19) e nos sistemas com leguminosa (G+L e MIX) em 2019/20 (Tabela 4). O máximo acúmulo de N e MS foi com 100 kg ha^{-1} de N na safra com restrição hídrica (2018/2019), e 130 kg ha^{-1} de N na safra com disponibilidade hídrica adequada (2019/2020). A máxima concentração de N foliar foi com 130 kg ha^{-1} (ambas safras) e a ureia de liberação controlada resultou em maior produção de MS, N na planta e N foliar nos dois anos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Acúmulo de matéria seca (MS) e nitrogênio de parte aérea e concentração de N foliar no algodoeiro cultivado em sistemas de rotação de culturas, com diferentes doses N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia convencional e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$).

Sistemas	MS	N-parte aérea	N-folha	MS	N-parte aérea	N-folha
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
	2018/2019			2019/2020		
Pousio	6507 a	194 a	39,7 c	7545 b	271 c	46,1 b
Gramínea solteira	6095 b	163 c	38,9 d	8345 a	304 b	46,0 b
Gramínea+gramínea	6550 b	194 a	38,9 d	7602 b	274 c	45,7 b
Gramínea+leguminosa	6983 a	178 b	40,5 b	7596 b	277 c	47,2 a
MIX	6074 b	173 bc	41,9 a	8429 a	334 a	47,6 a
Doses de N (kg ha ⁻¹)						
70	5693 b	156 b	39,0 c	7084 c	261 c	44,7 c
100	6686 a	188 a	39,8 b	7981 b	292 b	46,3 b
130	6946 a	197 a	41,1 a	8645 a	323 a	48,6 a
Fontes de N						
Ureia	6162 b	171 b	39,7 b	7614 b	281 b	45,9 b
ULC	6721 a	190 a	40,2 a	8193 a	303 a	47,1 a
Valor de p						
S	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002
DN	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
FN	0,0000	0,0000	0,0129	0,0000	0,0000	0,0001
S*DN	0,8452	0,2344	0,0882	0,3245	0,0512	0,4011
S*FN	0,0694	0,0587	0,0614	0,1225	0,0600	0,0700
DN*FN	0,8718	0,7743	0,1812	0,8623	0,4761	0,3737
S*DN*FN	0,9138	0,3315	0,0977	0,2543	0,0840	0,8329
CV%	12,4	12,3	5,9	10,1	11,2	10,8

6.3.3 Correlações

Na safra com restrição hídrica (2018/2019) não houve correlação entre a produtividade de fibra e o acúmulo de MS e N na planta, e a correlação com N foliar foi pequena (menor 0,50) (Tabela 5). Mas em 2019/2020 as correlações da produtividade de fibra com o peso médio do capulho (0,80), a massa de matéria seca (0,50), N acumulado na planta (0,60) e N foliar (0,51) foram significativas (Tabela 5). Não houve correlação da produtividade com N no solo nas duas safras (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação de Pearson entre produtividade de fibra, capulhos, peso de capulhos, acúmulo de matéria seca, nitrogênio na parte aérea e concentração de nitrogênio foliar do algodoeiro nas safras 2018/2019 e 2019/2020. **=significativo a 1%, *=significativo a 5%. ns= não significativo.

	Capulhos	Peso de capulhos	MS	N-parte aérea	N-folha	N-solo
Produtividade de fibra	0,92**	0,63**	2018/2019			
			0,19 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,46*	0,37 ^{ns}
Produtividade de fibra	0,44*	0,80**	2019/2020			
			0,50**	0,60**	0,51**	0,25 ^{ns}

6.3.4 Qualidade de fibra

Não houve efeito dos tratamentos sobre a alongação, maturidade e uniformidade de fibra. Os parâmetros de qualidade de fibra como micronaire, comprimento e resistência foram maiores na safra 2018/2019 ($p < 0,01$) e os sistemas de rotação de culturas tiveram pouco efeito sobre a qualidade de fibra ($p > 0,05$) (Tabela 6). O incremento das doses de N reduziu o micronaire, exceto GS com ureia (2018/2019) e MIX com ULC (Tabela 6). O incremento das doses de N também reduziu a resistência de fibra na maioria dos tratamentos, mas com maior frequência na safra 2018/2019 (Tabela 6). Não houve efeito das doses de N para o comprimento de fibra, exceto com a ureia de liberação controlada no sistema GS (2018/2019) e G+G (2019/2020) onde foi observado aumento do comprimento da fibra (Tabela 5). No pousio a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N reduziu o IFC em 34 e 12%, safras 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, comparado a 70 kg ha⁻¹ de N (Tabela 6).

A qualidade de fibra foi pouco influenciada pelas fontes de N na safra 2018/2019, e sem efeito na safra 2019/2020 (Tabela 6). O micronaire foi menor quando a ureia de liberação controlada foi associada a maiores doses de N, mas com efeito dos sistemas. Altas doses de N (130 kg ha⁻¹) e ULC também reduziram a resistência de fibra, exceto no pousio, na safra 2018/2019 (Tabela 6). A ureia de liberação controlada reduziu o índice de fibras curtas, principalmente no MIX, onde foi 38% menor que a ureia convencional (médias das doses de N) (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetros de qualidade de fibra do algodoeiro cultivado em sucessão a diferentes plantas de cobertura, com diferentes doses N e fontes de N, nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam fonte de N. Letras maiúsculas comparam doses de N.

	Micronaire ug pol ⁻¹		Comprimento mm		Resistência gf tex ⁻¹		Índice de fibra curta %	
2018/2019								
Doses N (kg ha ⁻¹)			Pousio					
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	5,1 Aa	5,1 Aab	30,8 Aa	31,6 Aa	34,1 Aa	35,0 Aa	9,0 Aa	8,4 Ba
100	5,0 Aa	5,1 Aa	31,1 Aa	31,3 Aa	34,3 Aa	33,0 Bb	6,6 Ab	6,4 Ab
130	4,6 Bb	4,9 Ab	30,6 Aa	31,1 Aa	33,5 Aa	32,2 Ab	6,0 Ab	6,2 Ab
CV%	6,7		8,0		6,6		18,2	
Gramínea solteira								
70	4,8 Aa	4,8 Aa	31,4 Aa	31,8 Aa	35,9 Aa	33,1 Bb	6,0 Ab	5,5 Aa
100	5,0 Aa	4,5 Bb	31,2 Aa	31,9 Aa	35,5 Aab	34,7 Aa	6,1 Ab	4,7 Ba
130	5,1 Aa	4,2 Bc	31,4 Aa	30,6 Ab	34,5 Ab	32,6 Bb	8,6 Aa	5,5 Aa
CV%	5,2		4,8		8,1		12,1	
Gramínea+gramínea								
70	4,9 Aa	4,6 Ab	31,3 Aa	30,8 Aa	35,3 Aa	33,7 Bb	7,0 Aa	5,3 Ba
100	5,1 Aa	5,1 Aa	31,3 Aa	31,6 Aa	35,3 Aa	35,8 Aa	4,9 Ab	5,5 Aa
130	4,5 Ab	4,5 Ab	31,2 Aa	31,3 Aa	33,7 Ab	32,6 Bc	6,1 Aab	5,7 Aa
CV%	3,2		3,4		5,1		11,0	
Gramínea+leguminosa								
70	5,1 Aa	5,0 Aa	30,7 Aa	31,0 Aa	33,1 Ba	35,2 Aa	6,9 Aa	5,1 Aa
100	5,1 Aa	5,1 Aa	30,7 Aa	30,8 Aa	32,8 Aab	33,1 Ab	6,3 Aa	6,8 Aa
130	4,7 Ab	4,2 Bb	30,8 Aa	31,4 Aa	32,1 Ab	30,8 Bc	6,6 Aa	5,6 Aa
CV%	2,5		5,1		2,1		15,1	
MIX								
70	5,1 Aa	5,2 Aa	30,5 Aa	31,1 Aa	33,3 Aab	34,2 Aa	6,7 Ab	5,7 Ba
100	4,9 Aab	5,3 Ba	31,0 Aa	31,9 Aa	34,2 Aa	33,0 Bb	8,1 Aa	4,8 Bab
130	4,6 Ab	4,6 Ab	31,0 Aa	31,6 Aa	32,7 Ab	31,2 Bc	5,8 Ab	4,4 Bb
CV%	2,8		3,1		4,1		13,1	
2019/2020								
Pousio								
70	4,3 Aab	4,2 Ab	28,2 Ab	28,8 Aa	28,9 Ab	29,0 Ab	11,1 Aa	11,2 Aa
100	4,7 Aa	4,7 Aa	29,6 Aa	29,3 Aa	29,6 Ab	30,2 Aab	9,8 Aab	10,2 Aab
130	4,2 Ab	4,3 Aab	29,7 Aa	29,5 Aa	30,9 Aa	30,6 Aa	8,7 Ab	9,7 Ab
CV%	2,9		3,1		5,1		5,1	
Gramínea solteira								
70	4,5 Aa	4,6 Aa	29,4 Aa	29,1 Aab	30,5 Aa	29,3 Ab	9,8 Aa	11,5 Aa
100	3,7 Ab	4,0 Ab	29,4 Aa	28,9 Ab	30,9 Aa	29,7 Ab	10,0 Aa	11,3 Aa
130	3,4 Ab	3,9 Ab	29,7 Aa	29,7 Aa	31,3 Aa	31,2 Aa	9,9 Aa	9,7 Ab
CV%	3,8		4,2		6,2		8,2	
Gramínea+gramínea								
70	4,6 Aa	4,5 Aa	29,3 Aa	29,5 Aab	29,2 Ab	30,4 Aa	9,6 Aa	10,3 Aa
100	4,1 Aab	4,2 Aa	29,4 Aa	29,8 Aa	31,0 Aa	30,6 Aa	10,3 Aa	9,8 Aa
130	4,0 Ab	4,1 Ab	29,1 Aa	29,1 Ab	30,6 Aab	30,9 Aa	10,5 Aa	10,3 Aa
CV%	2,1		3,2		4,9		6,6	
Gramínea+leguminosa								
70	4,6 Aa	4,6 Aa	29,7 Aa	28,9 Aa	30,4 Aa	30,4 Aa	10,3 Aa	10,4 Aa
100	4,4 Aa	4,0 Ab	29,2 Aa	28,8 Aa	30,9 Aa	30,1 Aa	10,3 Aa	11,0 Aa
130	3,8 Ab	3,8 Ab	29,6 Aa	29,4 Aa	30,6 Aa	30,3 Aa	10,6 Aa	10,3 Aa
CV%	2,6		3,8		3,9		9,1	
MIX								
70	4,4 Ab	4,3 Ab	29,7 Aa	29,5 Aa	31,0 Aa	29,5 Aa	8,9 Aa	9,7 Aa
100	4,8 Aa	4,4 Ab	29,3 Aa	29,9 Aa	30,3 Aa	31,1 Aa	9,3 Aa	9,4 Aa
130	4,3 Ab	4,7 Aa	29,7 Aa	29,7 Aa	31,7 Aa	30,3 Aa	10,1 Aa	9,8 Aa
CV%	2,3		5,9		2,1		8,3	

6.3.5 Nitrogênio solo

O maior estoque de N inorgânico no solo foi no MIX (duas safras) (Figura 5). O incremento das doses de N aumentou o estoque de N no solo, independente da safra, sistema e fonte de N, exceto no MIX safra 2019/2020 com ureia convencional (Figura 5). A ULC aumentou o estoque de N no solo, comparado a ureia convencional, na grande maioria dos tratamentos, exceto no pousio em todas as doses de N na safra 2018/2019. O aumento com ULC foi de 13% (10,6 kg ha⁻¹ de N) e 18% (14,9 kg ha⁻¹) nas safras 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente (Figura 5).

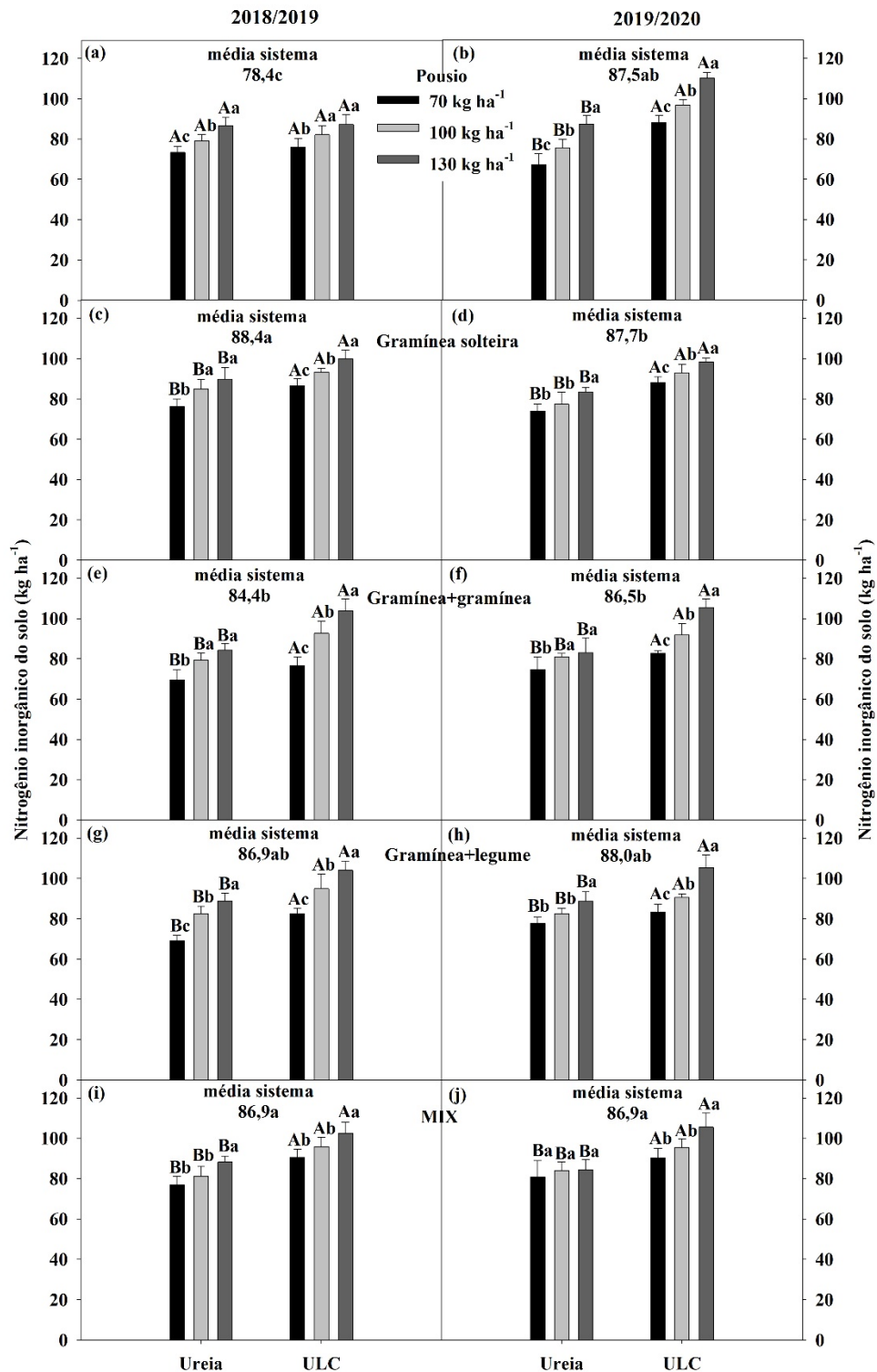


Figura 5. Estoque de nitrogênio inorgânico (nitrato+amônio) do solo (0-40 cm) após a colheita do algodoeiro, em sucessão a diferentes plantas de cobertura com diferentes doses N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes. Barras verticais representam o erro padrão da média.

6.4 Discussão

A ausência de plantas de cobertura limitou a produtividade de fibra do algodoeiro, além de aumentar a demanda por fertilizante nitrogenado, o que aumenta o custo de produção para os produtores (Figura 3). Plantas de cobertura são uma boa estratégia para reduzir o custo com fertilizantes nitrogenados a médio-longo prazo e aumentar a produtividade de fibra (NOURI *et al.*, 2020), e isso ocorre devido principalmente a melhoria da qualidade do solo (NOURI *et al.*, 2019), principalmente em ambientes com maior diversidade de plantas de cobertura (CHU *et al.*, 2017), como reportado no presente estudo, onde a produtividade com o MIX de plantas de cobertura foi 12% maior comparado ao uso exclusivo de gramíneas (média das duas safras) (Figura 3i;j).

A ureia de liberação controlada é outra estratégia para reduzir a dose de N e aumentar o estoque de N no solo (Figura 3; Figura 5), e a magnitude da redução depende do sistema de rotação implementado. Em sistemas sem plantas de cobertura, a oscilação da temperatura na superfície do solo é maior, o que reduz a longevidade da ureia de liberação controlada, liberando de forma mais rápida, o que reduz a eficiência do fertilizante (RANSOM *et al.* 2020). Diversos estudos reportam maior eficiência da ureia de liberação controlada, com possibilidade da redução da dose de N (YANG *et al.*, 2011; LI *et al.*, 2017; YANG *et al.*, 2020), além de aumentar a produtividade do algodão 9-17% (GENG *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2016), porém nenhum deles associa a maior eficiência da ureia de liberação controlada com o sistema de rotação ou plantas de cobertura, principalmente em ambiente tropical e solos arenosos. Nesses ambientes a eficiência da ureia de liberação controlada é dependente do manejo adequado do solo.

Além disso, a eficiência da ureia de liberação controlada foi maior no ano com boa disponibilidade hídrica (Figura 1b), resultando em ganho de peso do capulho (13%) (Tabela 3), assim como reportado por Geng *et al.* (2015), sendo esse componente de produção o principal responsável pelo aumento de produtividade em anos com altas produtividades (Figura 4b; Tabela 5). Isso ocorre porque a ureia de liberação controlada, se manejada de forma adequada, tem maior eficiência em nutrir o algodoeiro uma vez que a liberação é gradual e acompanha a marcha de absorção da cultura, o que também evita perdas por lixiviação e garante nutrição adequada

(Tabela 4). Por outro lado, a perda de nitrogênio inorgânico por lixiviação via ureia comum em anos com alta pluviosidade é maior (ZHANG *et al.*, 2018), o que pode expor as plantas à deficiência antecipada e limitar a fixação e ganho de peso dos frutos (GENG *et al.*, 2015).

Rotação de culturas, plantas de cobertura e manejo adequado do nitrogênio aumentam de forma considerável a produtividade de fibra (Figura 3). Porém em ambientes de produção de solos arenosos, a irregularidade pluviométrica é o principal limitante para produção agrícola, como observado na safra 2018/2019, com precipitação de 639 mm durante o ciclo, e veranico de 21 dias entre os 44 e 65 DAE (Figura 1a), o que limitou a resposta dos tratamentos.

Em situações de déficit hídrico e baixa produtividade a maior correlação da produtividade é com o número de capulhos (Tabela 5; Figura 4a). Wang *et al.* (2016) reportaram que o déficit hídrico no início da floração prejudica a fixação e a formação do capulho, reduzindo seu peso. Além disso, o baixo desenvolvimento do dossel (altura, número de nós) (Tabela 3), limitam a interceptação da radiação solar e síntese de carboidratos, reduzindo o acúmulo de biomassa e o peso de capulho (ZHAO *et al.*, 2018). Assim observa-se que para obtenção de produtividades acima de 1600 kg ha⁻¹ de fibra o incremento no peso médio de capulho é fundamental, sendo esse afetado negativamente pela seca e melhorado com uso de ureia de liberação controlada (Tabela 3).

O aumento da concentração de N foliar no algodoeiro nos sistemas com leguminosa (MIX e G+L) (Tabela 4) é atribuído a fixação biológica de nitrogênio nessas espécies, o que aumenta o estoque de N no solo (Figura 5) e sua disponibilidade à cultura sucessora, principalmente quando consorciadas (JENSEN *et al.*, 2020). Sistemas com uso exclusivo de gramíneas, pousio e aplicação de 70 ou 100 kg ha⁻¹ de N levaram a deficiência de N no algodoeiro (teor <40 g kg⁻¹ nas folhas) (Tabela 4) (BORIN *et al.*, 2014) na safra 2018/2019, reflexo da menor disponibilidade de N nesses sistemas além da restrição hídrica severa dias antes da coleta das folhas (Figura 1a), o que pode ter agravado a absorção de N. A aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N resultou em excesso de N nas folhas de algodão (48,6 g kg⁻¹) (Tabela 4) (BORIN *et al.*, 2014), não sendo um problema em anos com precipitação adequada, evidenciado pela correlação com a produtividade na safra 2019/2020 (Tabela 5).

O excesso de N na planta resulta em maior vegetação e consumo de água, agravando o efeito negativo do estresse hídrico (COAST *et al.*, 2020), reduzindo a produtividade de fibra em anos mais secos (Figura 1a; Figura 3a;e;i). Dessa forma a dose de N deve ser ajustada de acordo com a disponibilidade hídrica de cada safra, principalmente em ambientes com instabilidade climática como do presente estudo.

O acúmulo de matéria seca e N na parte aérea do algodoeiro não teve correlação com a produtividade em ano seco, mas em ano com precipitação regular o aumento de produção de matéria e acúmulo de N resultaram em acréscimo de produtividade de fibra (Tabela 4). Em situações de estresses abióticos é esperada a baixa ou ausência de correlação da produção de biomassa com a produtividade de fibra (GRUNDY *et al.*, 2020), causado pelo abortamento das estruturas reprodutivas ou pelo menor ganho de massa do capulho (JONES *et al.*, 1996). Altas temperaturas e estresses hídrico limitam a taxa fotossintética do algodoeiro e a produção de biomassa (LI *et al.*, 2020), resultando em menor produtividade de fibra como observado na safra 2018/2019 (Figura 3), sendo que na safra 2018/2019 a precipitação foi 45% menor e temperatura média 6% maior comparado a safra 2019/2020 (Figura 1). O acúmulo médio de 6,5 e 7,9 t ha⁻¹ de matéria seca (pleno florescimento) resultou em produtividades de fibra de 1200 e 1900 kg ha⁻¹ em 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente.

O excesso de N reduziu a qualidade de fibra, principalmente micronaire e resistência (Tabela 6). Isso ocorre porque altas doses de N modificam a arquitetura da planta, causando redução da concentração de produção no terço inferior e médio e aumentando no terço superior (RAPHAEL *et al.*, 2019). Dessa forma a maior parte dos capulhos foram enchidos em um período de menor precipitação, temperatura (Figura 1) e radiação (Figura 2), resultando em menor qualidade de fibra. Estudos anteriores relatam que a seca (WANG *et al.*, 2019) e a baixa radiação (ZHAO; OOSTERHUIS, 2000) reduzem a qualidade da fibra, principalmente micronaire e resistência, em decorrência da menor taxa fotossintética (ECHER; ROSOLEM, 2015). Dessa forma o manejo adequado do N no algodoeiro em relação às fontes e doses e sistemas de rotação de culturas deve preconizar a fixação de estruturas reprodutivas do terço inferior e médio da planta, afim de evitar a perda da qualidade e exploração do máximo potencial produtivo com precocidade.

Apesar da piora do micronaire e da resistência de fibra pelo aumento da dose de N, os demais parâmetros de qualidade de fibra estiveram dentro da faixa adequada

para comercialização. O cultivo do algodoeiro nas regiões Oeste e Centro-Sul de São Paulo ocorre entre novembro e maio com ciclo de 150 a 160 dias, porém no Centro-Oeste (MT, MS, GO) e no Oeste da Bahia o cultivo é entre dezembro e agosto (170 a 200 dias) e o excesso de N pode expor às plantas a piores condições de temperatura e principalmente luminosidade, reduzindo a qualidade de fibra (ECHER *et al.*, 2020).

A menor dose de N (70 kg ha^{-1}) aumentou o índice de fibras curtas (duas safras) e reduziu a resistência de fibra (2019/2020) somente no pousio (Tabela 6). Na safra 2019/2020 (safra com maior potencial produtivo e demanda de N) o índice de fibras curtas foi acima do tolerável para comercialização (maior que 10%) no pousio com apenas 70 kg ha^{-1} de N, indicando que sistemas com baixo aporte de biomassa no inverno demandam maior investimento em adubação (NOURI *et al.*, 2020) para manutenção de baixos índices de fibras curtas. Assim, a deficiência de N é resultado do fornecimento de baixas doses de N aliada à ausência de plantas de cobertura o que leva a redução da produtividade e da qualidade de fibra (Figura 3 a;b; Tabela 6), pois a redução do teor de N nas folhas diminui a concentração de clorofila, a taxa fotossintética, a interceptação luminosa e deposição de celulose nas paredes secundárias da fibra (TANG *et al.*, 2018).

A ureia de liberação controlada reduziu o índice de fibras curtas no MIX na safra com baixa precipitação (2018/2019) (Tabela 6) e o micronaire quando associada a altas doses de N. Estudos reportam que o comprimento, uniformidade e resistência de fibra melhoram com o uso de ureia de liberação controlada (YANG *et al.*, 2016 e GENG *et al.*, 2016). Porém em ambientes de clima tropical e solo arenoso, são necessários mais estudos para investigar esses efeitos, uma vez que os resultados foram variáveis entre os anos.

O MIX de plantas, adubação mineral e ULC foram importantes para incremento no N inorgânico do solo (Figura 5), mas este ainda foi considerado baixo, cerca de 110 kg ha^{-1} na camada arável. Silva *et al.* (2020) reportam estoques de até 80 kg ha^{-1} de N em solos arenosos em sistemas com plantio direto, plantas de cobertura e rotação com leguminosas, enquanto na ausência desses manejos apenas 20 kg ha^{-1} , evidenciando a importância de manejos sustentáveis do solo nesses ambientes para melhorar os estoques de N no solo.

Entre os manejos de plantas de cobertura o MIX tem maior eficiência em aumentar os estoques de N inorgânico do solo figura 5 (CHU *et al.*, 2017), pois tem a capacidade de fornecer alta quantidade de carbono (gramínea) que incrementa o teor

de matéria do solo e nitrogênio (leguminosas) via fixação biológica de nitrogênio (JENSEN *et al.*, 2020). Por sua vez a ULC reduz as perdas de lixiviação e volatilização, aumentando o estoque no solo Figura 5 (ZHANG *et al.*, 2018; MINATO *et al.*, 2020). Ou seja, nesses ambientes de produção a melhor forma de aumentar a eficiência do N no sistema de produção é a utilização de várias técnicas simultaneamente.

6.5 Conclusão

O uso do MIX de plantas de cobertura na entressafra é a melhor opção para aumentar a produtividade de fibra do algodoeiro. Em sistemas com plantas de cobertura e uso de ureia de liberação controlada o estoque de N no solo é maior em relação a ureia não revestida. Doses de N acima da recomendada (100 kg ha⁻¹) aumentam a produtividade somente em sistemas sem plantas de cobertura (pousio) na fonte ureia.

REFERÊNCIAS

- BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, M. C. S. Adubação do Algodoeiro no Ambiente de Cerrado. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- CHU, M.; JAGADAMMA, S.; WALKER, F. R.; EASH, N. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A. Effect of multispecies cover crop mixture on soil properties and crop yield. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 2, p. 1-5. 2017. <https://doi.org/10.2134/ael2017.09.0030>
- COAST, O.; HARDEN, S.; CONATY, W. C.; BRODRICK, R.; EDWARDSd, E. J. Canopy temperature of high-nitrogen water-stressed cotton. **Crop Science**, v. 60, n. 3, p. 1513-1529, 2020. <https://doi.org/10.1002/csc2.20127>
- CORDEIRO, C. F. S., ECHER, F. R. Interactive effects of nitrogen-fixing bacteria inoculation and nitrogen fertilization on soybean yield in unfavorable edaphoclimatic environments. **Scientific reports**, v. 9, 15606, 2019 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52131-7>
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M.R.; MACEDO, M.C.M.; TEIXEIRA, P.C.; AMARAL, A.J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p.1003-1020, 2016. <http://dx.1003-1020.10.1590/S0100-204X2016000900001>
- ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Cotton yield and fiber quality affected by row spacing and shading at different growth stages. **European Journal of Agronomy**, v. 65, p.18-26, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.001>

ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; DE LA TORRE, E. D. J. R. The effects of nitrogen, phosphorus, and potassium levels on the yield and fiber quality of cotton cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, p. 921-932. 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.001>

FAO. **World reference base for soil resources 2014**: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015.

GRUNDY, P. R.; YEATES, S. J.; BELL, K. L. Cotton production during the tropical monsoon season. II–Biomass accumulation, partitioning and RUE in response to boll loss and compensation. **Field Crops Research**, v. 255, p. 107868, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107868>

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

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.010>

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**, v. 184, p. 9-16, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.001>

HU, W.; SNIDER, J. L.; WANG, H.; ZHAOU, Z.; CHASTAIN, D. R.; WHITAKER, J.; PERRY, C. D.; BOURLAND, F. M. Water-induced variation in yield and quality can be explained by altered yield component contributions in field-grown cotton. **Field Crops Research**, v. 224, p. 139-147, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.05.013>

HARTEMINK, A. E.; HUTING, J. Sandy soils in Southern and Eastern Africa: extent, properties and management. *In*: Proceedings of the International Conference on the Management of Tropical Sandy Soils. Bangkok: FAO, 2007.

JENSEN, E. S.; CARLSSON, G.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, p. 5, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>

JONES, M. A.; WELLS, R.; GUTHRIE, D. S. Cotton response to seasonal patterns of flower removal: II. Growth and dry matter allocation. **Crop science**, v. 36, p. 639-645, 1996. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600030020x>

LI, X.; SHI, W.; BROUGHTON, K.; SMITH, R.; SHARWOOD, R.; PAYTON, P.; BANGE, M.; TISSUE, D. T. Impacts of growth temperature, water deficit and heatwaves on carbon assimilation and growth of cotton plants (*Gossypium hirsutum* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 179, 104204, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104204>

LI, P.; LU, J.; HOU, W.; PAN, Y.; WANG, Y.; KHAN, M. R.; REN, T.; CONG, R.; LI, X. Reducing nitrogen losses through ammonia volatilization and surface runoff to improve apparent nitrogen recovery of double cropping of late rice using controlled-release urea. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 11722-11733, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8825-8>

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. Piracicaba: Potafós, 1997. p. 115-230.

MINATO, E. A.; CASSIM, B. M. A. R.; BESEN, M. R.; MAZZI, F. L.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Controlled-release nitrogen fertilizers: characterization, ammonia volatilization, and effects on second-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20190108>

NOURI, A.; LEE, J.; YIN, X.; TYLER, D. D.; SAXTON, A. M. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998-1008, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.016>

NOURI, A.; LEE, J.; YODER, D. C.; JAJADAMMA, S.; WALKER, F. R.; YIN, X.; ARELLI, P. Management duration controls the synergistic effect of tillage, cover crop, and nitrogen rate on cotton yield and yield stability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 301, p. 107007, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107007>

SANTOS, A.; MATOS, E. S.; FREDDI, O. S.; GALBIERI, R.; LAL, R. Cotton production systems in the Brazilian Cerrado: The impact of soil attributes on field-scale yield. **European Journal of Agronomy**, v. 118, p. 126090, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126090>

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, p. 763-775, 2018. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1393529>

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER, T.F.; D. QIN, G.-K.; PLATTNER, M.; TIGNOR, S.K.; ALLEN, J.; BOSCHUNG, A.; NAUELS, Y.; XIA, V.; BEX, P.M.; MIDGLEY (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535, 2013. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>

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, p. 1-17, 2018. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170033>

RANSOM, C. J.; JOLLEY, V. D.; BLAIR, T. A.; SUTTON, L. E.; HOPKINS, B. G. Nitrogen release rates from slow-and controlled-release fertilizers influenced by placement and temperature. **Plos one**. v.15, p.6, e0234544. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234544>

RAPHAEL, J. P.; ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Shading and nitrogen effects on cotton earliness assessed by boll yield distribution. **Crop Science**. v. 59, p. 697-707, 2019. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0343>

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107947>

YANG, X.; GENG, J.; HUO, X.; LEI, S.; LANG, Y.; LI, H.; LIU, Q. Effects of different nitrogen fertilizer types and rates on cotton leaf senescence, yield and soil inorganic nitrogen. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 2020. *In Press*. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1799983>

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. <https://doi.org/10.1038/srep39030>

YANG, Y. C.; ZHANG, M.; ZHENG, L.; CHENG, D. D.; LIU, M.; GENG, Y. Q. Controlled-release urea improved nitrogen use efficiency, yield, and quality of wheat. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 479-485, 2011. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0343>

WANG, R.; JI, S.; ZHANG, P.; MENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; ZHOU, Z. Drought effects on cotton yield and fiber quality on different fruiting branches. **Crop Science**, v. 56, p. 1265-1276, 2016. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0477>

ZHANG, S.; SHEN, T.; YANG, Y.; LI, Y. C.; WAN, Y.; ZHANG, M.; TANG, T.; 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.010>

ZHAO, W.; WANG, R.; HU, W.; ZHAOU, Z. Spatial difference of drought effect on photosynthesis of leaf subtending to cotton boll and its relationship with boll biomass. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 205, p. 263-273, 2019. <https://doi.org/10.1111/jac.12320>

ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M. Cotton Responses to Shade at Different Growth Stages: Growth, Lint Yield and Fiber Quality. **Experimental Agriculture**, v. 36, p. 27-39, 2000. <https://doi.org/10.1017/S0014479700361014>

7 DISTRIBUIÇÃO DE CAPULHOS E PRECOCIDADE DO ALGODOEIRO AFETADOS PELAS PLANTAS DE COBERTURA, DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO

Resumo

O mapeamento da produção do algodoeiro pode auxiliar na adoção de práticas de manejo que favoreçam a retenção precoce de estruturas reprodutivas e contribuam ao aumento da produtividade, sobretudo em lavouras sob diferentes disponibilidades de nitrogênio. O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição dos capulhos, produtividade e precocidade do algodoeiro em função das plantas de cobertura, doses e fontes de nitrogênio. Os tratamentos foram as plantas de cobertura (Pousio, Gramínea solteira, Gramínea+gramínea, Gramínea+ leguminosa e MIX), doses de N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes N (ureia e ureia de liberação controlada). Na safra 2018/2019, sob baixa disponibilidade hídrica, as plantas foram mais precoces, atingido 90% da produtividade antes do 12º nó, com 70 kg ha⁻¹ de N e ureia. Na safra 2019/2020, ano com boa precipitação, registrou-se 90% da produtividade após o 14º nó (todas fontes e sistemas) com 130 kg ha⁻¹ de N. A ULC aumentou a concentração de capulhos somente na parte superior da planta. A aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N aumentou a concentração de capulhos na parte média e superior da planta, principalmente em sistemas com leguminosas e ULC, mas isso não refletiu em maior produtividade. Na safra com maior precipitação e potencial produtivo houve menor acúmulo da produção na parte superior da planta com 70 kg ha⁻¹ de N (ureia) nos sistemas sem leguminosa. A cultura de cobertura antecessora ao algodoeiro, a disponibilidade hídrica e a fonte de N devem ser consideradas no manejo do nitrogênio pois modificam a distribuição da produção do algodoeiro.

Palavras chave: Mapeamento de plantas. Sistemas de produção. Nitrogênio. Ureia de liberação controlada.

Abstract

Cotton plant mapping can assist in the adoption of management practices that favor the early retention of reproductive structures and contribute to increased yield, especially in crops under different nitrogen availability. The objective of the study was to evaluate the distribution of bolls, yield and precocity of cotton according to cover crops, doses and sources of nitrogen. The treatments were cover crops (fallow, single grass, grass + grass, grass + legume and MIX), N doses (70, 100 and 130 kg ha⁻¹) and N sources (urea and controlled-release urea). In the 2018/2019 season, under low water availability, the plants were earlier, reaching 90% of yield before the 12th node, with 70 kg ha⁻¹ of N and urea. In the 2019/2020 season, a year with good rainfall, 90% of yield was recorded after the 14th node (all sources and systems) with 130 kg ha⁻¹ of N. The CRU increased the concentration of bolls only in the upper part of the plant. The application of 130 kg ha⁻¹ of N increased the concentration of bolls in the middle and upper part of the plant, mainly in systems with legumes and CRU, but this did not reflect in greater yield. In the crop with greater precipitation and productive potential, there was less accumulation of production in the upper part of the plant with 70 kg ha⁻¹ of N (urea) in systems without legumes. The cover crop predecessor to cotton, water

availability and the source of N must be considered in the management of nitrogen as they modify the distribution of cotton production.

Keywords: Plant mapping. Production systems. Nitrogen. Controlled-release urea.

7.1 Introdução

O mapeamento de plantas é uma técnica que tem como objetivo principal monitorar o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta, que ajudará na tomada de decisão no uso de reguladores de crescimento, aplicações de fertilizantes, defensivos e o ponto de corte fisiológico. Esses fatores têm relação com a produtividade, qualidade de fibra e custo de produção da cultura (PABUAYON *et al.*, 2020). A distribuição adequada das estruturas reprodutivas da planta contribui às altas produtividades (BOQUET *et al.*, 1994), qualidade de fibra (LV *et al.*, 2013) e precocidade (RAPHAEL *et al.*, 2019).

A maior parte dos estudos sobre mapeamento de plantas de algodão visaram avaliar os efeitos da adubação nitrogenada (BOQUET *et al.*, 1994; RAPAHEL *et al.*, 2019), sombreamento (LV *et al.*, 2013), densidade de plantas (KHAN *et al.*, 2020) e espaçamento entre linhas (ECHER; ROSOLEM, 2015) de forma isolada ou com interação entre fatores. Além disso, esses estudos foram realizados principalmente em ambientes de alto potencial produtivo, com chuvas regulares ou em ambientes irrigados. Estudos que visam avaliar o mapeamento de plantas em ambientes de menor potencial produtivo e risco climático são raros, uma vez que a disponibilidade hídrica tem efeito direto da distribuição da produção (WANG *et al.*, 2016) e precocidade da planta (SCHAEFER *et al.*, 2018).

Plantas de cobertura melhoram a produtividade do algodoeiro (NOURI *et al.*, 2020), principalmente em ambientes com restrição hídrica, uma vez que as plantas de cobertura melhoram a conservação de água no solo (BASCHE *et al.*, 2016), o que pode modificar a distribuição da produção (SCHAEFER *et al.*, 2018). Adicionalmente, as plantas de cobertura alteram a disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente nitrogênio (CHU *et al.*, 2017). Altas doses de N aliado ao uso de leguminosas reduzem a produtividade do algodoeiro (NOURI *et al.*, 2020), pois a alta disponibilidade de N no solo leva ao crescimento vegetativo excessivo da planta, o que favorece o abortamento das estruturas reprodutivas em função do desequilíbrio da relação fonte de dreno (DONG *et al.*, 2012), além de deslocar a produção para posições frutíferas

tardias, o que pode comprometer a produtividade devido a piora das condições ambientais no final do ciclo, como baixas temperaturas, menor disponibilidade hídrica e radiação.

Estudos anteriores reportaram o efeito da adubação nitrogenada sobre a distribuição da produção (BOQUET *et al.*, 1994; RAPHAEL *et al.*, 2019), mas não se sabe se as fontes de N podem afetar a distribuição da produção. A ureia de liberação controlada tem sido estudada em diversas culturas, inclusive em lavouras de algodão, com relatos de melhoria na produtividade e qualidade de fibra (GENG *et al.*, 2016) e menores perdas de N por lixiviação (ZHENG *et al.*, 2016). Sabe-se que a liberação do N dessa fonte é gradual e depende da espessura da camada de enxofre que recobre o grânulo de ureia; da atividade microbiológica do solo e das condições ambientais como umidade e temperatura, podendo haver liberação até o final o ciclo das culturas (ZHENG *et al.*, 2016), o que pode melhorar a nutrição do algodoeiro em solos arenosos, reduzir uma operação agrícola referente ao parcelamento da adubação nitrogenada convencional e aumentar a fixação de estruturas da parte superior do algodoeiro.

Assim, o entendimento das interações que ocorrem entre fontes e doses de N em sistemas de produção com diferentes plantas de cobertura na entressafra sobre a distribuição dos capulhos, produção e precocidade do algodoeiro pode auxiliar o manejo da lavoura de algodão em ambientes de alto risco climático. O objetivo do estudo foi avaliar a distribuição dos capulhos, produtividade e precocidade do algodoeiro em função das plantas de cobertura, doses e fontes de nitrogênio.

7.2 Material e métodos

7.2.1 Caracterização da área do estudo
Capítulo 1, página 35.

7.2.2 Delineamento experimental
Capítulo 1, página 37.

7.2.3 Manejo das plantas de cobertura
Capítulo 1, página 37.

7.2.4 Manejo do algodoeiro

Capítulo 1, página 38.

7.2.5 Avaliações

Aos 148 DAE (90% das maçãs abertas) em cada parcela foi avaliado o stand de plantas, e este foi de 5,4 e 6,9 plantas m⁻² em 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, sem diferença entre os tratamentos. Em seguida foram selecionadas quatro plantas competitivas nas duas linhas centrais de cada parcela as quais foram utilizadas para realização do mapeamento. A contagem foi realizada manualmente, sem retirar os capulhos das plantas (método não destrutivo).

O número de nós reprodutivos e vegetativos foi contado e a posição frutífera de cada capulho (P1, P2 ou P3+) foi indicada em cada nó. Feito isso, os capulhos presentes em dois metros de linha de cada parcela foram colhidos, contados e pesados em balança de precisão (0,1 g) e tiveram o peso médio de capulho determinado. Após isso a amostra foi encaminhada para descaroçamento, para determinação do rendimento de fibra (porcentagem do peso da fibra em relação ao peso da semente).

Em seguida a planta foi estratificada em três partes (inferior, médio e superior). Na safra 2018/2019 o número médio geral de nós foi de 16,9, devido a seca. Nessa safra foi considerado como terço inferior os nós 5-8, terço médio nós 9-12 e terço superior ≥ 13 . Na safra 2019/2020 o número de nós foi de 17,8 devido as melhores condições hídricas. Nessa safra foi considerado terço inferior os nós 5-9, terço médio nós 10-13 nó e terço superior ≥ 14 . Nas duas safras foram consideradas as posições frutíferas de primeira posição (P1), segunda posição (P2) e terceira ou mais posições (P3+). Esses dados foram utilizados para análise da distribuição de capulhos na planta por nó, terço e posição frutífera. A produtividade de fibra acumulada por nó foi calculada considerando o número de capulhos por nó, peso médio de capulhos e rendimento de fibra. Para determinar a precocidade do algodoeiro em cada tratamento foi determinado o nó em que a planta atingiu 90% da produtividade total.

7.2.6 Análises dos dados

A análise estatística foi realizada através da análise de variância, e o teste t (LSD) a 5% probabilidade ($p < 0,05$) foi utilizado para comparar as médias dos tratamentos e os nós do algodoeiro.

7.3 Resultados

7.3.1 Distribuição da produtividade de fibra

O efeito do sistema e da dose de N sobre a distribuição da produção foi maior que o efeito da fonte de N (duas safras) (Tabela 7). Na safra 2018/2019 (menor potencial produtivo) não houve efeito do sistema sobre a produtividade na parte superior da planta, mas na safra 2019/2020 (maior potencial) esse efeito foi observado (Tabela 7). Curiosamente nas duas safras o efeito das fontes foi restrito á parte superior da planta (entrenós 16-18) (Tabela 7). As interações ocorreram somente em alguns nós reprodutivos, e na segunda safra todas as interações significativas foram no 5º nó.

Tabela 7. Análise de variância para distribuição da produtividade por nó reprodutivo do algodoeiro em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses, fontes de nitrogênio e interações.

Nó frutífero	Sistemas (S)	Doses N (DN)	Fontes N (FN)	S x DN	S x FN	DN x FN	S x DN x FN
2018/2019							
RV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N5	***	**	ns	***	ns	*	*
N6	***	**	ns	*	ns	ns	*
N7	**	***	ns	ns	ns	ns	ns
N8	**	***	ns	*	ns	ns	ns
N9	**	ns	ns	*	ns	ns	ns
N10	**	*	ns	ns	ns	ns	ns
N11	***	**	ns	ns	ns	ns	ns
N12	*	*	ns	ns	ns	ns	ns
N13	*	***	ns	ns	*	ns	ns
N14	*	***	ns	**	ns	*	*
N15	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns
N16	ns	**	*	*	**	ns	*
N17	ns	***	**	ns	ns	ns	ns
2019/2020							
RV	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N5	***	**	ns	***	**	*	***
N6	***	***	ns	ns	ns	ns	ns
N7	***	ns	ns	*	ns	ns	ns
N8	***	***	ns	*	ns	ns	ns
N9	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N10	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N11	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N12	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
N13	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns
N14	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns
N15	*	***	ns	ns	ns	ns	ns
N16	*	***	ns	ns	ns	ns	ns
N17	*	**	**	ns	ns	ns	ns
N18	*	***	**	*	ns	ns	ns

***= Significativo a 0,1%. **= Significativo a 1%. *= Significativo a 5%. ns= Não significativo. RV: ramo vegetativo.

O potencial produtivo do algodoeiro foi menor na safra 2018/2019 (produtividade até 1600 kg ha⁻¹) e maior na safra 2019/2020 (produtividade até 2200 kg ha⁻¹). Quando utilizado 70 kg ha⁻¹ de N via ureia a concentração da produção foi menor na parte superior da planta, principalmente na safra 2019/2020 nos sistemas sem leguminosas (Figura 6 b;d;f), e no MIX e GS na safra 2018/2019 (Figura 6i). Em sistemas com gramíneas (solteira ou combinada com outra gramínea) a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N resultou em maior acúmulo de fibra entre o 15º e 19º nó (safra 2019/2020) (Figura 6 d;f).

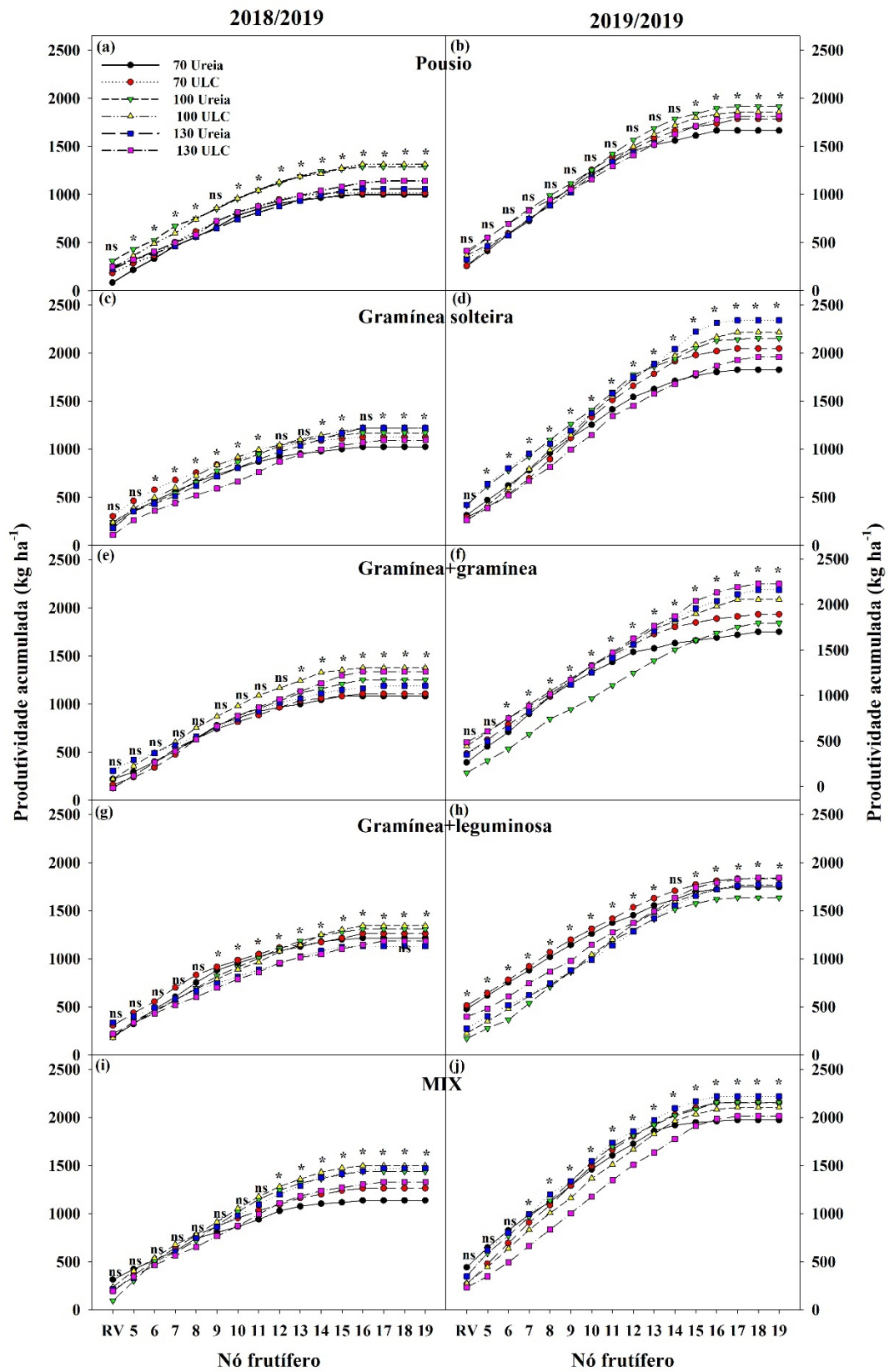


Figura 6. Produtividade de fibra acumulada por nó em diferentes sistemas de rotação de culturas em função das doses (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de nitrogênio (ureia convencional e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. ns: não significativo. *: significativo a 5%.

Em 2018/2019 a produtividade acumulada começou a se diferenciar no MIX a partir do 10º nó, mas acima do 17º nó não houve diferença. Além disso, GS e pousio tiveram menor acúmulo de produção de fibra entre o 14º e 17º nó, indicando que o ponteiro contribuiu menos para a produtividade nestes tratamentos (Figura 7a). Na Safra 2019/2020 a produção acumulada no MIX nos nós do baixeiro foi maior que os demais tratamentos. Além disso, o tratamento com gramínea solteira apresentou produtividade acumulada similar ao MIX somente no 16º nó, indicando que este tratamento depende de posições frutíferas mais tardias para a obtenção de produtividades elevadas. A utilização de duas gramíneas reduziu sensivelmente a produtividade e o pousio ou gramínea+leguminosa apresentam as menores produtividades, que foi acumulada até o 17º nó (Figura 7b).

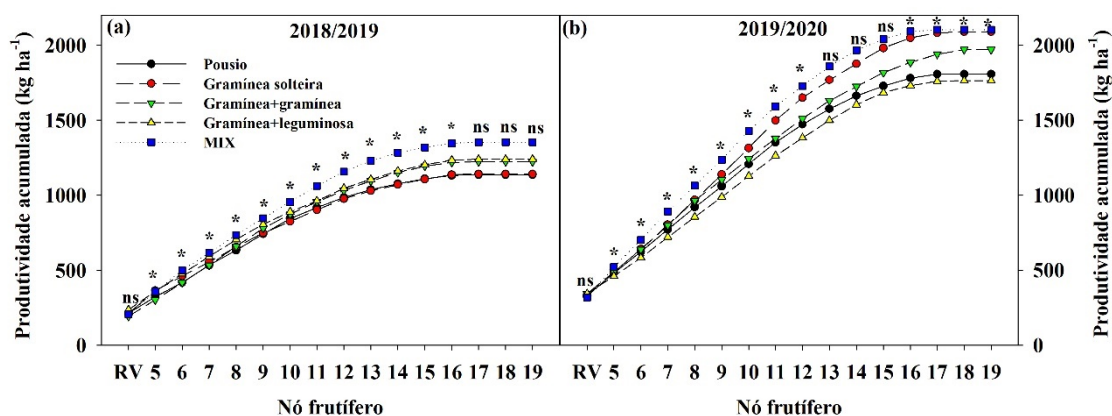


Figura 7. Produtividade de fibra acumulada por nó em diferentes sistemas de rotação de culturas, considerando as médias das doses de fontes de N em cada sistema, nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

7.3.2 Distribuição dos capulhos

Não houve efeito das fontes de N na distribuição dos capulhos por porção do dossel e posição frutífera (Tabela 8). Na parte superior da planta houve efeito das doses de N em todas as posições frutíferas (ambas safras). Em relação aos sistemas foi observado significância para a maioria dos terços e posições frutíferas, exceto na safra 2018/2019 para P1 na parte inferior da planta e P2 na parte superior da planta (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de variância para distribuição do número de capulhos por parte da planta (inferior, médio e superior) e posição frutífera (P1, P2 e P3+) do algodoeiro em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses, fontes de nitrogênio e interações, safras 2018/2019 e 2019/2020.

Porção da planta/posição frutífera	Sistemas (S)	Doses N (DN)	Fontes N (FN)	2018/2019			
				S x DN	S x NS	DN x FN	S x DN x FN
Inferior							
P1	ns	***	ns	ns	ns	*	ns
P2	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
P3+	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Médio							
P1	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P2	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P3+	**	***	ns	ns	ns	ns	ns
Superior							
P1	*	*	ns	*	ns	ns	*
P2	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns
P3+	*	***	ns	ns	ns	ns	ns
2019/2020							
Inferior							
P1	***	***	ns	***	ns	ns	***
P2	*	**	ns	ns	ns	ns	ns
P3+	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Médio							
P1	*	ns	ns	ns	ns	*	ns
P2	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
P3+	***	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Superior							
P1	*	***	ns	ns	ns	ns	ns
P2	**	***	ns	ns	ns	ns	ns
P3+	*	***	ns	ns	ns	ns	ns

***= Significativo a 0,1%. **= Significativo a 1%. *= Significativo a 5%. NS= Não significativo.

Em geral, o número de capulhos (NC) foi menor na safra 2018/2019 (68,3 m²) comparado à safra seguinte (100,5 m²), devido à menor disponibilidade de chuva (Figura 1). O número de capulhos diminuiu na parte inferior da planta com aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N na fonte ULC no pousio e gramínea solteira (Figura 3 a;c). No MIX houve redução do NC na parte inferior da planta com aplicação de 100 kg ha⁻¹ via ULC comparado a ureia comum (Figura 8 i). O incremento das doses de N aumentou o NC no terço médio da planta, exceto no pousio. Nesse estrato do dossel, o efeito das fontes de N foi menor (Figura 8). A dose mais alta de N aumentou o NC na parte superior da planta, indetependente da fonte de N na maioria dos sistemas, exceto no MIX (Figura 8i). Sob baixa dose de N (70 kg ha⁻¹) o número de capulhos de terceira posição foi baixo ou inesistente na parte superior da planta, independente do sistema ou fonte de N (Figura 8).

Na safra 2019/2020 a aplicação de 130 kg ha⁻¹ não reduziu o NC na parte inferior da planta apenas no sistema GS com ULC (Figura 8d). Não houve efeito das doses sobre o NC no terço médio nos sistemas GS e MIX (Figura 8d;j). O aumento da

dose de N elevou o NC na parte superior da planta em todos os sistemas. O uso de ULC na dose 130 kg ha^{-1} de N reduziu o NC na parte superior da planta nos sistemas GS e G+G (Figura 8 d;f), mas aumentou no MIX sob baixa dose de N (70 kg ha^{-1}) (Figura 8j).

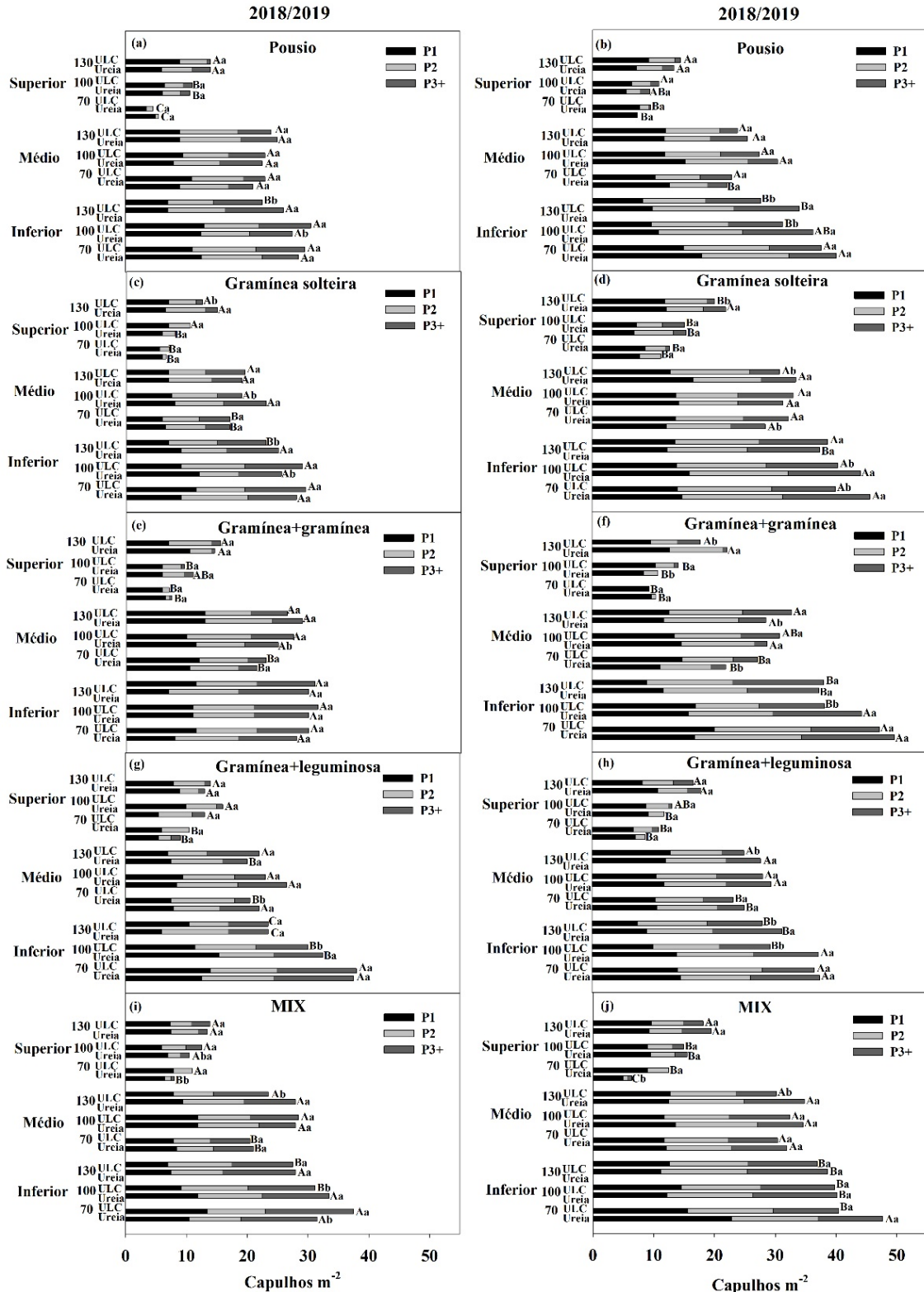


Figura 8. Número de capulhos, por parte da planta (inferior, médio e superior) e posição frutífera (P1, P2 e P3+) do algodoeiro em diferentes sistemas de rotação de culturas em função das doses de nitrogênio (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de nitrogênio (ureia convencional e ureia de liberação controlada - ULC), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Letras maiúsculas comparam as doses de N dentro das fontes e letras minúsculas comparam fontes de N dentro das doses.

Em 2018/2019 os sistemas com gramínea solteira e pousio tiveram menor NC na parte inferior da planta. No terço médio o NC também foi menor no sistema GS e não houve efeito dos tratamentos na parte superior da planta (Figura 9a). Em 2019/2020, o pousio e G+L (parte inferior) e pousio, G+L e G+G (terço médio) tiveram menor NC. O pousio teve o menor NC na parte superior (2019/2020) (Figura 9b).

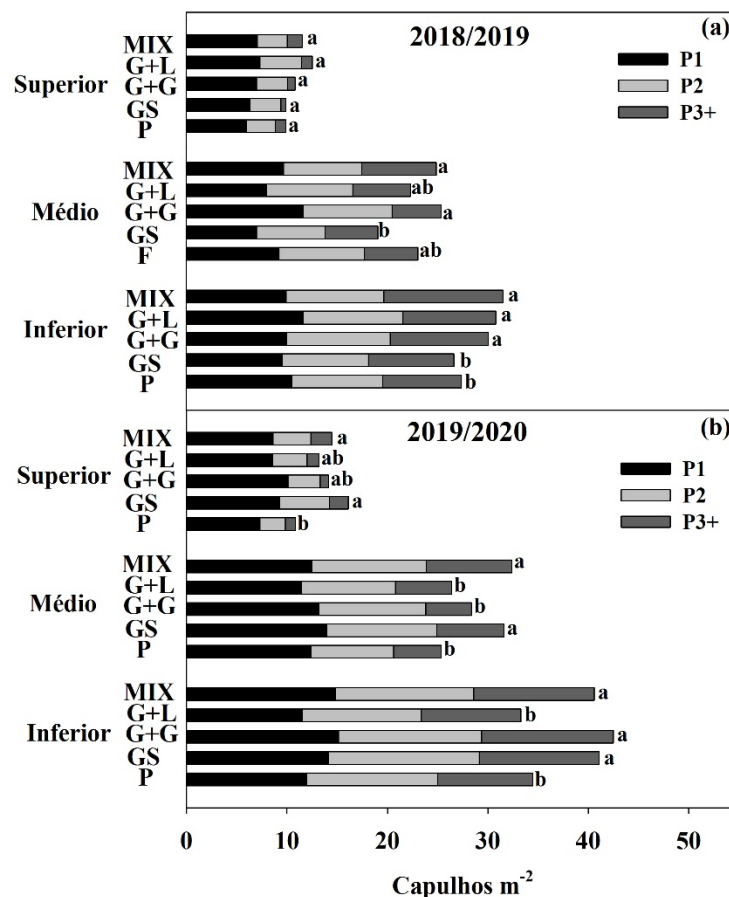


Figura 9. Número de capulhos, por terço da planta (inferior, médio e superior) e posição frutífera (P1, P2 e P3+) do algodoeiro em diferentes sistemas de rotação de culturas, considerando as médias das doses de nitrogênio e fontes de nitrogênio, safra 2018/2019 e 2019/2020.

7.3.3 Precocidade do algodoeiro

Em 2018/2019 a combinação que proporcionou a melhor produtividade associada á precocidade foi o sistema MIX com 100 kg ha⁻¹ de N (duas fontes), em que 90% da produção foi alocada até o nó 12,96 (Tabela 9). Por outro lado, o tratamento mais tardio foi no sistema com G+L com 130 kg ha⁻¹ de N via ULC, com 90% da produtividade total até o nó 14,93. Já na menor dose de N (70 kg ha⁻¹) no pousio e GS (duas fontes) e MIX (ureia) haviam plantas com maior precocidade, chegando a 90% da produtividade total já no 12º nó, porém com produtividade limitada (Tabela 9).

Na safra 2019/2020 a precocidade aliada a melhor produtividade ocorreu sob dose de 100 kg ha⁻¹ de N no MIX (duas fontes) (90% na produtividade no nó 13,91). Com 130 kg ha⁻¹ de N via ULC todos sistemas atingiram 90% da produtividade após o 14º nó (2019/2020) (Tabela 9). Também foram observadas plantas com alta precocidade no MIX com 70 kg ha⁻¹ de N, via ureia (Tabela 9), mas com produtividade menor em relação a 100 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 9. Precocidade do algodoeiro determinada pelo nó frutífero em que a planta atingiu 90% da produtividade total, em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses, fontes de nitrogênio, safras 2018/2019 e 2019/2020. Letras maiúsculas comparam sistemas dentro das doses e fontes de N. Letras minúsculas comparam doses e fontes de N dentro de cada sistema.

Doses/fontes N	Pousio	GS	G+G	G+L	MIX
<i>2018/2019</i>					
70 ureia	11,99 Bb	12,00 Bb	12,92 Ab	12,93 Ab	11,99 Bb
100 ureia	12,96 Bab	12,93 Ba	13,93 Aa	13,99 Ab	12,97 Bb
130 ureia	13,93 Aa	13,99 Aa	13,92 Aa	13,89 Aa	13,94 Aa
70 ULC	11,95 Bb	11,99 Bb	12,94 Ab	12,97 Ab	12,96 Ab
100 ULC	12,99 Bab	12,99 Ba	13,90 Aa	13,96 Aa	13,90 Aa
130 ULC	13,98 Ba	13,01 Ca	13,99 Ba	14,93 Aa	13,22 Ca
<i>2019/2020</i>					
70 ureia	12,97 Bc	13,02 Ac	13,92 Ac	14,13 Ab	12,94 Bc
100 ureia	13,94 Cb	14,90 Bb	15,01 Aa	14,96 Aa	13,91 Cb
130 ureia	14,90 Ba	15,77 Aa	14,99 Bb	14,94 Ba	14,01 Cb
70 ULC	13,94 Bb	14,78 Ab	13,94 Bc	15,03 Aa	13,95 Bb
100 ULC	13,95 Cb	15,79 Aa	14,95 Bb	15,00 Ba	13,91 Cb
130 ULC	14,91 Ba	15,78 Aa	14,98 Bb	15,02 Ba	14,93 Ba

ULC: Ureia de liberação controlada. GS: Gramínea solteira. G+G: Gramínea+gramínea. G+L: Gramínea+leguminosa.

7.4 Discussão

A aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N aumentou a concentração de capulhos na parte superior da planta, principalmente quando associado a sistemas com

leguminosas ou na ausência de plantas de cobertura (pousio) (Figura 8 e Figura 9). Isso ocorre porque há maior disponibilidade de N inorgânico no solo em sistemas com leguminosas e pousio, uma vez que o teor de N inorgânico no solo é menor em sistemas com uso exclusivo de gramíneas (CHU *et al.*, 2017). A maior disponibilidade de N inorgânico no solo favorece o crescimento vegetativo da planta e aumenta o tamanho do dossel (COAST *et al.*, 2020), resultando em auto sombreamento da planta caso não haja controle efetivo com o uso de reguladores de crescimento, e o sombreamento pode levar ao abortamento das estruturas reprodutivas (LV *et al.*, 2013), principalmente na parte inferior da planta (ECHER e ROSOLEM 2015), além da redução do peso das estruturas reprodutivas (LIU *et al.*, 2020).

A menor concentração de capulhos na parte inferior da planta reduz a precocidade da planta (BOQUET *et al.*, 1994; RAPHAEL *et al.*, 2019). Isso foi observado no presente estudo onde a precocidade do algodoeiro foi menor com maiores doses de N, principalmente quando associado a ULC e leguminosas (Tabela 9). Maiores doses de N reduzem a produtividade do algodoeiro, principalmente em sistemas em rotação com leguminosas (NOURI *et al.*, 2020), além de deixarem a lavoura mais tardia devido a alocação da produção no ponteiro (RAPHAEL *et al.*, 2019; ECHER; ROSOLEM, 2015) o que aumenta o custo de produção devido a permanência da cultura por mais tempo no campo.

A maior concentração de capulhos na parte superior da planta na maioria das vezes não resultou em maior produtividade acumulada de fibra, principalmente na safra 2018/2019 (Figura 6), onde houve restrição hídrica durante o florescimento do algodoeiro (Figura 1). Sob maior disponibilidade hídrica a concentração de capulhos na parte média e superior da planta aumenta (PETTIGREW, 2004; SHARMA *et al.*, 2015; SCHAEFER *et al.*, 2018; DUBE *et al.*, 2020). Isso justifica a menor precocidade do algodoeiro na safra 2019/2020 (Tabela 9), onde houve maior volume acumulado de chuva (Figura 1), o que elevou o potencial produtivo (Figura 6). A obtenção de altas produtividades depende da fixação de frutos de maneira equilibrada entre os terços da planta e da retenção de estruturas de segunda e terceiras posições (PETTIGREW, 2004). Em condições de seca a emissão de novos pontos de frutificação é limitada, principalmente na parte superior da planta, gerando uma planta mais precoce, mas com produtividade limitada (WANG *et al.*, 2016), assim como reportado no presente estudo (Tabela 9).

Normalmente os capulhos do terço superior das plantas têm menor peso (NIE *et al.*, 2019), em função da limitação hídrica, menor intensidade luminosa e temperaturas mais baixas no final do ciclo da cultura (Figura 1 e Figura 2), o que explica menores produtividades em condições de abortamento de estruturas da parte inferior e média da planta (ECHER; ROSOLEM, 2015; KHUAN *et al.*, 2020). Dessa forma a implementação de técnicas agronômicas que reduzam o abortamento de estruturas no terço inferior e médio da planta, como o ajuste da dose de N (RAPHAEL *et al.*, 2019), espaçamento entrelinhas (ECHER; ROSOLEM, 2015) e densidade de plantas (KHUAN *et al.*, 2020) são desejáveis. Dependendo das condições climáticas o maior peso de capulhos é no terço médio da planta (NIE *et al.*, 2019). Isso ocorre principalmente quando há auto sombreamento do terço inferior da planta, devido ao crescimento excessivo do dossel (LIU *et al.*, 2020). Esse fato explica o maior potencial produtivo do sistema MIX e GS na safra 2019/2020 (Figura 7b), onde a concentração de capulhos no terço médio foi maior em relação aos demais sistemas (Figura 9b), possivelmente com capulhos mais pesados.

A ULC aumentou a produtividade na parte superior das plantas (acima do nó 16) (Tabela 7), mas não afetou a concentração de capulhos, independente do nó ou posição frutífera (Tabela 8). Adicionalmente, com baixa dose de N (70 kg ha^{-1}) a produtividade acumulada na parte superior da planta foi maior com ULC no GS e MIX em 2018/2019 e em todos sistemas em 2019/2020 (Figura 6). Isso sugere que a ureia de liberação controlada aumentou o peso dos capulhos do ponteiro sob baixa dose de N, principalmente em ano com alta precipitação (2019/2020) uma vez que a concentração de capulhos nessa porção da planta aumentou apenas no G+L e MIX com 70 kg ha^{-1} de N (Figura 8 h;j). Isso ocorre porque há liberação N até o final do ciclo do algodoeiro. Tendo em vista que fertilizantes de liberação controlada continuam liberando N até aos 90 dias após a aplicação (ZHENG *et al.*, 2016), melhorando a nutrição da planta, o que pode representar ganhos em produtividade em lavouras conduzidas em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica e adubadas com pouco N.

Este fato é relevante sobretudo quando há incidência de altos volumes de chuva em solos arenosos, como ocorreu em 2019/2020, onde o potencial de lixiviação do N é alto, o que reduz a disponibilidade de N na camada arável do solo (ZHENG *et al.*, 2016). Além disso, a maior disponibilidade de N no solo é importante quando há necessidade de se compensar a produtividade na parte superior, por causa do

abortamento de estruturas reprodutivas na parte inferior da planta em função estresses abióticos (seca, temperatura ou sombreamento) (TARIQ *et al.*, 2017; GRNDY *et al.*, 2020) ou bióticos como pragas e doenças. Vale ressaltar que isso é possível apenas em situações que as condições climáticas são favoráveis no final do ciclo (disponibilidade hídrica, temperatura e radiação) (GRUNDY *et al.*, 2020), e quando são utilizadas cultivares de ciclo médio e tardio que têm maior capacidade de compensação (SHARMA *et al.*, 2015; XING *et al.*, 2018).

Na primeira safra (2018/2019) o sistema com gramínea solteira teve menor concentração de capulhos no terço inferior e médio da planta (Figura 9a). Isso sugere que gramíneas solteiras nos primeiros anos de implantação dos sistemas limitam o crescimento inicial do algodoeiro, como relatado anteriormente (ECHER *et al.*, 2012), reduzindo a formação e a retenção de estruturas reprodutivas na parte inferior e média da planta (Figura 9a). Isso pode estar relacionado a imobilização temporária de N. Porém o aumento as doses de N não aumentaram a concentração de capulhos no terço inferior e médio da planta, o que pode ser justificado pela ocorrência de um veranico de 21 dias no início do florescimento (entre 44 e 65 DAE) (Figura 1), que limitou a absorção de N. Com o reestabelecimento das chuvas, a maior dose de N (130 kg ha^{-1}) aumentou a fixação de estruturas no ponteiro (efeito de compensação) (Figura 8c). Esse efeito não foi reportado na segunda safra (2019/2020) (Figura 8b), provavelmente em função da melhor disponibilidade de nutrientes, incluindo o N, em razão da regularidade e volume de chuvas.

A concentração de capulhos na parte superior da planta sob pousio foi menor (média doses e fontes de N) que os demais sistemas na safra 2019/2020 (Figura 9b), mas aumentou com o incremento das doses de N e uso da ULC (Figura 8b). Isso sugere que em anos com boa regularidade de chuvas (Figura 1) e maior potencial produtivo (Figura 6), a concentração de capulhos no ponteiro da planta sob pousio é menor, o que contribui para redução da produtividade, uma vez que a fixação de capulhos a partir do 15º nó é limitada (Figura 7b), e isso pode ser atribuído a maior lixiviação de N (ROSOLEM *et al.*, 2018) o que aumenta a demanda fertilizantes nitrogenados nesses sistemas (NOURI *et al.*, 2020), além da menor disponibilidade hídrica no solo em sistemas sem plantas de cobertura (BASCHÉ *et al.*, 2016) pois a seca limita a formação do ponteiro (WANG *et al.*, 2016).

O acúmulo da produção no topo da planta no sistema com G+L e no pousio foi menor em relação aos demais sistemas (Figura 7b), e essa diferença pode ser

atribuída á menor concentração de capulhos no pousio e possivelmente ao menor peso médio do capulho no G+L (Figura 9b). Sistemas com predomínio de leguminosas aumentam a disponibilidade de N (CHU *et al.*, 2017), e o excesso de N na planta desequilibra a relação fonte de dreno (DONG *et al.*, 2012), em favorecimento do desenvolvimento vegetativo, o que reduz o peso de capulhos. Em ambientes de solos arenosos e irregularidade de chuvas tanto a ausência de plantas de cobertura quanto o uso de leguminosa com baixo aporte de matéria seca limita a produtividade do algodoeiro em anos com boa disponibilidade de chuvas, principalmente no terço superior da planta (Figura 7b). Dessa forma recomenda-se o uso de sistemas de gramíneas com alta produção de biomassa associado com leguminosas, menores doses de N (70-100 kg ha⁻¹) e uso de ureia de liberação controlada com objetivo de aumentar o pegamento de estruturas reprodutivas da parte superior da planta e reduzir o abortamento de estruturas reprodutivas na parte inferior e média da planta, construindo assim uma planta de alto potencial produtivo.

7.5 Conclusão

A dose de N associada ao sistema de rotação de culturas são os principais fatores que afetam a distribuição da produção do algodoeiro, e a resposta depende da disponibilidade hídrica do ano agrícola. A utilização da ureia de liberação controlada pode ser uma estratégia para aumentar o pegamento de frutos no topo da planta, mas a resposta depende do sistema de produção adotado. A disponibilidade hídrica, sistemas com predomínio de gramíneas, menor dose de N, favorecem a precocidade do algodoeiro, e em alguns casos limitam a produtividade.

REFERÊNCIAS

- BASCHE, A. D.; KASPAR, T. C.; ARCHONTOULIS, S. V.; JAYNES, D. B.; SAUER, T. J.; PARKIN, T. B.; MIGUEZI, F. E. Soil water improvements with the long-term use of a winter rye cover crop. **Agricultural Water Management**, v. 172, p. 40-50, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.006>
- BOQUET, D. J.; MOSER, E. B.; BREITENBECK, G. A. Boll weight and within-plant yield distribution in field-grown cotton given different levels of nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 8, p. 20-26, 1994. <https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600010005x>

CHU, M.; JAGADAMMA, S.; WALKER, F. R.; EASCH, N. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A. Effect of multispecies cover crop mixture on soil properties and crop yield. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 2, p. 1-5, 2017. <https://doi.org/10.2134/ael2017.09.0030>

COAST, O.; HARDEN, S.; CONATY, W. C.; BRODRICK, R.; EDWARDS, E. J. Canopy temperature of high-nitrogen water-stressed cotton. **Crop Science**, v. 60, p. 1513–1529, 2020. <https://doi.org/10.1002/csc2.20127>

DONG, H.; LI, W.; ENEJI, A. E.; ZHANG, D. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field. **Field Crops Research**, v. 126, p. 137-144, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.10.005>

DUBE, N.; BRYANT, B.; SARI-SARRAF, H.; RITCHIE, G. L. Cotton boll distribution and yield estimation using three-dimensional point cloud data. **Agronomy Journal**, v. 112, p. 4976-4989, 2020. <https://doi.org/10.1002/ajj2.20412>

ECHER, F. R.; CASTRO, G. S. A.; BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial e absorção de nutrientes pelo algodoeiro cultivado sobre a palhada de *Brachiaria ruziziensis*. **Planta daninha**, v. 30, p. 783-790, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000400012>

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**, v. 184, p. 9-16, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.001>

GRUNDY, P. R.; YEATES, S. J.; BELL, K. L. Cotton production during the tropical monsoon season. I–The influence of variable radiation on boll loss, compensation and yield. **Field Crops Research**, v. 254, p. 107790, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107790>

KHAN, N.; HAN, Y.; XING, F.; FENG, L.; WANG, Z.; WANG, G.; YANG, B.; FAN, Z.; LEI, Y.; XINONG, S.; LI, X.; LI, Y. Plant density influences reproductive growth, lint yield and boll spatial distribution of cotton. **Agronomy**, v.10, p. 14, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010014>

LIU, Z. Y.; CHEN, Y.; LI, Y. B.; CHEN, C.; MA, Y. X.; CHEN, D. H.; ZANG, X.; ZHOU, M. Construction of optimum number of fruiting nodes benefit high yield in cotton population. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 113020, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113020>

LV, F.; LIU, J.; MA, Y.; CHEN, J.; KEYOUMU A.; WANG, Y.; ZHOU, Z. Effect of shading on cotton yield and quality on different fruiting branches. **Crop science**, v. 53, p. 2670-2678, 2013. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.03.0170>

NIE, J. J.; YUAN, Y. C.; QIN, D. L.; LIU, Y. H.; WANG, S. L.; LI, J. P.; ZHANG, M. L.; ZHAO, N.; GUO, W. J.; QI, J.; MAO, L. L.; SONG, X. L.; SUN, X. Z. Spatial distribution of bolls affects yield formation in different genotypes of Bt cotton varieties. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, p. 2492-2504, 2019. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62617-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62617-1)

NOURI, A.; LEE, J.; YODER, D. C.; JAGADAMMA, S.; WALKER, F. R.; YIN, X.; ARELLI, P.. Management duration controls the synergistic effect of tillage, cover crop, and nitrogen rate on cotton yield and yield stability. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 301, p.107007, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107007>

PABUAYON, I. L. B.; KELLY, B. R.; MC CALLISTER, D. M.; COLDREN, C. L.; RITCHIE, G. L. Cotton Boll Distribution: A Review. **Agronomy Journal**. <https://doi.org/10.1002/agj2.20516>.

PETTIGREW, W. T. Moisture deficit effects on cotton lint yield, yield components, and boll distribution. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 377-383, 2004. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.3770>

RAPHAEL, J. P.; ECHER, F. R.; ROSOLEM, C. A. Shading and nitrogen effects on cotton earliness assessed by boll yield distribution. **Crop Science**, v. 59, p. 697-707, 2019. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.05.0343>

SCHAEFER, C. R.; RITCHIE, G. L.; BORDOVSKY, J. P.; LEWIS, K.; KELLY, B. Irrigation timing and rate affect cotton boll distribution and fiber quality. **Agronomy Journal**, v. 110, p. 922-931, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0360>

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, p.1845-1853, 2015. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0024>

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, p. 251-262, 2017.

XING, F.; HAN, Y.; FENG, L.; ZHI, X.; WANG, G.; YANG, B.; FAN, Z.; LEI, Y.; DU, W.; WANG, Z.; XIONG, S.; LI, X.; LI, Y. Genotypic variation in spatiotemporal distribution of canopy light interception in relation to yield formation in cotton. **Journal of Cotton Research**, v. 3, p. 3-15, 2018. <https://doi.org/10.1186/s42397-018-0012-z>

ZHENG, W.; ZHANG, M.; LIU, Z.; ZHAOU, H.; LU, H.; ZHANG, W.; YANG, Y.; LI, C.; CHEN, B. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. **Field Crops Research**, v. 197, p. 52-62, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.004>

8 ESTOQUE E LIXIVIAÇÃO DE NITROGÊNIO NO SOLO AFETADOS PELAS PLANTAS DE COBERTURA, DOSES E FONTES DE NITROGÊNIO EM UM SOLO ARENOSO CULTIVADO COM ALGODÃO

Resumo

A capacidade dos solos arenosos estocarem nitrogênio é baixa, o que aumenta as perdas por lixiviação, reduz a eficiência da adubação mineral, aumenta o custo de produção e o risco de contaminação do lençol freático. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos das plantas de cobertura, doses e fontes de nitrogênio sobre a dinâmica do nitrogênio em um solo arenoso cultivado com algodão. O estudo foi conduzido a campo nas safras 2018/19 e 2019/20 em Presidente Bernardes, Brasil no delineamento em blocos ao acaso em esquema de parcelas sub-sub-divididas. Nas parcelas foram alocados os sistemas de rotação (Pousio, Gramínea solteira, Gramínea+gramínea, Gramínea+ leguminosa e MIX); na sub-parcela as doses de N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e na sub-sub-parcela as fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada). Em média sistemas com plantas de cobertura aumentam o estoque de N total no solo em 17% em relação ao pousio, mas o N inorgânico aumentou apenas em sistemas com leguminosas. Os teores de amônio foram 83% maiores no MIX comparado ao pousio. Sistemas com uso exclusivo de gramíneas reduziram a porcentagem de N inorgânico em relação ao N total do solo. A ULC aumentou em 30% o N inorgânico após a colheita do algodoeiro em relação a ureia. A lixiviação do nitrato é maior em ano com maior precipitação. A lixiviação de N em solo arenoso e clima tropical pode ser reduzida com uso combinado de plantas de cobertura com alta produção de biomassa, menores doses de N e utilização de uma fonte de liberação controlada de N.

Palavras chave: Rotação de culturas. Fontes de N. Amônio. Nitrato. Perdas do N.

Abstract

Sandy soil has a low capacity to stock nitrogen, resulting leaching, high production costs, groundwater contamination risks, and reduced efficiency of mineral fertilizers. The objective of this study was to evaluate the effects of cover crops, nitrogen sources, and nitrogen doses on the dynamics of nitrogen in sandy soil cultivated with cotton. The study was conducted in Presidente Bernardes, Brazil, during the 2018/2019 and 2019/2020 crop seasons. The fields had a randomized block design in a subdivided plot scheme. Several rotation systems were used in the plots: fallow, a single grass species, two grass species, one grass species with legumes, and a mixture of three cover crops. In the subplots, doses of 70, 100, and 130 kg ha⁻¹ of nitrogen were used. Sub-subplots were divided by nitrogen source: conventional urea and controlled-release urea. Systems with the cover crops (average) had 17% more total nitrogen stock in the soil than fallow systems. Inorganic nitrogen increased only in systems with legumes. The system with cover crop mixtures had 83% more ammonium than fallow systems. Systems with one grass species had low percentages of inorganic nitrogen in relation to total nitrogen in the soil. In soil samples from after cotton collection, areas of controlled-release urea application had 30% more inorganic nitrogen than the areas with conventional urea. We also observed more nitrate leaching in periods with high

precipitation. Our findings show that the combined use of cover crops with high biomass production and low doses of controlled-release nitrogen can reduce nitrate leaching in tropical areas with sandy soil.

Keywords: Crop rotation. Nitrogen sources. Ammonium. Nitrate. Nitrogen loss.

8.1 Introdução

A dinâmica do nitrogênio (N) em solos tropicais é complexa e normalmente as perdas por volatilização (MINATO *et al.*, 2020) e lixiviação (ROSOLEM *et al.*, 2018) são altas. As perdas por lixiviação e escoamento do nitrato chegam a 95 Tg ano⁻¹, desnitrificação em 25 Tg ano⁻¹ (BILLEN *et al.*, 2013) e volatilização de amônia em 37 Tg ano⁻¹ (SUTTON *et al.*, 2013). Em solos arenosos os riscos de perdas por lixiviação são maiores devido á baixa CTC e teor de matéria orgânica do solo, o que reduz a capacidade do solo em estocar N, o que aumenta o consumo de fertilizantes mineral, principalmente em culturas não leguminosas (SHAREEF *et al.*, 2019). Nesse sentido em ambientes de solos arenosos e clima tropical novas técnicas são necessárias para melhorar a eficiência de uso do N.

Utilizar plantas de cobertura é uma das principais técnicas para melhorar a eficiência do N, e sua utilização tem demonstrado benefícios aos sistemas agrícolas (ROSOLEM *et al.*, 2018; MOMESSO *et al.*, 2019; ROCHA *et al.*, 2019; ROCHA *et al.*, 2020; GALDOS *et al.*, 2020). Mas em alguns casos pode haver redução de produtividade quando se usa apenas gramíneas de alta relação C:N devido a imobilização de N pelos microrganismos para decomposição dos resíduos culturais, o que reduz momentaneamente a disponibilidade de N à cultura subsequente (ROCHA *et al.*, 2019; MOMESSO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020). Isso é um problema principalmente em solos arenosos em função do menor estoque de N, devido ao baixo teor de matéria orgânica (CORDEIRO; ECHER, 2019; SILVA *et al.*, 2020). Dessa forma, a implementação de plantas de cobertura nesses solos deve considerar qual cultura será cultivada posteriormente, pois culturas que não realizam fixação biológica de N, como o algodoeiro, dependem do fornecimento via fertilizantes e da reserva de N do solo. CHU *et al.* (2017) e SILVA *et al.* (2020) reportaram maior estoque de N no solo e produtividade da soja e do milho em sistemas com gramíneas e leguminosas em relação ao predomínio de gramíneas. Apesar disso, estes estudos não avaliaram as perdas de N no sistema e nem se a proporção de amônio e nitrato são afetados pelas plantas de cobertura.

As leguminosas têm capacidade de elevar os teores de N no solo via fixação biológica de nitrogênio (FBN) (CORDEIRO; ECHER, 2019), o que pode aumentar a absorção de N e a produtividade da cultura sucessora e reduzir a necessidade de fertilização mineral (SILVA *et al.*, 2006). Entretanto, as perdas de N por lixiviação são maiores com as leguminosas em relação a sistemas com gramíneas devido a menor relação C:N das leguminosas, que acelera a liberação do N, menor volume radicular e maior aporte de N no solo (ROSOLEM *et al.*, 2017). As gramíneas tem maior capacidade de proteção do solo devido a maior relação C:N e de ciclagem de nutrientes, principalmente de nitrato devido ao maior desenvolvimento radicular (ROSOLEM *et al.*, 2017), além de inibir a nitrificação de N no solo (SUBBARAO *et al.*, 2007; SUBBARAO *et al.*, 2009). Assim o consórcio entre gramíneas e leguminosas na entressafra pode melhorar a ciclagem de nutrientes, aumentar o estoque de N no solo e reduzir as perdas por lixiviação e nitrificação. Porém, sistemas que utilizem plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas combinadas ainda são pouco difundidos em ambientes de clima tropical.

Nesses sistemas, o ajuste das doses de N também é necessário, principalmente em lavouras de algodão onde a demanda por fertilizante mineral é alta e o cultivo ocorre sob regime de sequeiro, ou seja, dependendo do volume de chuva, as perdas de N podem ser intensificadas. A perda de N por lixiviação é pouco significativa com aplicação de até 100 kg ha⁻¹ de N, mas com altas doses (300 kg ha⁻¹) as perdas chegam a 10% (WANG *et al.*, 2019). Isso é um problema não apenas no Brasil onde as aplicações de N no algodoeiro variam entre 100 e 200 kg ha⁻¹ (ECHER *et al.*, 2020), mas também em países como China e Austrália onde a adubação nitrogenada nessa cultura chega a 300 kg ha⁻¹ (TIAN *et al.*, 2018; RPCHESTER e CONSTABLE, 2020) e nos E.U.A a 200 kg ha⁻¹ (BRONSON *et al.*, 2019).

Uma estratégia para reduzir a dose de N aplicado é o uso de fertilizantes de liberação controlada (ULC) (YANG *et al.*, 2020), mas apesar da maior eficiência da ureia de liberação controlada, a adoção dessa tecnologia pelos produtores ainda é baixa, principalmente no Brasil. Trabalhos recentes indicaram que o uso de ULC resultou em aumento de produtividade do algodão em até 9% (GENG *et al.*, 2016), reduziu perdas por volatilização em até 36% (MINATO *et al.*, 2020), além de reduzir a lixiviação de N inorgânico e a dose de N necessária em até 50% (ZHANG *et al.*, 2018). Apesar disso ainda não se sabe se a eficiência da ULC é dependente do sistema de produção e quais são os benefícios da associação de plantas de cobertura e ULC

sobre o estoque de N no solo e as perdas por lixiviação em ambiente tropical com solo arenoso. O objetivo do estudo foi avaliar os efeitos interativos das plantas de cobertura, doses e fontes de nitrogênio sobre o estoque e lixiviação de nitrogênio em um solo arenoso cultivado com algodão.

8.2 Material e métodos

8.2.1 Caracterização da área do estudo

Capítulo 1, página 35.

8.2.2 Delineamento experimental

Capítulo 1, página 37.

8.2.3 Manejo das plantas de cobertura

Capítulo 1, página 37.

8.2.4 Manejo do algodoeiro

8.2.5 Avaliações das plantas de cobertura

Capítulo 1, página 38.

8.2.6 Avaliações do N total e inorgânico do solo

O solo na camada de 0-20 cm foi amostrado dez dias após a dessecação das plantas de cobertura e em pleno florescimento do algodoeiro. Após a colheita do algodoeiro foi coletado solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Todas as coletas foram realizadas com quatro sub-amostras em cada unidade experimental. Logo após a coleta, as amostras foram acondicionadas em uma caixa térmica com gelo. As amostras foram armazenadas em freezer até o momento das análises.

Antes das avaliações, as amostras que seriam processadas no dia foram descongeladas 30 minutos antes da pesagem. Para avaliação do N inorgânico do solo (nitrato e amônio) foram pesadas 5 g de solo em balança de precisão 0,01 g, e em seguida foi adicionado 50 ml da solução de cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e agitado por

uma hora (agitador orbital). Após a filtragem uma alíquota de 25 ml foi separada para destilação. A primeira destilação foi realizada com óxido de magnésio (0,2 g) com objetivo de extrair o amônio, a segunda destilação foi realizada com liga de devarda (0,2 g) com objetivo de extrair o nitrato. A titulação foi realizada com ácido sulfúrico e os teores de nitrato e amônio foram expressos em mg kg^{-1} (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001).

Para avaliação do N total foi utilizado o método de Kjeldahl. Pesou-se 1 g de solo e acrescentou-se 1 mg de permanganato de potássio em tubos de digestão, que foram agitados por 30 segundos. Posteriormente adicionou-se 2 ml de ácido sulfúrico (1:1) e 500 mg de ferro reduzido e os tubos foram levados ao bloco digestor de 40 minutos a 50 °C. Após isso, os tubos foram retirados do bloco e adicionou-se 3 ml de ácido sulfúrico concentrado e 1 grama da mistura digestora e foram agitados novamente por 30 segundos. Os tubos foram levados ao bloco digestor novamente onde ficaram por quatro horas a uma temperatura de 360 °C. No dia seguinte após as amostras esfriarem foi adicionado 50 ml de água destilada e agitado. Uma alíquota de 20 ml foi separada para destilação com hidróxido de sódio. A titulação foi realizada com ácido sulfúrico e os teores de N total foram expressos em mg kg^{-1} (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001).

O estoque de N total e inorgânico (nitrato e amônio) do solo foi calculado considerando o teor de N (mg kg^{-1} de solo) e a densidade do solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. A densidade do solo foi determinada por meio da coleta de cinco amostras de solo em cada sistema, de forma aleatória, utilizando anéis de aço de 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura. Em seguida, foi calculada a densidade média, que foi de 1,71; 1,65; 1,70; 1,70 e 1,69 g dm^{-3} no pousio, GS, G+G, G+L e MIX, respectivamente. O estoque de N no solo foi expresso em kg ha^{-1} .

8.2.7 Análises dos dados

A análise estatística foi realizada através da análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

8.3 Resultados

8.3.1 Efeitos das plantas de cobertura sobre o teor de N no solo antes da semeadura do algodoeiro

O estoque de N total no pousio foi 17% menor em relação aos sistemas com planta de cobertura (média dos sistemas nas duas safras) (Tabela 10). Sistemas com leguminosas tiveram maior estoque de N inorgânico e amônio no solo (Tabela 10). Apesar do maior estoque de N inorgânico, o MIX teve menor estoque de nitrato no solo, sendo o sistema com maior relação amônio/nitrato (dois anos). No segundo ano o mesmo foi observado para o tratamento com G+L (0-20 cm) (Tabela 10). Sistemas com gramíneas (solteira ou combinada com outra gramínea) tiveram menor porcentagem de N inorgânico em relação ao N total do solo (Tabela 10).

Tabela 10. Estoque de nitrogênio total, inorgânico, amônio e nitrato no solo (0-20 cm), relação entre amônio/nitrato e porcentagem de N inorgânico em relação ao N total do solo, em pré-semeadura do algodoeiro, em diferentes sistemas de rotação de culturas, safras 2018/2019 e 2019/2020.

Sistemas	N total	N inorgânico	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻	Inorgânico/Total
	kg ha ⁻¹				relação	%
2018/2019						
Pousio	591 c	32,9 b	12,2 d	20,8 b	0,59 d	5,6 ab
Gramínea solteira	662 ab	32,2 b	16,5 b	16,6 b	1,08 b	4,8 c
Gramínea+gramínea	687 a	30,8 b	16,5 c	14,3 b	0,86 bc	4,5 c
Gramínea+leguminosa	626 b	38,2 a	16,3 b	21,9 a	0,74 cd	6,1 a
MIX	661 ab	33,5 b	22,4 a	11,1 c	2,03 a	5,2 b
CV%	5,5	7,5	8,4	12,4	15,7	8,8
2019/2020						
Pousio	592 b	27,3 c	12,9 b	14,3 ab	0,95 b	4,64 a
Gramínea solteira	757 a	30,2 b	14,6 b	15,6 a	0,95 b	3,98 b
Gramínea+gramínea	736 a	28,1 bc	13,0 b	15,1 ab	0,95 b	3,82 b
Gramínea+leguminosa	701 a	31,9 a	21,4 a	10,6 bc	2,11 a	4,60 a
MIX	720 a	32,1 a	20,3 a	11,8 c	1,76 a	4,56 a
CV%	6,8	6,8	12,6	18,8	24,8	10,7

8.3.2 Efeitos das doses e fontes de nitrogênio em diferentes sistemas sobre o estoque de nitrogênio no solo em pleno florescimento do algodão

O incremento das doses de nitrogênio (70-130 kg ha⁻¹) aumentou o N total no pousio em 12% e 21% em 2018/2019 e 2019/2020 na fonte ureia, respectivamente e 35% na fonte ureia de liberação controlada em 2018/2019 na coleta feita no pleno florescimento do algodoeiro (Tabela 11). A ULC aumentou o estoque de N total no solo no sistema GS e MIX em 2018/2019, aumento médio de 11% (todas doses de N) e em todos os sistemas em 2019/2020 (média de 8%) (Tabela 11). No primeiro ano, o estoque de N inorgânico no solo foi menor com a ULC em relação a ureia, exceto

no MIX (média das doses de N). No segundo ano, esse efeito foi restrito a alta dose de N (130 kg ha⁻¹) e apenas em sistemas sem leguminosa (pousio, GS e G+G) (Tabela 11).

Tabela 11. Estoque de N total e inorgânico do solo (0-20 cm) em pleno florescimento do algodoeiro em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

N kg ha ⁻¹	N total		N inorgânico		N total		N inorgânico	
	kg ha ⁻¹							
	2018/2019				2019/2020			
	Pousio							
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	587 Ab	536 Bb	28 Ab	26 Bb	661 Bb	756 Ab	28 Ac	31Ab
100	638 Aa	591 Aa	33 Aab	30 Bb	718 Bb	809 Aa	39 Ab	39 Aab
130	660 Aa	623 Aa	35 Aa	32 Ba	802 Ba	825 Aa	49 Aa	44 Ba
CV (%)	5,2		8,2		7,3		15,2	
	Gramínea solteira							
70	555 Ba	641 Aa	28 Ac	26 Ba	771 Ba	855 Aa	44 Ab	42 Ab
100	560 Ba	640 Aa	35 Ab	27 Ba	767 Ba	839 Aa	47 Aab	44 Ab
130	564 Ba	660 Aa	49 Aa	29 Ba	790 Ba	846 Aa	54 Aa	50 Ba
CV (%)	5,5		9,4		8,3		11,6	
	Gramínea+gramínea							
70	655 Ba	701 Aa	27 Ab	21 Bc	793 Ba	819 Aa	44 Ab	41 Ab
100	694 Aa	708 Aa	34 Aa	29 Bb	778 Ba	829 Aa	46 Ab	46 Aa
130	690 Aa	725 Aa	41 Aa	37 Ba	711 Ba	861 Aa	50 Aa	48 Ba
CV (%)	5,5		6,5		5,5		12,5	
	Gramínea+leguminosa							
70	669 Aa	628 Aa	31 Ab	23 Bb	695 Ba	726 Aa	47 Ab	42 Ab
100	701 Aa	666 Aa	32 Ab	32 Ba	691 Ba	744 Aa	52 Aab	48 Aab
130	707 Aa	682 Aa	43 Aa	39 Ba	732 Ba	760 Aa	55 Aa	53 Aa
CV (%)	3,9		7,6		11,4		12,3	
	MIX							
70	663 Ba	733 Aa	36 Ab	32 Ab	783 Ba	835 Aa	45 Ab	43 Ab
100	693 Ba	729 Aa	35 Ab	31 Ab	801 Ba	853 Aa	46 Ab	49 Aa
130	702 Ba	730 Aa	42 Aa	40 Aa	818 Ba	877 Aa	55 Aa	53 Aa
CV (%)	2,9		7,2		8,8		16,1	

O aumento da adubação nitrogenada elevou o estoque de nitrato no solo, independente da fonte de N, sistema ou safra (Tabela 12). Por outro lado, o estoque de amônio no solo aumentou no pousio e G+L (ULC), GS (ureia), G+G e MIX (duas fontes) em 2018/2019 e apenas no pousio (duas fontes) em 2019/2020 (Tabela 12). De modo geral, na primeira safra (2018/2019) a disponibilidade de nitrato e amônio foi menor com ULC em relação a ureia. Isso foi evidenciado no MIX onde o estoque de amônio foi 14% menor com ULC em relação a ureia (média das doses). A menor

disponibilidade de amônio com ULC também foi observada nos sistemas com G+G e G+L (70 kg ha⁻¹ de N) e G+G (130 kg ha⁻¹ de N). Ainda na safra 2018/2019, o estoque de nitrato foi 26% menor com ULC no pousio em relação a ureia (média doses de N) (Tabela 12).

Tabela 12. Estoque de amônio e nitrato do solo (0-20 cm) em pleno florescimento do algodoeiro, em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio, safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

N kg ha ⁻¹	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	
	2018/2019				2019/2020			
	Pousio							
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	12 Aa	12 Ab	16 Ab	14 Bb	13 Ac	13 Ab	16 Ab	18 Aab
100	13 Aa	15 Aa	20Aa	15 Bb	18 Ab	16 Ab	22 Aa	21 Aab
130	14 Aa	15 Aa	21 Aa	16 Ba	21 Aa	21 Aa	27 Aa	22 Aa
CV (%)	13,2		10,2		17,2		19,8	
	Gramínea solteira							
70	12 Ac	11 Aa	16 Ac	16 Ab	23Aa	23 Aa	21 Ab	20 Ab
100	17 Aa	13 Ba	18 Ab	14 Bb	27 Aa	22 Aa	21 Ab	22 Ab
130	24 Aa	12 Ba	26 Aa	17 Ba	28 Aa	25 Aa	26 Aa	25 Aa
CV (%)	13,4		9,7		17,2		11,7	
	Gramínea+gramínea							
70	12 Ab	9 Bc	15 Ac	12 Bb	23 Aa	22 Aa	21 Ab	20 Ab
100	12 Ab	12 Ab	22 Aa	17 Aa	22 Aa	23 Aa	24 Aa	23 Aa
130	16 Aa	19 Aa	24 Aa	19 Aa	24 Aa	24 Aa	26 Aa	23 Aa
CV (%)	12,8		7,4		15,1		22,8	
	Gramínea+leguminosa							
70	15 Aa	11 Bc	17 Ab	12 Bb	27 Aa	24 Aa	21 Ab	18 Ab
100	16 Aa	18 Ab	16 Ab	14 Aa	27 Aa	26 Aa	25 Aab	22 Aa
130	16 Ba	20 Aa	27 Aa	19 Ba	27 Aa	29 Aa	28 Aa	24 Aa
CV (%)	10,9		9,1		14,2		17,5	
	MIX							
70	20 Ab	18 Bb	16 Ab	14 Ab	28 Aa	24 Aa	17 Ab	17 Ab
100	20 Ab	17 Bb	16 Ab	14 Ab	27 Aa	26 Aa	19 Ab	23 Aa
130	23 Aa	20 Ba	20 Aa	19 Aa	28 Aa	30 Aa	27 Aa	23 Aa
CV (%)	8,5		10,2		18,7		15,7	

8.3.3 Efeitos das doses e fontes de nitrogênio em diferentes sistemas sobre o estoque de nitrogênio no solo após a colheita do algodão

A ULC aumentou o estoque de amônio no solo em 22% (14,3 kg ha⁻¹) na camada de 0-60 cm de profundidade após a colheita na safra 2018/2019 (média sistemas GS, G+G e G+L e doses de N). Na segunda safra (2019/2020) o estoque de amônio foi 13% (9,8 kg ha⁻¹) maior com ULC em relação a ureia (média dos sistemas e doses de N) (Tabela 13). Na primeira safra (2018/2019) o estoque de nitrato

aumentou 14% ou 11,9 kg ha⁻¹ no MIX com o uso de ULC em relação a ureia. Na safra 2019/2020 o aumento do estoque de nitrato foi, na média dos sistemas, de 17% ou 14,2 kg ha⁻¹ na ULC comparado á ureia comum (Tabela 13). A ULC aumentou em 30% o estoque de N inorgânico (nitrato+amônio) no solo após a colheita do algodão na camada de 0-60 cm, considerando a média das doses, sistemas e safras (Tabela 13).

Como esperado, o incremento das doses de N (70-130 kg ha⁻¹) aumentou o estoque de amônio e nitrato do solo em todos sistemas, fontes de N e safras (Tabela 13). Com aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N via ULC o estoque de nitrato foi superior a 120 kg ha⁻¹ nos sistemas com pousio, GS e G+L em 2018/2019. Estoques de amônio maiores que 80 kg ha⁻¹ foram observados nos sistemas com G+G e MIX em 2018/2019 e em todos sistemas em 2019/2020, resultado da aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N via ULC (Tabela 13).

Tabela 13. Estoque de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) do solo (0-60 cm) após a colheita do algodoeiro, em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

N kg ha ⁻¹	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻		NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	
	2018/2019				2019/2020			
	Pousio							
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	49 Ab	53 Ab	99 Ab	98 Ac	62 Bc	75 Ab	77 Bb	99 Ab
100	56 Aa	57 Ab	106 Ab	109 Ab	71 Bb	80 Aab	90 Ba	111 Aa
130	58 Aa	64 Aa	117 Aa	120 Aa	80 Ba	85 Aa	99 Ba	119 Aa
CV (%)	8,1		7,3		6,5		7,2	
	Gramínea solteira							
70	54 Bb	70 Ab	92 Ab	87 Ab	60 Bb	68 Ac	79 Bb	92 Ab
100	57 Bb	75 Aab	107 Aa	113 Aa	63 Bb	75 Ab	89 Ba	100 Aab
130	66 Ba	79 Aa	114 Aa	121 Aa	71 Ba	83 Aa	95 Ba	106 Aa
CV (%)	6,7		7,6		6,7		7,7	
	Gramínea+gramínea							
70	60 Bb	67 Ac	79 Ac	81 Ac	62 Bb	68 Ac	81 Bb	89 Ac
100	66 Bb	80 Ab	91 Ab	96 Ab	69 Ba	76Ab	85 Bab	98 Ab
130	73 Ba	92 Aa	100 Aa	109 Aa	72 Ba	86 Aa	93 Ba	108 Aa
CV (%)	6,9		6,1		5,2		6,5	
	Gramínea+leguminosa							
70	56 Bb	65 Ab	86 Ac	99 Ac	71 Bb	76 Ab	84 Bb	93 Ac
100	61 Bab	75 Aa	104 Ab	111 Ab	75 Bb	77 Ab	90 Bab	102 Ab
130	67 Ba	80 Aa	115 Aa	126 Aa	85 Aa	90 Aa	93 Ba	115 Aa
CV (%)	6,6		5,3		8,2		5,3	
	MIX							
70	67 Ab	68 Ac	85 Bb	96 Ac	63 Bc	72 Ab	83 Bb	95 Ac
100	72 Aab	75 Ab	88 Bb	103 Ab	68 Bb	74 Ab	87 Bab	102 Ab
130	78 Aa	83 Aa	98 Ba	109 Aa	76 Ba	89 Aa	92 Ba	109 Aa
CV (%)	6,1		3,4		5,0		4,4	

8.3.4 Teor de nitrato e amônio no perfil do solo após a colheita do algodão

Houve efeito dos sistemas, doses e fontes de N para o teor de amônio e nitrato nas camadas do perfil do solo amostradas nas duas safras avaliadas (Tabela 14). Também foram observados efeitos interativos, principalmente entre sistema e fonte de N para o teor de amônio e nitrato em todas profundidades em 2018/2019 e 0-10 e 10-20 cm na safra 2019/2020 (Tabela 14).

Tabela 14. Resumo da análise de variância para o teor de amônio e nitrato do solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses, fontes de nitrogênio e interações.

Fonte de variação Profundidade	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	
	2018/2019		2019/2020	
0-10 cm				
Sistemas (S)	***	***	***	***
Doses de N (DN)	***	***	***	**
Fonte de N (FN)	***	***	***	***
S x DN	*	NS	NS	NS
S x FN	***	***	*	*
DN x FN	*	NS	NS	**
S x DN x FN	NS	NS	NS	NS
CV%	10,3	11,9	9,1	11,2
10-20 cm				
Sistemas (S)	***	**	*	*
Doses de N (DN)	***	***	**	***
Fonte de N (FN)	***	***	***	***
S x DN	NS	*	*	***
S x FN	***	***	*	***
DN x FN	NS	NS	NS	NS
S x DN x FN	NS	NS	NS	NS
CV%	11,2	12,5	12,7	12,5
20-40 cm				
Sistemas (S)	***	***	***	***
Doses de N (DN)	***	***	***	***
Fonte de N (FN)	*	*	*	***
S x DN	NS	***	NS	***
S x FN	*	***	NS	NS
DN x FN	NS	NS	NS	NS
S x DN x FN	NS	NS	NS	NS
CV%	16,6	13,2	19,6	11,9
40-60 cm				
Sistemas (S)	***	***	***	***
Doses de N (DN)	***	***	***	***
Fonte de N (FN)	***	***	***	***
S x DN	NS	*	*	***
S x FN	**	***	NS	NS
DN x FN	NS	NS	NS	NS
S x DN x FN	NS	NS	NS	NS
CV%	18,4	11,0	16,9	11,2

***= Significativo a 0,1%. **= Significativo a 1%. *= Significativo a 5%. NS= Não significativo.

A eficiência da ULC em evitar lixiviação de amônio e nitrato no perfil do solo foi maior em sistemas com plantas de cobertura e menores doses de N (70 e 100 kg ha⁻¹) nas duas safras (Figura 10 e 11). A lixiviação do nitrato foi maior em relação ao

amônio (Figura 10 e 11), e isso é evidenciado principalmente na safra 2019/2020, onde os teores de amônio são maiores na camada de 0-10 cm, independente do tratamento (Figura 11 a;c;e;g;i). Porém os teores de nitrato foram maiores na camada de 0-10 cm apenas com ULC e com plantas de cobertura de alto aporte de biomassa (GS, G+G e MIX) em 2019/2020 (Figura 11d;f;j).

No pousio a ULC apresentou maior teor de nitrato nas camadas superficiais do solo (0-10 e 10-20 cm), o qual manteve-se constante nas camadas mais profundas (>40 cm) na safra com maior precipitação (2019/2020). Para a ureia comum houve aumento do teor de nitrato, caracterizando a lixiviação, com o aumento da profundidade nas três doses de N (Figura 11b). A lixiviação foi maior com ureia e alta dose de N (130 kg ha^{-1}), cerca de 273% maior na camada de 40-60 cm em relação a camada de 0-10 cm; já com ULC a diferença foi de 37% (considerando a mesma dose de N) (Figura 11b).

De modo geral a lixiviação de nitrato foi maior na safra de 2019/2020, ano que choveu 944 mm ou 47% a mais que a safra anterior. Além disso, os teores de amônio foram maiores na camada de 0-10 cm (independente da dose e fonte de N ou sistema) (Figura 11). É importante destacar que a aplicação de 70 kg ha^{-1} de N via ULC resultou em maior teor de N na camada superficial do solo (0-10 cm) comparado a ureia na dose de 130 kg ha^{-1} de N. Isso fica evidente principalmente para nitrato no sistema com G+G em 2018/2019 (Figura 10f) e todos sistemas na safra 2019/2020 (Figura 11 b;d;f;g;j) e para o amônio com GS em 2018/2019 (Figura 10 c) e GS e G+L em 2019/2020 (Figura 11c;g).

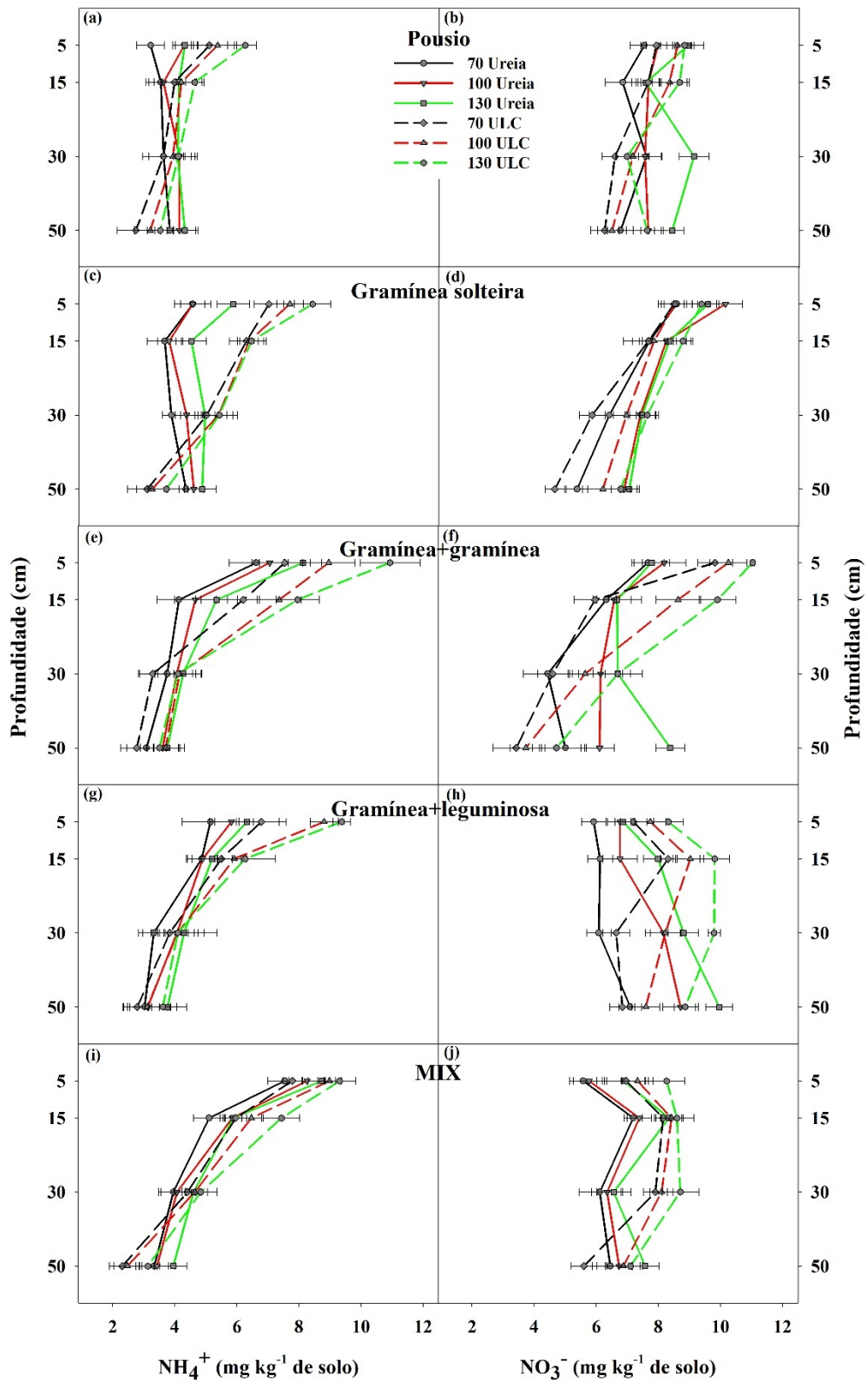


Figura 10. Teor de nitrogênio inorgânico do solo (NH_4^+ e NO_3^-) após a colheita do algodão na safra 2018/2019 em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio. Barras horizontais representam erro padrão da média.

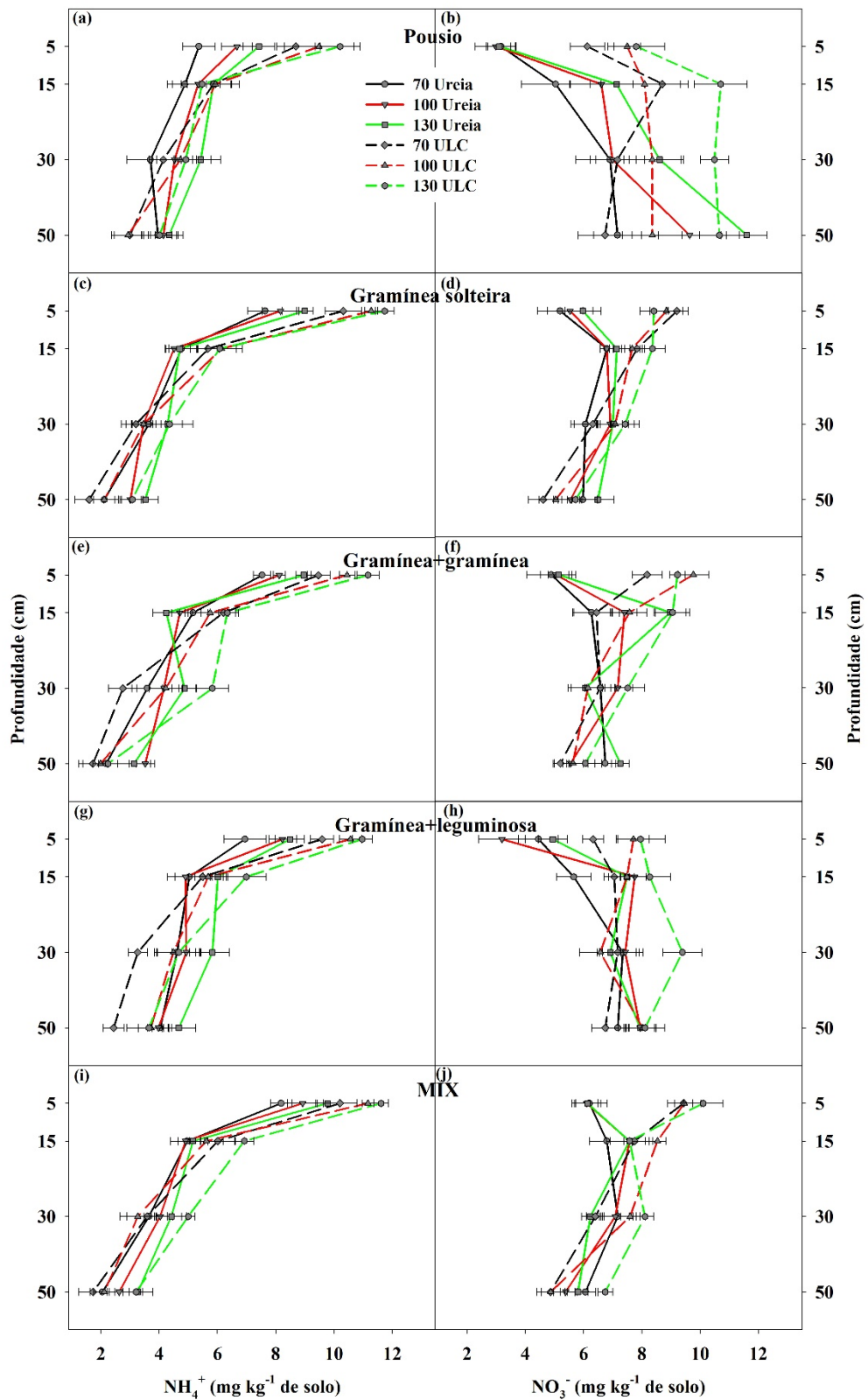


Figura 11. Teor de nitrogênio inorgânico do solo (NH_4^+ e NO_3^-) após a colheita do algodão na safra 2019/2020 em diferentes sistemas de rotação de culturas, doses e fontes de nitrogênio. Barras horizontais representam erro padrão da média.

8.4 Discussão

A utilização de plantas de cobertura, gramíneas e leguminosas, é uma importante estratégia para aumentar o estoque nitrogênio total no solo (Tabela 10). Esse fato foi reportado anteriormente em outros estudos (SILVA *et al.*, 2020; YAO *et al.*, 2019; MITCHELL *et al.*, 2017). Porém, em solo arenoso com baixo teor de matéria orgânica a disponibilidade de N inorgânico é menor em sistemas com uso exclusivo de gramíneas de alta relação C:N (Tabela 10), devido a imobilização do N pelos microrganismos do solo para degradação do carbono dos restos culturais, o que pode limitar a produtividade das culturas (CHU *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2019; MOMESSO *et al.*, 2019). Além disso, mesmo com plantas de cobertura o estoque de N total nesses solos é baixo na camada arável do solo (0-20 cm) (entre 590 e 760 kg ha⁻¹) (Tabela 10 e 11), como, observado em estudos anteriores (CORDEIRO; ECHER, 2019; SILVA *et al.*, 2020). Solos tropicais com teor de argila superior a 40% podem estocar quantidades maiores que 1000 kg ha⁻¹ na camada arável (0-20 cm) (RAPHAEL *et al.*, 2016). Entretanto, em solos arenosos a alta atividade microbiológica acelera a degradação dos resíduos vegetais e a mineralização da matéria orgânica, o que limita o seu acúmulo, bem como a reserva de N nesses solos, aumentando a dependência do N proveniente dos fertilizantes minerais.

O consórcio entre gramíneas de alta produção de biomassa e relação C:N com leguminosas de menor relação C:N é a melhor opção para aumentar a quantidade de N total e N inorgânico do solo (Tabela 10). Leguminosas solteiras com baixo aporte de matéria seca e relação C:N tem rápida mineralização do N e C (LI *et al.*, 2013), e isso não é desejável em ambientes de clima tropical e solo arenoso, onde naturalmente a mineralização da MOS é rápida (LIYANAGE *et al.*, 2020), o que levaria a menores estoques de C e N total no solo (CAMPOS *et al.*, 2020). Gramíneas solteiras de alta relação C:N podem reduzir a disponibilidade de N inorgânico (Tabela 10), resultando em balanço negativo de N no sistema (ROCHA *et al.*, 2020) e limitação da produtividade das culturas (ROCHA *et al.*, 2019; MOMESSO *et al.*, 2019).

A relação N inorgânico e N total (N_i:N_t) é importante principalmente em solos com baixo teor de MOS e disponibilidade de N, como os arenosos. Baixas relações N_i:N_t resultam da menor mineralização de N, o que pode ocorrer em solos com baixa atividade biológica (solos encharcados) ou quando os resíduos culturais de palha e raiz possuem alta relação C:N (LI *et al.*, 2013). A porcentagem de N inorgânico em

relação ao N total varia de acordo com tipo de solo, clima e época de coleta (SUZUKI *et al.*, 2017), e é em torno de 5% (DURANI *et al.*, 2016; SUZUKI *et al.*, 2017). Os resultados observados no presente estudo mostram menor porcentagem no N_i com uso exclusivo de gramíneas (4,5% em 2018/2019 e 4% em 2019/2020), e foi maior em consórcios entre gramíneas e leguminosas ou pousio (Tabela 10). A menor porcentagem de N_i no solo em sistemas com gramíneas pode explicar o menor crescimento inicial do algodoeiro (ECHER *et al.*, 2012) e produtividade das culturas (CHU *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2019).

A nitrificação, processo que transforma amônia em nitrato, ocorre de forma acelerada em solos arenosos e clima tropical, o que aumenta os teores de nitrato no solo em relação ao amônio (CAMPOS *et al.*, 2020), o que pode intensificar a lixiviação de nitrato, que podem chegar a 33 kg ha⁻¹ ano (ROSOLEM *et al.*, 2018). Já as perdas de amônio são menores em relação ao nitrato (Figura 10 e 11), e podem ser reduzidas pela implementação de técnicas que elevem o teor de matéria orgânica do solo, uma vez que o amônio é um cátion e pode ser armazenado na CTC do solo (TEUTSCHEROVA *et al.*, 2018). Além disso, o custo para assimilação de nitrato pelas plantas é maior em relação a amônio (KONNERUP; BRIX, 2010). Para assimilação de cada unidade de nitrato são necessários 10 elétrons, enquanto para amônio apenas 2 elétrons (RASMUSSEN *et al.*, 2020).

A mistura entre gramíneas e leguminosas é uma importante estratégia para aumentar estoque de amônio em relação ao nitrato na camada arável do solo (0-20 cm) (Tabela 10). Isso sugere que a maior diversidade de espécies (gramíneas e leguminosas) no sistema reduz a nitrificação do N, e/ou aumenta o teor de amônio via fixação biológica de nitrogênio. Anteriormente foi reportado que gramíneas tropicais são mais eficientes em reduzir a nitrificação de N no solo (SUBBARAO *et al.*, 2007; SUBBARAO *et al.*, 2009), e que não há diferença entre as espécies de gramíneas (ROCHA *et al.*, 2019). Sistemas com leguminosas aumentam a mineralização do N, o consumo de NH₄⁺ pelos microrganismos e a fixação biológica de N, mas o efeito da maior diversidade de plantas sobre a dinâmica do N ainda é pouco compreendido, podendo estar relacionado á mudança da microbiota do solo (LAMA *et al.*, 2020). Nosso estudo aponta que a mistura de plantas de cobertura tem potencial para aumentar o estoque de amônio no solo em relação ao nitrato, mas novos estudos precisam elucidar quais mecanismos estão envolvidos nesse processo.

A adubação nitrogenada aumenta os estoques de N no solo (SUZZUKI *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2019; CORDEIRO; ECHER, 2019). Porém observou-se que essa técnica tem maior importância em sistemas sem planta de cobertura, uma vez que a adubação nitrogenada aumentou os estoques de N total apenas no pousio (Tabela 11). Assim, o uso de plantas de cobertura pode reduzir a necessidade de uso de fertilizantes nitrogenados, devido sua capacidade em aumentar os estoques de N no solo, de forma mais econômica e segura do ponto de vista ambiental (Tabela 10; SILVA *et al.*, 2020). A ULC aumentou os estoques de N total no solo em 8% ao final da segunda safra (Tabela 11), provavelmente em função do efeito cumulativo de N no solo, tendo em vista que na primeira safra o benefício foi menor. Isso ocorre porque as perdas de N com essa fonte são menores, o que resulta em incremento do N total do solo em até 12% (GENG *et al.*, 2016).

Entretanto num ano com baixa precipitação, como ocorreu em 2018/2019 (Figura 1) a ULC reduziu a disponibilidade de N inorgânico no solo em pleno florescimento do algodoeiro, principalmente de nitrato no pousio (Tabela 11; Tabela 12). Na safra 2018/2019 a precipitação entre a primeira (25 DAE) e segunda aplicação (45 DAE) de N até o momento da coleta do solo foi de 260 e 60 mm, respectivamente. Na safra 2019/2020 o volume de chuva acumulado foi de 520 (primeira) e 284 (segunda) mm entre a aplicação até o momento da coleta do solo (Figura 1). Ou seja, na safra 2018/2019 a disponibilidade hídrica entre a aplicação do fertilizante e a coleta do solo limitou a liberação do N da ULC, considerando que esse fertilizante, quando não incorporado, depende mais da umidade superficial do solo (ZHANG *et al.*, 2016) para oxidação do enxofre que cobre o grânulo de ureia. Dessa forma em solos pobres em N inorgânico e em anos com baixa disponibilidade hídrica, a liberação atrasada de N da ureia de liberação controlada pode limitar a absorção desse nutriente no pleno florescimento/enchimento de maçãs do algodoeiro, o que, dependendo da severidade do estresse pode não limitar a produtividade, uma vez que a falta de água também limitará a absorção de nutrientes e o crescimento da planta.

Após a colheita do algodão a disponibilidade de nitrato e amônio até 60 cm de profundidade foi maior com a ULC nas duas safras, com aumento médio de 30% (Tabela 13). Essa diferença de estoque de N no pleno florescimento e após a colheita pode ser explicado pela taxa de liberação de N da ULC, que depende da espessura da camada de enxofre elementar do grânulo, podendo haver liberação significativa

com uso de ULC mesmo após 90 dias da aplicação (ZHENG *et al.*, 2016). O aumento do estoque de amônio e nitrato no solo após a colheita do algodão, como ocorreu quando se usou ULC, representa economia de N mineral, uma vez que a cultura sucessora demandará menos fertilizantes no caso das commodities, ou aumentará a ciclagem de N se forem utilizadas plantas de cobertura.

Talvez mais importante que aumentar o estoque de N no solo é a camada do solo em que ele se encontra. Nós observamos que a combinação de plantas de cobertura com ULC aumenta o estoque de N na camada superficial do solo (0-10 cm), resultado da menor lixiviação e da maior ciclagem pelas plantas de cobertura, principalmente no segundo ano de estudo (Tabela 14; Figura 10; Figura 11). Diversos estudos reportam que as plantas de cobertura, principalmente gramíneas com alto aporte de biomassa, tanto da parte aérea quanto da raiz têm potencial para reduzir a lixiviação de N no solo em ambiente de clima tropical (ROSOLEM *et al.*, 2018; GALDOS *et al.*, 2020; ROCHA *et al.*, 2020). Também foi reportado que a ureia de liberação controlada reduziu a lixiviação principalmente de nitrato (TIAN *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018). Contudo em ambientes de clima tropical com alta precipitação e solos arenosos, o uso isolado de uma das técnicas (planta de cobertura ou ULC) não é capaz de reduzir de forma eficiente a lixiviação do nitrato (Figura 10; Figura 11). Isso sugere que nesses ambientes a combinação de plantas de cobertura com a ULC é indispensável para reduzir a lixiviação do nitrato.

A lixiviação do amônio pode ser reduzida com o uso de plantas de cobertura, principalmente na segunda safra em sistemas com maior aporte de biomassa (GS, G+G e MIX). Adicionalmente, o estoque de amônio na camada de 0-10 cm foi maior quando foi aplicado ULC em relação a ureia (Figura 11). Uma possível explicação é o aumento da matéria orgânica (RAPHAEL *et al.*, 2016) e conseqüentemente a capacidade de troca de cátions do solo (CTC) (SHARMA *et al.*, 2018) e a retenção de NH_4^+ na camada superficial do solo (SHADDOX *et al.*, 2016).

Além do uso de plantas de cobertura e fertilizantes de eficiência aprimorada o ajuste da dose de N também é fundamental para evitar a lixiviação de N no solo. Nesse estudo nós utilizamos a dose recomendada de N para o algodão nessa região (100 kg ha^{-1}), 30% a menos (70 kg ha^{-1}) e 30% a mais (130 kg ha^{-1}) e observamos que, mesmo quando se usa a ULC e plantas de cobertura, doses de N acima do recomendado aumentam a lixiviação de nitrato em profundidade (40-60 cm) nos sistemas GS e G+L em 2018/2019 e G+L e MIX em 2019/2020 (Figura 10; Figura 1). O uso de doses

excessivas de N mineral deve ser evitado, principalmente em sistemas com leguminosas, o que aumenta o estoque de N inorgânico no solo (Tabela 10), e quando há maior volume de chuva (ROSOLEM *et al.*, 2017). Considerando que o principal sistema de produção de algodão no Brasil ocorre após a soja em ambientes com altos volumes de chuva (mais de 1800 mm por ano), a adubação nitrogenada supera 150 kg ha⁻¹ de N (ECHER *et al.*, 2020), e a principal fonte de N utilizada é ureia convencional, o ajuste das doses de N, o uso de plantas de cobertura na entressafra em sistemas rotacionados com milho consorciado, e a utilização de fontes de melhor eficiência podem contribuir para reduzir a lixiviação de N, sobretudo em solos arenosos.

8.5 Conclusão

Sistemas com maior diversidade de plantas de cobertura aumentam a proporção de amônio em relação ao nitrato. O N total aumenta em sistemas com plantas de cobertura de alto aporte de biomassa, mas o N inorgânico é maior principalmente com a associação de gramíneas e leguminosas.

O aumento da dose de N eleva o estoque de N inorgânico no solo, mas a aplicação de 30% a mais do que o recomendado para o algodão nessa região intensifica a lixiviação, principalmente de nitrato. Sistemas com plantas de cobertura com alto aporte de biomassa combinado com ureia de liberação controlada reduzem a lixiviação de N inorgânico no solo e a ureia de liberação controlada deixa estoque de N inorgânico no solo 30% maior em relação a ureia após a colheita do algodão.

REFERÊNCIAS

BILLEN, G.; GARNIER, J.; LASSALETTA, L. The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, p. 20130123, 2013. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0123>

BRONSON, K. F.; HUNSAKER, D. J.; MEISINGER, J. J.; ROCKHOLT, S. M.; THORP, K. R.; CONLEY, M. M.; WILLIAMS, C. F.; NORTON, E. R.; BARNER, E. M. Improving Nitrogen Fertilizer Use Efficiency in Subsurface Drip-Irrigated Cotton in the Desert Southwest. **Soil Science Society of America Journal**, v. 83, p. 1712-1721, 2019. <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.07.0210>

CAMPOS, A.; SUÁREZ, 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.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104264>

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio total em solo. *In: Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.

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

CHU, M.; JAGADAMMA, S.; WALKER, F. R.; EASH, N. S.; BUSCHERMOHLE, M. J.; DUNCAN, L. A. Effect of multispecies cover crop mixture on soil properties and crop yield. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 2, p. 1-5, 2017. <https://doi.org/10.2134/ael2017.09.0030>

CONRAD, K. A.; DALAL, R. C.; DALZELL, S. A.; ALLEN, D. E.; FUJINUMA, R.; MENZIES, N. W. Soil nitrogen status and turnover in subtropical leucaena-grass pastures as quantified by $\delta^{15}\text{N}$ natural abundance. **Geoderma**, v. 313, p. 126-134, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.029>

CORDEIRO, C. F. S.; ECHER, F. R. Interactive effects of nitrogen-fixing bacteria inoculation and nitrogen fertilization on soybean yield in unfavorable edaphoclimatic environments. **Scientific reports**, v. 9, p. 15606, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52131-7>

DURANI, A.; BRAR, B. S.; DHERI, G. S. Soil Nitrogen Fractions in Relation to Rice-Wheat Productivity: Effects of Long-Term Application of Mineral Fertilizers and Organic Manures. **Journal of Crop Improvement**, v. 30, p. 399-20, 2016. <https://doi.org/10.1080/15427528.2016.1172145>

ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; DE LA TORRE, E. D. J. R. The effects of nitrogen, phosphorus, and potassium levels on the yield and fiber quality of cotton cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, p. 921-932, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.01.001>

ECHER, F. R.; CASTRO, G. S. A.; BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial e absorção de nutrientes pelo algodoeiro cultivado sobre a palhada de *Brachiaria ruziziensis*. **Planta daninha**, v. 30, p. 783-790, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000400012>

GALDOS, M. V.; BROWN, E.; ROSOLEM, C. A.; PIRES, L. F.; HALLETT, P. D.; MOONEY, S. J. *Brachiaria* species influence nitrate transport in soil by modifying soil structure with their root system. **Scientific reports**, v. 10, p. 1-11, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61986-0>

GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; LIU, Z. Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf

senescence of cotton. **Field Crops Research**, v. 187, p. 87-95, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.12.010>

GENG, J.; CHEN, J.; SUN, Y.; ZHENG, W.; TIAN, X.; YANG, Y.; LI, C.; ZHANG, M. Controlled-release urea improved nitrogen use efficiency and yield of wheat and corn. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 1666-1673,

2016. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0468>

KONNERUP, D.; BRIX, H. Nitrogen nutrition of *Canna indica*: effects of ammonium versus nitrate on growth, biomass allocation, photosynthesis, nitrate reductase activity and N uptake rates. **Aquatic Botany**, v. 92, p. 142-148, 2010.

<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2009.11.004>

KUMAR, P.; LAI, L.; BATTAGLIA, M. L.; KUMAR, S.; OWENS, V.; FIKE, J.; GALBRAITH, J.; HONG, C. O.; FARRIS, R.; CRAWFORD, J.; CRAWFORD, J., HANSEN, J.; MAYTON, H.; VIANDS, D. Impacts of nitrogen fertilization rate and landscape position on select soil properties in switchgrass field at four sites in the USA. **Catena**, v. 180, p. 183-193, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.04.028>

LAMA, S.; VELESCU, A.; LEIMER, S.; WEIGELT, A.; CHEN, H.; EISENHAUER, N.; SCHEU, S.; OELMANN, Y.; WILCKE, W. Plant diversity influenced gross nitrogen mineralization, microbial ammonium consumption and gross inorganic N immobilization in a grassland experiment. **Oecologia**, v. 193, p. 731-748, 2020.

<https://doi.org/10.1007/s00442-020-04717-6>

LI, L. J.; HAN, X. Z.; YOU, M. Y.; YUAN, Y. R.; DING, X. L.; QIAO, Y. F. Carbon and nitrogen mineralization patterns of two contrasting crop residues in a Mollisol: Effects of residue type and placement in soils. **European journal of soil biology**, v. 54, p. 1-6, 2013.

<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2012.11.002>

LIYANAGE, A.; GRACE, P. R.; SCHEER, C.; DE ROSA, D.; RANWALA, S.; ROWLINGS, D. W. Carbon limits non-linear response of nitrous oxide (N₂O) to increasing N inputs in a highly-weathered tropical soil in Sri Lanka. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 292, p. 106808, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106808>

MINATO, E.A.; CASSIM, B.M.A.R.; BESEN, M.R.; MAZZI, F.L.; INOUE, T.T.; BATISTA, M.A. Controlled-release nitrogen fertilizers: characterization, ammonia volatilization, and effects on second-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, p. 1-13, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20190108>

MITCHELL, J. P.; SHRESTHA, A.; MATHESIUS, K.; SCOW, K. M.; SOUTHARD, R. J.; HANEY, R. L.; SCHMID, R.; MUNK, D. S.; HORWATH, W. R. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 325-335, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.001>

MOMESSO, L.; CRUSCIOL, C. A.; SORATTO, R. P.; VYN, T. J.; TANAKA, K. S.; COSTA, C. H.; NETO, J. F.; CANTARELLA, H. Impacts of Nitrogen Management on No-Till Maize Production Following Forage Cover Crops. **Agronomy Journal**, v. 111, p. 639-649, 2019. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0201>

RAPHAEL, J. P.; CALONEGO, J. C.; MILOR, D. M. B.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 45-53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020>

RASMUSSEN, A. G.; ESCOBAR, M. A.; HAO, M.; PODGÓRSKA, N.; SZAL, B. Mitochondrial NAD(P)H oxidation pathways and nitrate/ammonium redox balancing in plants. **Mitochondrion**, v. 53, p. 158-165, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.mito.2020.05.010>

ROCHA, K. F.; MARIANO, E.; GRASSMANN, C. S.; TRIVELIN, P. C.; ROSOLEM, C. A. Fate of 15N fertilizer applied to maize in rotation with tropical forage grasses. **Field Crops Research**, v. 238, p. 35-44, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.04.018>

ROCHA, K. F.; DE SOUSA M.; ALMEIDA, D. S.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L.; MOONEY, S. J.; ROSOLEM, C. A. Cover crops affect the partial nitrogen balance in a maize-forage cropping system. **Geoderma**, v. 360, p.114000, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114000>

ROCHESTER, I. J.; CONSTABLE, G. A. Nitrogen-fertiliser application effects on cotton lint percentage, seed size, and seed oil and protein concentrations. **Crop and Pasture Science**, v. 71, p. 831-836, 2020. <https://doi.org/10.1071/CP20288>

ROSOLEM, C.A.; RITZ, K.; Cantarella, H.; GALDOS, M.V.; HAWKESFORD, M.J.; WHALLEY, W.R.; MOONEY, SASCHA. J. Enhanced plant rooting and crop system management for improved n use efficiency. **Advances in Agronomy**, v. 146, p. 205-239, 2017. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.07.002>

ROSOLEM, C. A.; CASTOLDI, G.; PIVETTA, L. A.; OCHSNER, T. E. Nitrate leaching in soybean rotations without nitrogen fertilizer. **Plant and soil**, v. 423, p. 27-40, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3494-4>

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; AANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. revista e ampliada. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

SHADDOX, T. W.; KRUSE, J. K.; MILLER, G. L.; NKEDI-KIZZA, P.; SARTAIN, J. B. Surfactant-Modified Soil Amendments Reduce Nitrogen and Phosphorus Leaching in a Sand-Based Rootzone. **Journal of environmental quality**, v. 45, p. 1549-1557, 2016. <https://doi.org/10.2134/jeq2016.01.0025>

SHAREEF, M.; GUI, D.; ZENG, F.; WAQAS, M.; AHMED, Z.; ZHANG, B.; IQBAL, H.; XUE, J. Nitrogen leaching, recovery efficiency, and cotton productivity assessments on desert-sandy soil under various application methods. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105716, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105716>

SHARMA, V.; IRMAK, S.; PADHI, J. Effects of cover crops on soil quality: Part II. Soil exchangeable bases (potassium, magnesium, sodium, and calcium), cation exchange capacity, and soil micronutrients (zinc, manganese, iron, copper, and boron). **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 73, p. 652-668, 2018. <https://doi.org/10.2489/jswc.73.6.652>

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F.R.; CORDEIRO, C.F.S.; REBONATTI, M.D.; SANTOS, C.H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107947>

SILVA, E. C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; TRIVELIN, P. C. O. Manejo de nitrogênio no milho sob plantio direto com diferentes plantas de cobertura, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 477-486, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000300015>

SUBBARAO, G. V.; RONDON, M.; ITO, O.; ISHIKAWA, T.; RAO, I. M.; NAKAHARA, K.; LASCANO, C.; BERRY, W. L. Biological nitrification inhibition (BNI)—is it a widespread phenomenon? **Plant and Soil**, v. 294, p. 5-18, 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-006-9159-3>

SUBBARAO, G. V.; NAKAHARA, K.; HURTADO, M. D. P.; ONO, H.; MORETA, D. E.; SALCEDO, A. F.; YOSHIHASHIA, A. T.; ISHIKAWAA, T.; ISHITANIB, M.; OHNISHI-KAMEYAMAC, M.; YOSHIDAC, M.; RONDONB, M.; RAOB, I. M.; LASCANOB, C. E.; BERRYF, W. L.; ITO, O. Evidence for biological nitrification inhibition in Brachiaria pastures. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, p. 17302-17307, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903694106>

SUTTON, M. A.; BLEEKER, A.; HOWARD, C. M.; ERISMAN, J. W.; ABROL, Y. P.; BEKUNDA, M.; DATTA, A.; DAVIDSON, E.; VRIES, W.; OENEMA, O. ZHANG, F. S. **Our nutrient world: the challenge to produce more food & energy with less pollution**. Edinburgh: Centre for Ecology & Hydrology, 2013.

SUZZUKI, K.; MATSUNAGA, R.; HAYASHI, K.; MATSUMOTO, N.; TOBITA, S.; BATIONO, A.; OKADA, K. Effects of long-term application of mineral and organic fertilizers on dynamics of nitrogen pools in the sandy soil of the Sahel region, Niger. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 242, p. 76-88, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.004>

TEUSCHEROVA, N.; HOUSKA, J.; NAVAS, M.; MASSAGUER, A.; BENITO, M.; VAZQUEZ, E. Leaching of ammonium and nitrate from Acrisol and Calcisol amended with holm oak biochar: A column study. **Geoderma**, v. 323, p. 136-145, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.004>

TIAN, X.; LI, C.; ZHANG, M.; LI, T.; LU, Y.; LIU, L. Controlled release urea improved crop yields and mitigated nitrate leaching under cotton-garlic intercropping system in a 4-year field trial. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 158-167, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.015>

WANG, Y.; YING, H.; YIN, Y.; ZHENG, H.; CUI, Z. Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 657, p. 96-102, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.029>

YANG, X.; GENG, J.; HUO, X.; LEI, S.; LANG, Y.; LI, H.; LIU, Q. Effects of different nitrogen fertilizer types and rates on cotton leaf senescence, yield and soil inorganic

nitrogen. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-14, 2020.

<https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1799983>

YAO, Z.; ZHANG, D.; LIU, N.; YAO, P.; ZHAO, N.; LI, Y.; ZHANG, S.; ZHAI, B.; HUANG, D.; WANG, Z.; CAO, W.; ADL S.; GAO, Y. Dynamics and sequestration potential of soil organic carbon and total nitrogen stocks of leguminous green manure-based cropping systems on the Loess Plateau of China. **Soil and Tillage Research**, v. 191, p. 108-116, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.022>

YANG, X.; GENG, J.; HUO, X.; LEI, S.; LANG, Y.; LI, H.; LIU, Q. Effects of different nitrogen fertilizer types and rates on cotton leaf senescence, yield and soil inorganic nitrogen. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 2020.

<https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1799983>

ZHANG, S.; SHEN, T.; YANG, Y.; LI, Y. C.; WAN, Y.; ZHANG, M.; TANG, T.; 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.010>

ZHENG, W.; ZHANG, M.; LIU, Z.; ZHAOU, H.; LU, H.; ZHANG, W.; YANG, Y.; LI, C.; CHEN, B. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. **Field Crops Research**, v. 197, p. 52-62, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.004>

9 GLOMALINA E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO COM PLANTAS DE COBERTURA E MANEJO DO NITROGÊNIO EM UM SOLO CULTIVADO COM ALGODÃO

Resumo

A adubação nitrogenada é fundamental para obtenção de rentabilidade de lavouras de algodão, mas o excesso de N pode inibir a atividade microbiana do solo. Além disso, não se sabe se o sistema de rotação de culturas ou a fonte de N podem atenuar os efeitos negativos do aumento da dose de N sobre a microbiota do solo. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito das plantas de cobertura (pousio, gramínea solteira, gramínea+gramínea, gramínea+ leguminosa e MIX), doses de N (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada - ULC) sobre a atividade microbiana e teor de glomalina do solo e a relação com a produtividade do algodoeiro. Sistemas com gramíneas aumentam o aporte de biomassa no solo. O MIX aumentou o carbono da biomassa microbiana (CBM) em 117% e reduziu a respiração do solo em 128% e o quociente metabólico (qCO₂) em 372% em relação ao pousio (média de dois anos). Maior dose de N (130 kg ha⁻¹) reduziu principalmente o CBM, atividade das enzimas (desidrogenase e β -glicosidase) e o teor de glomalina, mas aumentou a respiração do solo. A hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) foi 60% maior no MIX de plantas em relação ao pousio (média de duas safras). A ULC pode atenuar os efeitos negativos das altas doses de N em ambientes com baixo aporte de biomassa (β -glicosidase). CBM, β -glicosidase e qCO₂ foram os principais indicadores de qualidade do solo (alta correlação com produtividade do algodoeiro). Maior diversidade de plantas de cobertura, doses moderadas de N e ULC beneficiam a atividade microbiana e a glomalina em solo arenoso.

Palavras chave: Qualidade do solo. Sistemas de produção. Algodão. Ureia de liberação controlada. Solo arenoso.

Abstract

Nitrogen fertilization is fundamental to cotton crop profitability. Excess nitrogen in the soil can inhibit microbial activity. Little is known about the effects of cover crops, nitrogen sources, and nitrogen doses on soil quality. The objective of this study was to evaluate the effect of cover crops (fallow, one grass species, two grass species, one grass species and legumes, and a mixture of three cover crops), nitrogen doses (70, 100, and 130 kg ha⁻¹), and nitrogen sources (conventional urea and controlled-release urea) on soil microbial activity, glomalin content, and relationship with cotton yield. Grass systems increased the soil biomass supply. Compared to fallow systems, the use of mixed cover crop systems increased the microbial biomass carbon by 117% and reduced soil respiration and metabolic quotient by 128% and 372% (averages of the two studied years), respectively. The highest nitrogen dose (130 kg ha⁻¹) increased soil respiration but reduced microbial biomass carbon, enzyme activity (dehydrogenase, β -glucosidase), and glomaline content. Fluorescein diacetate hydrolysis was 60% higher in mixed cover crop systems than with fallow (averages of the two studied years). Controlled-release urea can mitigate the negative effects of high nitrogen doses in environments with low biomass (β -glucosidase). Microbial

biomass carbon, β -glucosidase, and qCO_2 were the principal indicators of soil quality and had high correlations with cotton yield. We observed that the use of a diversity of cover crops, moderate nitrogen doses, and controlled-release urea activate microbial and glomalin activity in sandy soil.

Keywords: Soil quality. Production systems. Cotton. Controlled-release urea. Sandy soil.

9.1 Introdução

A produção agrícola em solos arenosos ocorre em diversos países (BELL; SENG, 2007) e nos últimos anos a produção de grãos e fibras vem aumentando de forma exponencial nesses ambientes (SILVA *et al.*, 2020; USOWICZ; LIPIEC, 2017). Entretanto os riscos de produção e degradação desses solos a longo prazo são altos (SILVA *et al.*, 2020; TANG *et al.*, 2016). A utilização de plantas de cobertura e o manejo correto da fertilização nitrogenada são fundamentais para a melhoria na microbiologia e conseqüentemente na qualidade do solo (NIVELLE *et al.*, 2016) e no acúmulo de proteínas no solo, principalmente glomalina e matéria orgânica (SINGH *et al.*, 2018), o que torna a produção agrícola nesses ambientes mais sustentável e com menores riscos (SILVA *et al.*, 2020).

O efeito das plantas de cobertura e manejo da adubação nitrogenada sobre a microbiologia do solo em ambientes de clima temperado e/ou em solos de textura média e argilosa já é bem conhecido (LOPES *et al.*, 2013; NIVELLE *et al.*, 2016; JIAN *et al.*, 2016; MENDES *et al.*, 2019; JIA *et al.*, 2020). Porém em solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica e clima tropical, os estudos são escassos, e o foco tem sido o efeito isolado de gramíneas (MAZUCHELLI *et al.*, 2020). Os atributos microbiológicos do solo correlacionam-se positivamente com a produtividade das culturas (LOPES *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2019), porém em solos frágeis, como os arenosos, há poucos estudos sobre isso.

Pesquisas que relacionam a qualidade biológica do solo com a produtividade do algodão são escassas, comparado a soja e milho por exemplo. Resultados recentes indicam que o Sistema de Semeadura Direta (SSD) e a rotação de culturas aumentam os estoques de carbono e nitrogênio no solo e a produtividade de fibra (FERREIRA *et al.*, 2020). Contudo, ainda não está claro quais são os principais indicadores de qualidade de solo nesses sistemas conservacionistas que apresentam maior correlação com a produtividade do algodoeiro. Nesse sentido o estudo da

microbiologia do solo é importante em sistemas de produção com algodão, principalmente a relação da microbiologia com o manejo do N, uma vez que em lavouras de algodão normalmente são aplicadas doses de N superiores á 150 kg ha⁻¹ (HU *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2020; ECHER *et al.*, 2020), o que pode modificar a atividade das enzimas (JIAN *et al.*, 2016).

Dentre as variáveis microbianas do solo, a biomassa microbiana é um importante indicador da qualidade e tem alta correlação com a produtividade de culturas como soja e milho (MAZUCHELLI *et al.*, 2020). A biomassa microbiana é maior em sistemas com maior diversidade de plantas, principalmente em solos arenosos (PROMMER *et al.*, 2020). Altas doses de N podem reduzir a biomassa microbiana, devido principalmente a acidificação do solo, mas isso depende da textura do solo, fertilidade, teor de matéria orgânica e dose de N (ZHOU *et al.*, 2017). A ureia de liberação controlada (ULC) pode aumentar a biomassa microbiana, mas esse efeito é dependente do tipo de solo (LUPWAYI *et al.*, 2010). Contudo o conhecimento sobre os efeitos das doses e fontes de N sobre a biomassa microbiana em diferentes sistemas de rotação de culturas ainda é restrito.

Em ambiente de clima temperado a adubação nitrogenada tem pouco efeito sobre a atividade enzimática do solo, mas as plantas de cobertura aumentam em até 30% a atividade das enzimas desidrogenase e urease (NIVELLE *et al.*, 2016). O quociente metabólico (qCO₂) indica a quantidade de CO₂ liberada do solo por unidade de biomassa microbiana num período de tempo; já o quociente microbiano (qMic) indica a qualidade da matéria orgânica e é expresso pela relação entre o CBM (carbono da biomassa microbiana) e o COT (carbono orgânico total). Altos qCO₂ estão associados a solos em processo de degradação (REY *et al.*, 2011), enquanto altos qMIC refletem ambientes em restauração (HU *et al.*, 2016).

Em ambientes de solos arenosos com baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente N, algo importante a se considerar é a entrada equilibrada de C e N. Altos aportes de biomassa de alta relação C:N podem resultar em decomposição da matéria orgânica nativa do solo, em situações de baixa disponibilidade de nutrientes no solo (efeito *priming*) (LIU *et al.*, 2020), nesses casos as perdas de carbono são maiores (SAUVADET *et al.*, 2018), mas podem ser compensadas com maiores entradas de N no sistema (LI *et al.*, 2020). Isso significa que apenas altos aportes de biomassa via gramíneas de alta relação C:N não é a melhor estratégia em ambientes de solos arenosos com baixa disponibilidade de nutrientes.

Glicoproteínas contidas no solo do grupo da glomalina facilmente extraível tem alta relação com o teor de matéria orgânica do solo, sendo importante na agregação e promoção da qualidade física do solo (STAUNTON *et al.*, 2020), o que é beneficiado principalmente pelas gramíneas. O teor de glomalina aumenta em até 12% em sistemas com leguminosas comparando-se à sistemas com cereais (gramíneas) (SINGH *et al.*, 2018), mas há necessidade de equilíbrio nas entradas de C e N para aumento da MOS (RAPHAEL *et al.*, 2016). Entretanto não está claro qual a influência da adubação mineral com nitrogênio em sistemas com alto e baixo aporte de biomassa sobre os teores de glomalina e se há benefícios do incremento dessa proteína presente no solo sobre a produtividade do algodoeiro. O objetivo foi avaliar os efeitos interativos das plantas de coberturas, doses e fontes de N sobre a atividade microbiana e teor de glomalina do solo e a relação desses indicadores de qualidade do solo com a produtividade de fibra do algodoeiro, cultivado em solo arenoso.

9.2 Material e métodos

9.2.1 Caracterização da área do estudo

Capítulo 1, página 35.

9.2.2 Delineamento experimental

Capítulo 1, página 37.

9.2.3 Manejo das plantas de cobertura

Capítulo 1, página 37.

9.2.4 Manejo do algodoeiro

Capítulo 1, página 37.

9.2.5 Avaliações plantas de cobertura

Capítulo 1, página 38.

9.2.6 Avaliações biomassa microbiana, respiração do solo e quociente metabólico e microbiano.

O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM), respiração do solo e quociente metabólico foram avaliados logo após a dessecação das plantas de cobertura (oito dias após a dessecação) e em pleno florescimento do algodoeiro (75 DAE) com cinco sub-amostras por parcela, coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade. O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana foram determinados pelo método de irradiação (FERREIRA *et al.*, 1999; JOERGENSEN *et al.*, 1990). Foi pesado 100 g de solo, sendo 50 g irradiadas no micro-ondas com 50 ml de K₂SO₄ 0,5M. As 50 g restantes (não irradiadas) receberam a mesma solução, e as amostras foram agitadas por 30 minutos e após filtragem, foram reservadas 10 ml do extrato para cada análise. Para avaliar o CBM foram adicionados no extrato, 2 ml de dicromato de potássio 0,066M, 10 ml de de H₂SO₄ e 5 ml de ácido fosfórico. As leituras das amostras foram realizadas por titulação. Com 0,6 ml de extrato foram avaliados os teores de NBM, adicionando 1,4 ml de ácido cítrico 0,2 M (pH = 5,0) e 1 ml de Ninidrina, e após a incubação por 25 minutos em banho maria, adicionou-se 4 ml da mistura etanol: água, finalizando com a leitura no espectrofotômetro a 570 nm.

A respiração basal do solo foi medida por meio da liberação de CO₂ após incubação aeróbia com 50 g de solo em titulação com NaOH durante 96 horas (RODELLA; SABOYA, 1999). O quociente metabólico (qCO₂) foi calculado pela razão da respiração com o CBM e expresso como mg CO₂ kg⁻¹ CBM dia⁻¹ (ANADERSON; DOMSCH, 1993). O quociente microbiano (qMic) foi calculado pela proporção do CBM no COT e expresso em porcentagem (%) (SPARLINH, 1992).

9.2.7 Avaliações da atividade enzimática do solo

A atividade das enzimas do solo desidrogenase, urease, β -glicosidase e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) foi avaliada no pleno florescimento do algodoeiro (75 DAE) para todas enzimas e oito dias após a dessecação para a desidrogenase. Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 cm de profundidade em cinco sub-amostras por parcela.

A atividade da enzima urease foi avaliada pelo método de Tabatabai e Bremner (1972). Em um frasco de destilação (100 mL) foram colocados 1 g de solo e 9 mL de tampão THAM pH 9; as amostras foram agitadas, adicionando-se 1 mL da solução 0.2 M ureia. Após a incubação por 2 horas (37°C), adicionou 40 mL da solução KCl-Ag₂SO₄. Em tubos de destilação a vapor foram pipetados 20 mL do extrato, adicionando 0,2 g MgO, com destilação até o volume de 50 mL em erlenmeyer. Ao recolher o condensado, pipetou-se 10 ml de ácido bórico e titulou-se com a solução H₂SO₄ 0,0025 M até a mudança de coloração. O volume gasto para a viragem foi utilizado no cálculo. A atividade da enzima desidrogenase foi determinada pelo método de Casida *et al.* (1964), junto as 5 g de solo foram misturadas 1 ml de glicose; nas amostras adicionou-se 2 ml de T.T.C (cloreto de 2,3,5-trifeniltetrazólio) e nos brancos 2 ml de THAM pH 7,6. Todas as amostras foram incubadas por 18 horas (25°C), após este período acrescentou-se 9 ml de metanol em todas as amostras, sendo em sequência agitadas e filtradas. A leitura foi realizada com o espectrofotômetro a 530 nm.

A atividade da enzima β-glicosidase foi avaliada pelo método de Eivazi e Tabatabai (1972). Adicionou-se 4 mL do tampão MUB PH 6.0 e 1 ml de PNG (p-Nitrofenol - 1000 ppm) aos tubos de ensaio que continham 1 g de solo. Incubou-se por 1 hora (37°C), e após este processo adicionou-se 1 mL de CaCl₂ 0,5 mol.l⁻¹ e 4 ml de THAM 0,1M pH 12. As amostras foram agitadas e filtradas para leitura em absorvância de 400 nm. A estimativa da atividade microbiana foi realizada através da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). Em um erlenmeyer (125 mL) adicionou-se 5 g de solo, 20 mL de tampão fosfato e 200 µl de diacetato de fluoresceína; agitou-se as amostras por 20 minutos e a reação foi interrompida com 20 mL de acetona. As amostras foram filtradas e lidas com absorvância de 490 nm (SCHURER e ROSSWALL, 1982).

9.2.8 Avaliação da glomalina facilmente extraível do solo

A glomalina facilmente extraível do solo foi avaliada em pleno florescimento do algodoeiro (75 DAE). Foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 cm de profundidade em cinco sub-amostras por parcela. A glomalina foi determinada a partir de 1 g de solo em tubos *falcon*. Foram adicionadas 8 mL de tampão citrato de sódio (20 mM, pH 7); autoclavadas por 30 minutos e centrifugadas por 10 minutos (5000 rpm). Após centrifugação foram retirados 150 µl da solução e armazenadas em tubos

de ensaio, adicionou-se 3 ml do reagente de Bradford e agitou-se. As leituras em absorbância de 590 nm (WRIGHT e UPADHYAYA, 1996) foram realizadas após o período de 10 minutos.

9.2.9 Avaliação da produtividade de fibra do algodoeiro

Aos 148 DAE foi estimada a produtividade algodoeiro com a colheita manual de dois metros das linhas centrais da parcela. Após isso uma sub-amostra de 100 g foi descaroçada para determinar o rendimento de fibra e estimar a produtividade de fibra. Os dados de produtividade foram utilizados para realizar as correlações com os atributos microbiológicos e glomalina do solo, mas sem discutir o efeito dos tratamentos sobre a produtividade de fibra.

9.2.10 Análises dos dados

A análise estatística foi realizada através da análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste t (LSD) a 5% de probabilidade ($p < 0,05$). Foi utilizada a correlação de Pearson entre a produtividade de fibra e os atributos microbiológicos do solo e glomalina do solo.

9. 3 Resultados

9.3.1 Produção de matéria seca das plantas de cobertura e microbiologia do solo em pré-semeadura do algodoeiro

A biomassa da parte aérea foi de 3,1 Mg ha⁻¹ (2018) e 4,1 Mg ha⁻¹ (2019) e da raiz foi de 2,1 Mg ha⁻¹ (2018) e 1,1 Mg ha⁻¹ (2019) (média dos sistemas). Sistemas com consórcio de duas gramíneas (G+G) (duas safras agrícolas) e MIX de plantas de cobertura (apenas em 2019) tiveram maior produção de biomassa da parte aérea que no pousio e no consórcio entre gramínea e leguminosa (Tabela 15). A maior produção de biomassa da raiz na camada arável do solo (0-20 cm) foi no MIX (2018) e gramínea solteira (2019), com produção 236 e 177% maior em relação ao pousio, respectivamente. Sistemas com uso exclusivo de gramíneas (GS e G+G) tiveram maior relação C:N de parte aérea na safra 2019. No entanto a maior relação C:N da

raiz foi no MIX e na gramínea solteira em 2018 e no tratamento que associou duas gramíneas (G+G) em 2019 (Tabela 15).

Tabela 15. Produção de matéria seca e relação C:N de parte aérea e raiz (0-20 cm) das plantas de cobertura em pré-semeadura do algodoeiro nos anos de 2018 e 2019. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$).

Sistemas	Matéria secakg ha ⁻¹		Relação C:N	
	Parte aérea	Raiz	Parte aérea	Raiz
2018				
Pousio	1485 c	944 c	45,0 a	63,3 bc
Gramínea solteira	3977 b	2664 b	45,2 a	69,8 a
Gramínea+gramínea	4615 a	2878 ab	43,6 a	65,3 b
Gramínea+leguminosa	1673 c	958 c	46,6 a	60,6 c
MIX	3637 b	3172 a	42,6 a	69,9 a
CV%	15,3	15,2	14,5	8,4
2019				
Pousio	2490 d	619 c	27,3 b	39,6 d
Gramínea solteira	4540 b	1717 a	32,1 a	45,6 b
Gramínea+gramínea	4940 a	1033 b	35,9 a	51,2 a
Gramínea+leguminosa	3790 c	780 c	24,7 b	39,6 d
MIX	5120 a	1085 b	28,1 b	41,0 c
CV%	6,9	17,5	9,7	9,8

No pousio ou no tratamento que associou gramínea e leguminosa (G+L) houve redução do carbono da biomassa microbiana (CBM) da primeira (2018/19) para a segunda safra (2019/20) em 49% e 37%, respectivamente. O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) também foi reduzido em 44% no pousio e em 52% no consórcio G+L; também a atividade da enzima desidrogenase diminuiu 23% no pousio e 28% no G+L de uma safra para outra (Figura 12 a;b;c). Na safra 2018/19 o CBM foi menor com a gramínea solteira e maior no MIX (duas safras) (Figura 12 a). O NBM foi maior nos tratamentos consorciados em 2018 (G+G, G+L e MIX) e na gramínea solteira e MIX em 2019 (Figura 12 b).

Sistemas com consórcio entre gramíneas e leguminosas (G+L em 2018 e MIX nos dois anos) aumentaram a atividade da desidrogenase, mas o aumento de uma safra para outra ocorreu em sistemas com maior aporte de biomassa (GS, G+G e MIX) (média de 4470 kg ha⁻¹ de MS) (Figura 12 c). Na ausência de plantas de cobertura (pousio) a emissão de CO₂ (respiração) foi maior nas duas safras avaliadas. Por outro lado, no MIX de plantas de cobertura observou-se menor taxa de respiração do solo nas duas safras (Figura 12 d). O pousio (duas safras) e a GS em 2018/19 tiveram maiores quocientes metabólicos (qCO₂), e o MIX os menores nas duas safras (Figura 12 e). O quociente microbiano (qMIC) foi 64% maior no MIX em relação ao pousio (média dois anos). Adicionalmente, a GS (alto aporte de biomassa) aumentou o qMIC

em 91% entre as duas safras, enquanto no pousio, G+L e MIX houve redução de 29%, 58% e 20%, respectivamente (Figura 12 f).

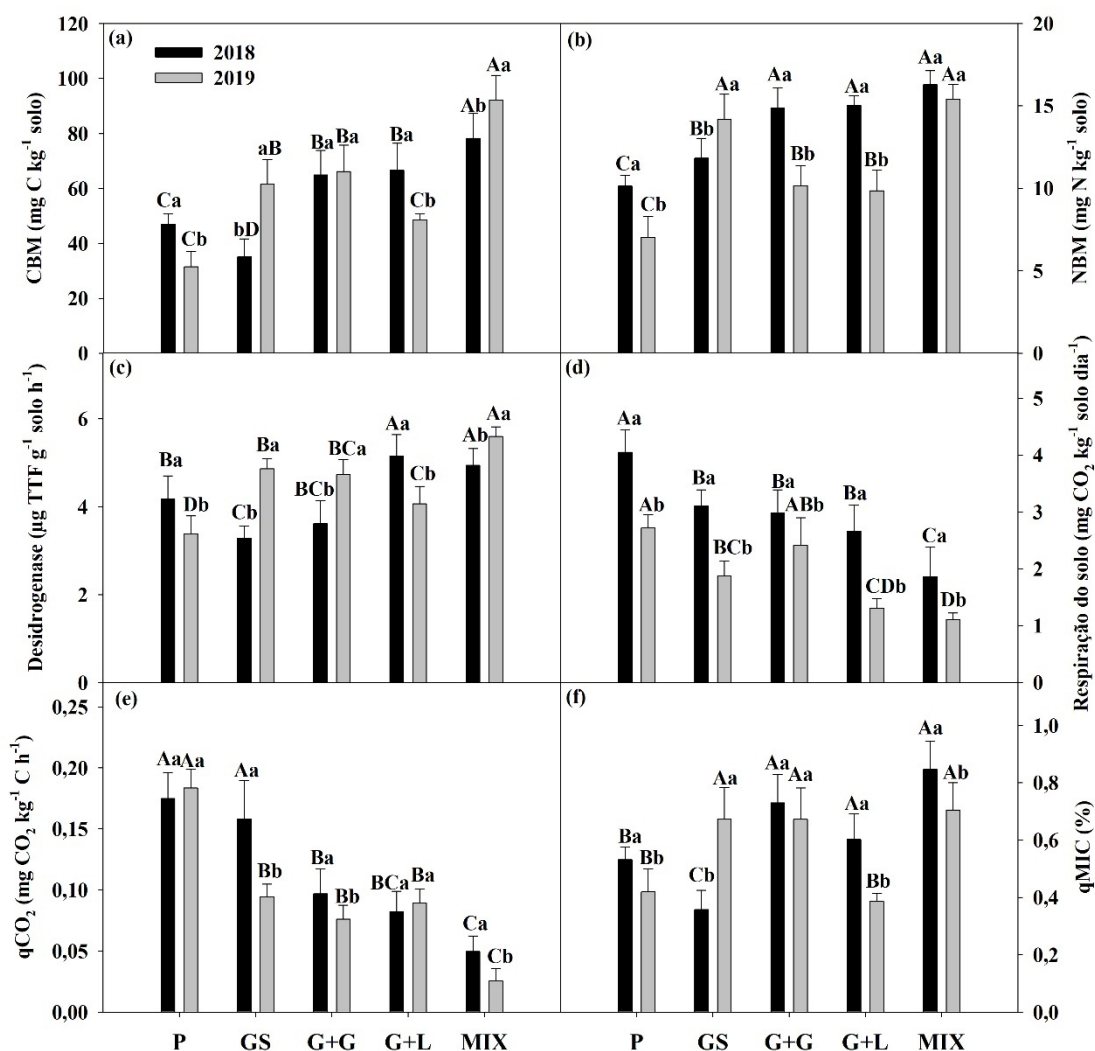


Figura 12. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, quociente metabólico (qCO₂), quociente microbiano (qMIC) e atividade da enzima desidrogenase, em pré-semeadura do algodoeiro em 2018 e 2019. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam ano, letras minúsculas comparam sistemas. Barras verticais representam erro padrão da média.

9.3.2 Biomassa microbiana, respiração do solo e quociente metabólico em pleno florescimento do algodoeiro

O CBM e NBM foram menores no pousio, independente da safra (média das doses e fontes de N). Maior dose de N (130 kg ha⁻¹) reduziu o CBM em sistema com leguminosa e gramínea de baixo aporte de biomassa (G+L) (independente da fonte

de N) (Tabela 16). O efeito das doses de N sobre o NBM foi dependente da fonte utilizada e da safra agrícola.

Na safra 2019/2020 o incremento das doses de N na fonte ureia aumentou o NBM na maioria dos sistemas, exceto no MIX; o aumento também ocorreu na safra 2018/2019, mas apenas no pousio para as duas fontes de N. O aumento da dose de N associado a ULC reduziu o NBM no G+G e MIX em 2018/2019 e em todos os sistemas em 2019/2020 (Tabela 16). O efeito das fontes de N sobre o CBM em 2018/2019 foi pouco expressivo, mas em 2019/2020, em sistemas com alto aporte de biomassa (GS, G+G e MIX), os teores de CBM foram maiores com ureia em relação a ULC com maiores doses de N (130 kg ha^{-1}) (Tabela 16).

Tabela 16. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana no pleno florescimento do algodoeiro, em sistemas de rotação de culturas com diferentes doses N (70 , 100 e 130 kg ha^{-1}) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

Dose de N kg ha^{-1}	CBM		NBM		CBM		NBM	
	mg kg^{-1} solo							
	2018/2019				2019/2020			
	Pousio							
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	107,5 Aa	78,6 Ba	7,2Ab	7,6Ab	50,1Bb	72,2Ab	8,0Ab	9,3Aab
100	113,7 Aa	75,5 Ba	6,0Bb	11,3Aa	70,4Aa	75,1Ab	9,2Aab	11,4Aa
130	78,4 Ab	82,9 Aa	10,6Aa	11,3Aa	73,7Ba	84,8Aa	10,7Aa	8,7Ab
CV (%)	8,9		14,8		9,4		18,6	
Média	89,4 d		9,1 c		71,1 d		9,5 c	
	Gramínea solteira							
70	85,4Bc	130,7Aa	11,7Bc	15,5Aa	95,1Bb	116,1Aab	7,2Bb	18,3Aa
100	108,2Bb	137,2Aa	15,3Aa	12,7Bb	111,3Ba	128,0Aa	12,2Ba	16,6Aa
130	152,9Aa	148,4Aa	13,5Ab	14,2Aab	126,1Aa	108,1Bb	12,4Aa	11,2Ab
CV (%)	11,4		9,1		10,1		9,9	
Média	127,2 b		13,8 a		114,2 a		13,1 ab	
	Gramínea+gramínea							
70	89,6Bb	111,1Aa	12,0Bb	15,3Aa	92,2Ab	94,5Ab	9,5Bb	16,2Aab
100	141,4Aa	115,8Ba	13,0Ba	15,2Aa	106,9Ab	116,1Aa	10,1Bb	18,3Aa
130	132,6Aa	123,5Aa	13,5Aa	13,3Ab	124,8Aa	107,8Bab	13,7Aa	14,7Ab
CV (%)	8,3		5,5		11,5		18,3	
Média	119,1 c		13,8 a		107,1 b		14,2 a	
	Gramínea+leguminosa							
70	114,8Aa	106,0Aa	11,8Aa	12,4Aa	94,8Ba	111,9Aa	14,0Aab	14,0Aa
100	91,8Ab	79,1Bb	10,9Aa	9,8Ab	74,8Bb	112,6Aa	13,1Ab	10,6Aab
130	82,6Ab	80,0Ab	12,1Aa	12,1Aa	76,1Ab	81,3Ab	16,7Aa	10,0Bb
CV (%)	9,9		8,2		13,6		20,7	
Média	93,4 c		11,5 b		91,6 c		13,1 a	
	MIX							
70	137,8Aa	126,3Bb	11,3Bc	15,7Aa	110,0Bb	144,2Aa	13,6Aa	14,7Aa
100	143,7Aa	146,1Aa	15,9Aa	13,2Bb	120,4Aab	100,6Bb	12,5Aa	10,8Ab
130	142,7Aa	122,8Bb	12,9Bb	14,3Ab	128,8Aa	94,1Bb	11,7Aa	8,7Bb
CV (%)	5,8		7,3		7,4		16,1	
Média	136,6 a		13,9 a		116,4 a		12,1 b	

A gramínea solteira (GS) em 2018/2019 ou o pousio em 2019/2020 aumentaram a emissão de CO₂ do solo no florescimento do algodoeiro, sendo 41% e 13% maior em relação ao MIX em 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente (média das doses e fontes de N). O qCO₂ foi menor no MIX (2018/2019) e GS (2019/2020) (média doses e fontes) (Tabela 17). O incremento das doses de N aumenta a respiração do solo em todos os sistemas com planta de cobertura e ULC (Tabela 17). Não houve efeito conclusivo das fontes de N sobre a respiração e quociente metabólico do solo (Tabela 17).

Tabela 17. Respiração do solo e quociente metabólico (qCO_2) do solo no pleno florescimento do algodoeiro em sistemas de rotação de culturas com diferentes doses (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

Doses de N kg ha ⁻¹	Respiração		qCO_2		Respiração		qCO_2	
	mg CO ₂ kg ⁻¹ solo dia ⁻¹		mg CO ₂ mg ⁻¹ CBM h ⁻¹		mg CO ₂ kg ⁻¹ solo dia ⁻¹		mg CO ₂ mg ⁻¹ CBM h ⁻¹	
	2018/2019				2019/2020			
	Pousio							
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	1,8Aa	1,6Ba	0,7Aa	0,8Aa	1,2Bb	2,9Aa	1,0Ba	1,6Aa
100	1,1Bc	1,5Aa	0,4Bb	0,8Aa	1,4Aa	1,3Ab	0,8Ab	0,7Ab
130	1,5Ab	1,6Aa	0,8Aa	0,8Aa	1,4Aa	1,4Ab	0,8Ab	0,7Ab
CV (%)	10,1		18,5		9,0		12,7	
Média	1,56 b		0,74 a		1,64 a		0,98 a	
	Gramínea solteira							
70	1,5Bb	2,1Aa	0,8Aa	0,6Aa	1,3Aa	1,1Bb	0,5Aa	0,4Bb
100	2,1Aa	1,8Aa	0,8Aa	0,5Aa	1,1Ab	1,1Ab	0,4Ab	0,3Ab
130	2,3Aa	1,9Aa	0,7Aa	0,5Aa	1,3Aa	1,4Aa	0,4Bb	0,5Aa
CV (%)	13,2		19,2		5,8		12,8	
Média	1,99 a		0,69 a		1,22 c		0,45 d	
	Gramínea+gramínea							
70	1,5Aa	1,4Ab	0,7Aa	0,5Bab	1,7Aa	1,1Bb	0,9Aa	0,5Bb
100	1,4Ba	1,7Aa	0,4Bb	0,6Aa	1,1Ab	1,1Ab	0,4Ab	0,4Ac
130	1,1Bb	1,4Ab	0,3Bb	0,5Ab	1,0Bb	1,5Aa	0,3Bc	0,6Aa
CV (%)	10,5		15,1		7,1		11,8	
Média	1,48 bc		0,54 b		1,30 c		0,54 c	
	Gramínea+leguminosa							
70	1,0Ab	0,9Aa	0,3Ab	0,3Ac	1,6Ab	0,8Bb	0,9Ab	0,3Bc
100	1,2Aa	1,1Ba	0,5Ba	0,6Aa	2,6Aa	1,4Ba	1,6Aa	0,8Ba
130	1,0Ab	1,0Aa	0,5Aa	0,4Ab	1,3Ab	1,1Aab	0,7Ac	0,5Bb
CV (%)	8,7		10,1		19,6		11,9	
Média	1,06 d		0,50 b		1,52 b		0,83 b	
	MIX							
70	1,4Aa	1,2Ab	0,4Aa	0,4Ab	1,0Bb	1,8Aa	0,4Bb	0,5Aa
100	1,3Aa	1,3Aab	0,4Aa	0,3Ab	1,0Ab	1,0Ac	0,3Ab	0,4Ab
130	1,4Aa	1,5Aa	0,4Aa	0,5Aa	2,3Ba	1,3Ab	0,7Aa	0,6Ba
CV (%)	15,7		18,2		9,4		11,9	
Média	1,41 c		0,43 c		1,45 b		0,52 c	

9.3.2 Atividade enzimática do solo em pleno florescimento do algodoeiro

Na safra 2018/2019 a atividade da enzima urease foi 156% menor no pousio em relação a G+G, e na safra 2019/2020 a menor atividade foi no pousio e GS, sem

diferença entre os demais sistemas (Tabela 18). No pousio o incremento das doses de N reduziu a atividade da urease na safra 2018/2019. Na safra 2018/2019 os sistemas com GS, G+G e MIX (alto aporte de biomassa) e uso de ureia aumentaram a atividade de enzima urease em 196%, 54% e 97% (de 70 para 130 kg ha⁻¹), respectivamente, mas com a ULC houve redução de 54%, 19% e 118%, respectivamente (Tabela 18).

A atividade da desidrogenase foi 37% maior no MIX em relação a G+L (2018/2019) e 43% maior com G+G em relação a G+L (2019/2020) (média das doses de fontes) (Tabela 18). O incremento das doses de N aumentou a atividade da desidrogenase nos sistemas com GS e MIX (2018/2019) e G+G e G+L (2019/2020) (duas fontes) (Tabela 18). Na maioria das vezes a ULC reduziu a atividade da desidrogenase, principalmente com maiores doses de N e sistemas sem plantas e/ou com leguminosas (Tabela 18).

Tabela 18. Atividade das enzimas urease e desidrogenase no solo no pleno florescimento do algodoeiro, em sistemas de rotação de culturas com diferentes doses (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

Doses de N kg ha ⁻¹	Urease		Desidrogenase		Urease		Desidrogenase	
	mg N kg ⁻¹ solo h ⁻¹		ug TTF g ⁻¹ solo h ⁻¹		mg N kg ⁻¹ solo h ⁻¹		ug TTF g ⁻¹ solo h ⁻¹	
	2018/2019				2019/2020			
	Pousio							
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	73,7Aa	67,0Aa	2,9Aa	3,2Aa	60,4Ba	41,3Aa	8,7Aa	7,9Ab
100	35,1Ab	37,3Ab	2,5Ba	3,9Aa	57,9Aa	40,8Aa	4,8Bc	10,7Aa
130	25,1Ab	30,4Ab	2,7Ba	3,9Aa	60,4Aa	49,5Aa	6,9Ab	5,0Bc
CV (%)	18,1		18,4		23,2		9,7	
Média	44,8 e		3,23 b		51,4 b		7,35 b	
	Gramínea solteira							
70	39,4Bc	110,0Aa	3,8Ab	3,3Ab	38,0Ab	41,0Ab	6,0Ab	4,6Bb
100	87,4Bb	108,9Aa	2,9Ac	3,7Ab	64,0Aa	54,3Ab	7,9Aa	6,7Ba
130	117,0Aa	71,5Ab	5,1Aa	5,1Aa	45,9Bb	94,4Aa	6,5Ab	7,0Aa
CV (%)	16,2		10,6		21,4		5,2	
Média	89,1 c		4,01 b		56,3 b		6,39 d	
	Gramínea+gramínea							
70	80,5Bb	131,1Aa	3,7Ab	3,8Aa	36,6Bb	78,5Aab	6,3Ac	6,4Ab
100	120,0Aa	124,7Aa	4,5Aa	3,6Ba	73,4Aa	62,5Ab	8,7Ab	8,8Aa
130	124,3Aa	110,0Bb	4,0Aab	3,8Aa	59,5Bab	92,4Aa	10,6Aa	8,2Ba
CV (%)	7,5		12,2		32,4		6,1	
Média	115,1 a		3,96 b		67,2 a		8,21 a	
	Gramínea+leguminosa							
70	145,2Aa	79,4Ba	3,8Aa	2,9Ba	34,4Bc	78,5Aa	6,3Ab	3,6Bb
100	116,0Ab	81,8Ba	3,7Aa	3,3Aa	119,6Aa	25,7Bb	8,5Aa	3,6Bb
130	114,5Ab	69,1Ba	3,7Aa	2,8Ba	79,7Ab	67,6Aa	6,0Ab	6,2Aa
CV (%)	10,1		18,3		23,9		6,6	
Média	101,1 b		3,41 c		67,6 a		5,74 e	
	MIX							
70	59,6Bb	99,0Aa	4,1Ab	3,6Ab	68,8Ab	60,7Ab	5,5Bc	10,3Aa
100	65,6Bb	98,2Aa	5,4Aa	4,1Bb	94,2Aa	49,8Bb	6,9Ab	5,7Bb
130	118,0Aa	45,4Bb	5,5Aa	5,2Aa	76,1Ab	85,1Aa	7,6Aa	5,3Bb
CV (%)	14,4		11,8		17,2		6,4	
Média	81,1 d		4,69 a		72,5 a		6,94 c	

O pousio (2018/2019) e G+G (2019/2020) apresentaram baixa atividade da enzima β -glicosidase (Tabela 19). Na maioria das vezes a aplicação de 130 kg ha⁻¹ de N reduziu a atividade β -glicosidase (Tabela 19). No pousio a ULC pode ser uma estratégia para atenuar a redução a β -glicosidase sob alta dose de N (130 kg ha⁻¹) (Tabela 19).

A atividade da FDA foi 50% (2018/2019) e 70% (2019/2020) maior no MIX em relação ao pousio (média das doses e fontes de N) (Tabela 19). Na safra 2018/2019 o incremento das doses de N aumentou a atividade da FDA na maioria dos tratamentos, exceto pousio adubado com ULC. Na safra 2019/2020 a FDA teve sua atividade diminuída com incremento das doses de N nos sistemas com G+L (duas fontes) (Tabela 19). As fontes de N tiveram pouco efeito sobre a atividade da FDA, mas na safra 2018/2019 no sistema com G+G esta foi maior com ureia em relação a ULC (todas as doses) (Tabela 19).

Tabela 19. Atividade das enzimas β -glicosidase e hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) no solo no pleno florescimento do algodoeiro, em sistemas de rotação de culturas com diferentes doses (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) (p<0,05). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes.

Doses de N kg ha ⁻¹	β -glicosidase mg kg ⁻¹ h ⁻¹		FDA ug FDA g ⁻¹ h ⁻¹		β -glicosidase mg kg ⁻¹ h ⁻¹		FDA ug FDA g ⁻¹ h ⁻¹	
	2018/2019				2019/2020			
Pousio								
	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC	Ureia	ULC
70	26,9Ab	26,0Aa	56,3Bb	65,6Aa	53,3Ac	32,2Bb	78,7Aa	34,1Bc
100	32,5Aa	23,4Ba	57,3Ab	64,2Aa	95,1Aa	96,1Aa	62,6Ab	51,1Ab
130	27,7Aab	25,8Aa	69,2Aa	58,8Ab	65,7Bb	95,0Aa	44,9Bc	79,7Aa
CV (%)	14,4		9,9		2,9		17,0	
Média	27,1 e		61,9 d		72,9 c		58,6 c	
Gramínea solteira								
70	35,1Aa	38,0Aa	72,8Ab	63,4Ab	83,8Ba	107,3Aa	44,4Bb	107,2Aa
100	34,7Ba	41,6Aa	81,1Ab	75,4Aa	58,3Ac	56,0Bc	66,4Aa	52,5Bb
130	34,7Ba	41,7Aa	101,4Aa	77,5Ba	65,0Ab	42,5Bb	62,1Aa	46,0Bb
CV (%)	11,1		18,0		2,5		11,8	
Média	37,7 c		78,7 b		68,9 d		63,1 c	
Gramínea+gramínea								
70	45,9Aa	45,9Ab	75,3Ab	55,4Bb	75,9Aa	50,9Bb	58,2Ab	69,1Aa
100	45,2Bab	59,8Aa	100,6Aa	67,3Bab	43,0Bb	58,5Aa	107,1Aa	60,9Aab
130	35,3Ab	36,4Ab	92,3Aa	71,6Ba	22,8Bc	50,4Ab	115,6Aa	52,4Bb
CV (%)	16,8		12,2		3,1		14,2	
Média	44,8 a		77,1 b		51,6 e		77,2 b	
Gramínea+leguminosa								
70	30,6Bb	39,6Ab	58,5Ab	49,4Ac	77,1Bb	105,5Aa	89,1Aa	109,4Aa
100	39,8Ba	44,9Aa	73,3Aa	67,3Ab	103,8Ba	76,2Ab	74,2Bb	80,3Ab
130	30,8Ab	20,7Bc	79,5Aa	79,0Aa	84,7Ab	68,2Bc	46,5Ac	49,7Ac
CV (%)	10,6		11,1		2,0		9,7	
Média	34,4 d		67,9 c		85,9 b		74,9 b	
MIX								
70	43,5Aa	50,0Aa	81,0Ab	66,1Ac	83,6Ab	34,1Bc	87,4Ab	69,5Bb
100	45,7Aa	34,8Bb	95,4Ab	87,4Ab	153,0Aa	156,3Aa	114,0Aa	110,6Aa
130	47,1Aa	30,2Bb	112,2Aa	113,7Aa	54,8Bc	102,4Ab	111,6Aa	103,0Aa
CV (%)	14,0		12,9		2,7		11,1	
Média	41,9 b		92,7 a		97,4 a		99,4 a	

9.3.3 Glomalina facilmente extraível do solo em pleno florescimento do algodoeiro

De modo geral a maior dose de N (130 kg ha⁻¹) reduziu a glomalina no solo e isso ocorreu com maior intensidade na segunda safra. Porém baixa dose de N (70 kg ha⁻¹) também limitou o teor de glomalina no solo, principalmente quando associado a

ureia e sistemas sem leguminosas (GS e G+G em 2018/2019), (pousio, GS e G+G em 2019/2020) (Figura 13).

Não houve efeito das fontes de N sobre o teor de glomalina na safra 2018/2019 em sistemas com baixo aporte de biomassa (pousio e G+L) (Figura 13 a;g). Na safra 2019/2020 baixa dose de N (70 kg ha^{-1}) no pousio ou com uma única espécie de planta de cobertura (GS) a ULC aumentou o teor de glomalina comparado a ureia em 43% e 70%, respectivamente, mas em sistemas com consórcio (G+G e G+L) e MIX, a ULC reduziu o teor de glomalina em 39%, 16% e 21%, respectivamente (Figura 13).

Considerando a média das doses e fontes de N, o pousio em 2018/2019 e o pousio e G+L (baixo aporte de biomassa) em 2019/2020 limitaram o teor de glomalina no solo (Figura 13). Na safra 2018/2019 o teor de glomalina no solo foi 91% maior com G+G em relação ao pousio. Já na safra 2019/2020 a diferença foi de 47% entre GS (maior teor) e pousio (menor teor) (Figura 13).

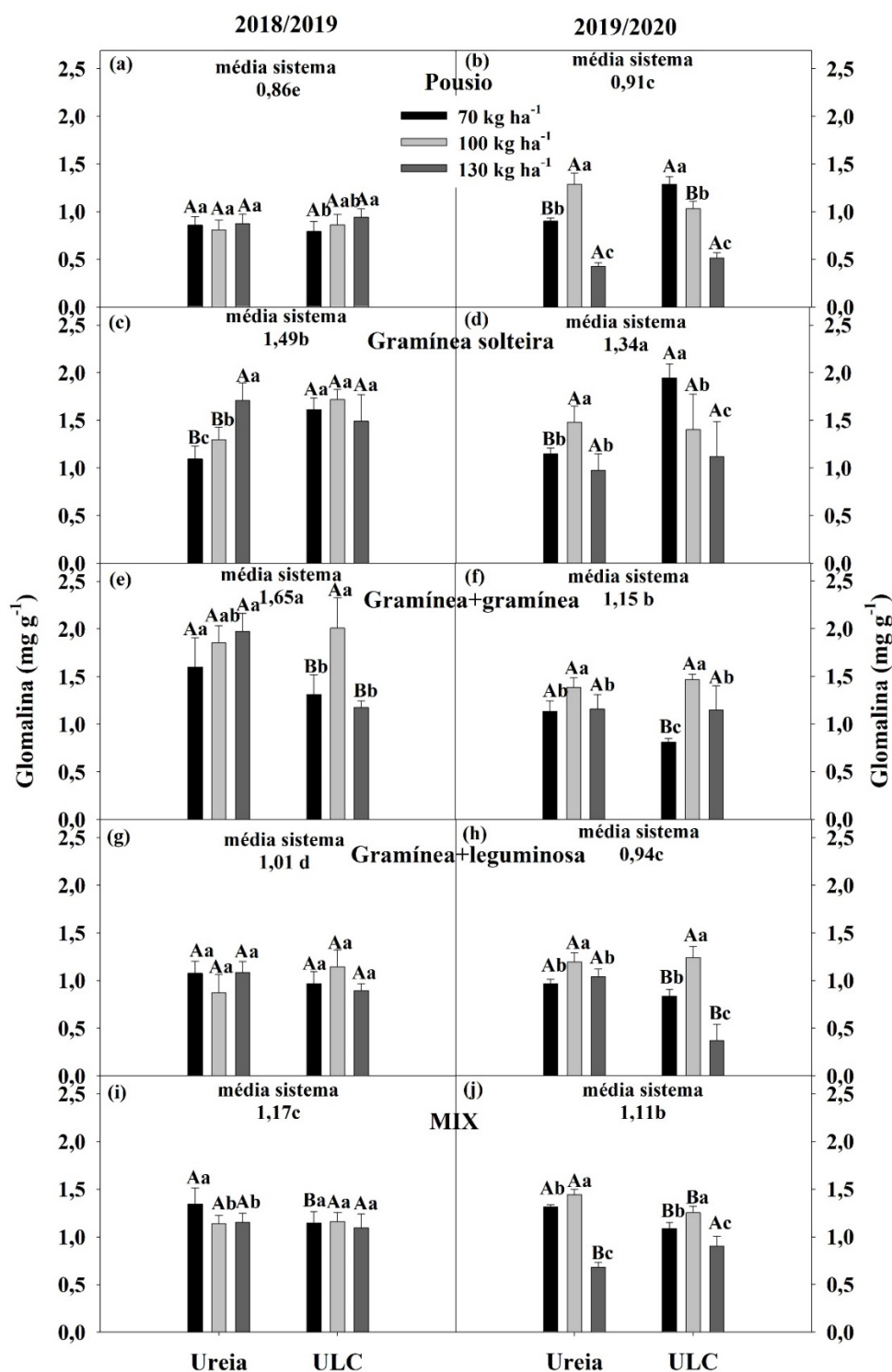


Figura 13. Glomalina facilmente extraível do solo no pleno florescimento do algodoeiro em sistemas de rotação de culturas com diferentes doses (70, 100 e 130 kg ha⁻¹) e fontes de N (ureia e ureia de liberação controlada), nas safras 2018/2019 e 2019/2020. Médias seguidas por letras iguais não se diferenciam pelo teste-t (LSD) ($p < 0,05$). Letras maiúsculas comparam as fontes de N dentro das doses e letras minúsculas comparam doses de N dentro das fontes. Barras verticais representam erro padrão da média.

9.3.4 Correlação entre parâmetros microbiológicos do solo e glomalina com a produtividade do algodoeiro

Na safra 2018/2019 (baixo potencial produtivo - até 1600 kg ha⁻¹) a produtividade de fibra do algodoeiro correlacionou-se positivamente com o NBM e a atividade das enzimas desidrogenase e FDA, já na safra 2019/2020 (alto potencial produtivo - até 2200 kg ha⁻¹) houve correlação negativa com a respiração do solo, mas as correlações foram baixas (Tabela 20).

Tabela 20. Correlação de Pearson entre produtividade de fibra do algodoeiro com o nitrogênio da biomassa microbiana, respiração do solo, glomalina e atividade das enzimas urease, desidrogenase e hidrólise de hiacetato de fluoresceína (FDA) nas duas safras (2018/2019 e 2019/2020).

NBM	Respiração	Urease	Desidrogenase	FDA	Glomalina
2018/2019					
0,43*	-0,06 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,31*	0,35*	0,12 ^{ns}
2019/2020					
0,28 ^{ns}	-0,39*	0,01 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}

O carbono da biomassa microbiana, a atividade da enzima β -glicosidase e o qCO₂ tiveram correlação com a produtividade de fibra superior a 0,5 (Figura 14). Nas duas safras o aumento dos teores de CBM e da atividade da enzima β -glicosidase foi correlacionado positivamente com a produtividade de fibra do algodoeiro (Figura 14 a-d). Por outro lado, altos qCO₂ resultaram em menor produtividade de fibra do algodoeiro (Figura 14 e;f). Dessa forma esses três parâmetros (CBM, β -glicosidase e qCO₂), podem ser importantes indicadores de qualidade do solo.

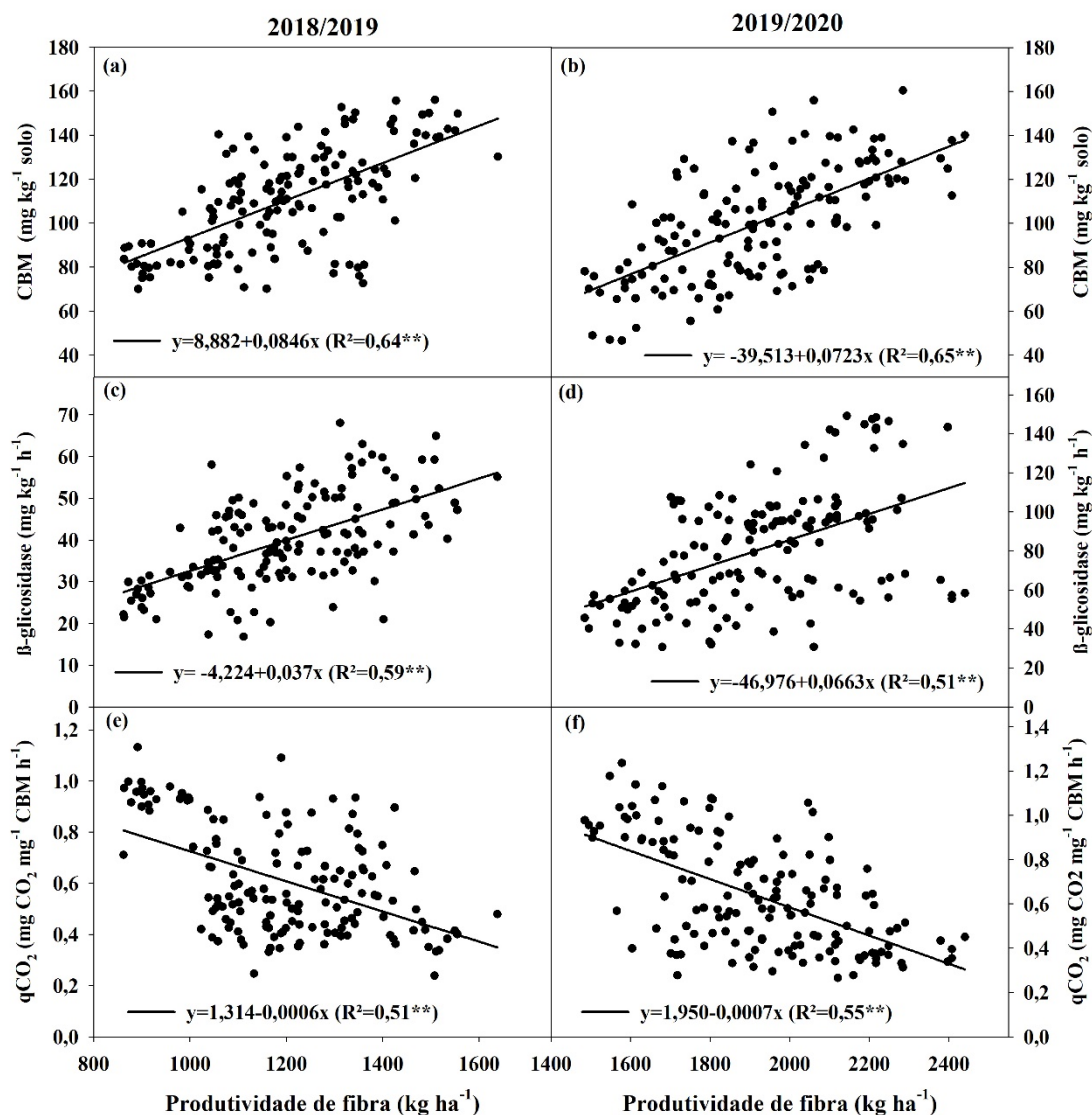


Figura 14. Correlação de Pearson entre produtividade de fibra do algodoeiro e carbono da biomassa microbiana, atividade de enzima β-glicosidase e quociente metabólico (qCO₂) nas safras 2018/2019 e 2019/2020.

9.4 Discussão

Sistemas de cultivo com plantas de cobertura com alta produção de biomassa podem promover a atividade microbiana do solo e aumentar a produtividade do algodoeiro (Figura 12). A mistura dessas espécies é estratégica para ambientes de solos arenosos, com baixo teor de matéria orgânica (PROMMER *et al.*, 2020), pois pode aliar a capacidade em incorporar carbono ao solo devido ao alto aporte de biomassa, e também aumentar os teores de N, via FBN (JENSEN *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020). O equilíbrio entre o fornecimento de carbono e nitrogênio no solo é

fundamental para evitar maiores perdas de C (LIU *et al.*, 2020) e aumento da matéria orgânica do solo (RAPHAEL *et al.*, 2016) que é uma das principais responsáveis pela melhoria da atividade microbológica do solo (MANGALASSERY *et al.*, 2015).

Antes da semeadura do algodoeiro a maior diversidade de plantas de cobertura já demonstrou ser a melhor opção para ambientes de solos arenosos, com maior CBM (Figura 12a), baixa respiração do solo (Figura 12d) e baixo qCO_2 (Figura 12e). O mesmo foi observado no pleno florescimento do algodoeiro (Tabela 16 e Tabela 17). Altos teores de CBM levam a maiores produtividades de fibra (duas safras) (Figura 14 a;b), enquanto altos qCO_2 (duas safras) (Figura 14 e;f) e respiração do solo (safra com alto potencial produtivo (2019/2020) reduzem a produtividade de fibra (Tabela 20). Altos qCO_2 e respiração do solo levam a degradação acelerada da matéria orgânica do solo e isso reflete ambientes perturbados, solos em processo de degradação que podem reduzir a produtividade das culturas a longo prazo (REY *et al.*, 2011; HU *et al.*, 2016).

Maiores teores de CBM aumentam o estoque de C no solo, melhorando a qualidade do solo e a produtividade das culturas, principalmente em ambientes com maior diversidade de espécies (PROMMER *et al.*, 2020), ou seja, o CBM é um reservatório de C em solos arenosos e a maior diversidade de plantas é uma importante estratégia para aumentar o CBM em solos arenosos (Figura 12; Tabela 15). Sistemas com predomínio de gramínea também podem ser uma boa opção, mas a longo prazo, visto que no primeiro ano (2018) o CBM foi menor nesses sistemas e o qCO_2 foi maior (Figura 12 a;e). Isso pode ser explicado pelo efeito *priming*, uma vez nos primeiros anos a fertilidade do solo era menor, com menor disponibilidade de nutrientes no solo. Nesse caso o alto aporte de carbono e a baixa entrada de N resultaram em consumo da matéria orgânica nativa do solo (LIU *et al.*, 2020), explicando o baixo CBM e alto qCO_2 . Nos primeiros anos de implantação de sistemas com MIX de plantas é a melhor opção e ao longo do tempo a diferença é menor em relação ao sistema apenas com gramíneas.

A β -glicosidase também foi maior em sistemas com maior diversidade de plantas (2019/2020) (Tabela 19) e teve alta correlação com a produtividade de fibra (Figura 14 c;d). Apesar de estudos reportarem que a biomassa microbiana e a atividade enzimática do solo terem altas correlações com a produtividade das culturas em ambientes de solos argilosos (LOPES *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2019) e que a atividade enzimática do solo seja mais vantajosa para determinar a qualidade do solo

devido a menor oscilação entre as épocas de coleta (MENDES *et al.*, 2019), observou-se no presente estudo que o CBM, $q\text{CO}_2$ e β -glicosidase são os principais indicadores de qualidade de um solo arenoso, mas ainda com necessidade de maior número de estudos, para definição dos níveis críticos, como já foi estabelecido em ambientes de produção com melhores condições edafoclimáticas (LOPES *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2019).

Nós reportamos que em ambientes de produção com solos arenosos, o ajuste das doses de nitrogênio mineral e a fonte utilizada podem afetar a atividade microbiana do solo e isso é dependente do sistema de produção. Em sistemas com baixo aporte de biomassa e uso de leguminosas, doses de N acima do recomendado ($>100 \text{ kg ha}^{-1}$) para o algodoeiro nesse ambiente reduzem o CBM (Tabela 16), a atividade da enzima desidrogenase (Tabela 18), β -glicosidase (Tabela 19) e com aumento da respiração do solo (Tabela 7), sendo esses parâmetros microbiológicos mais sensíveis a dose elevada de N. Isso pode levar a degradação da MOS de forma mais acelerada (REY *et al.*, 2011) sendo um problema principalmente em ambientes de clima tropical e solo arenoso onde o acúmulo de MOS é dificultado devido a rápida mineralização da MOS (CAMPOS *et al.*, 2020; GMACH *et al.*, 2020). Acima de 100 kg ha^{-1} de N há redução do teor de carbono da biomassa microbiana no solo (ZHOU *et al.*, 2017), similar ao que foi reportado no presente estudo (Tabela 16). Outros autores também reportaram redução entre 10 a 35% no CBM com adição de N inorgânico (RAMIREZ *et al.*, 2012; JIAN *et al.*, 2016). Ou seja, o CBM é sensível a aplicação de nitrogênio mineral, mas isso é dependente da forma de aplicação de N, doses, tipo de solo e condições climáticas (Tabela 16; JIA *et al.*, 2020).

A máxima atividade das enzimas extracelulares (β -glicosidase, peroxidase, fosfatase alcalina e urease) ocorre com aplicação entre 20 e 80 kg ha^{-1} de N (JIA *et al.*, 2020). Maiores doses de N reduzem a atividade enzimática do solo devido a acidificação do mesmo (SHEN *et al.*, 2010). Dentre as enzimas a desidrogenase parece ser a mais sensível a altas doses de N (SHEN *et al.*, 2010). Porém nas condições do presente estudo em sistemas com maior aporte de biomassa (MIX, GS e G+G) a atividade da desidrogenase aumenta com o incremento das doses de N, enquanto no pousio alta dose de N reduz a atividade dessa enzima no segundo ano (Tabela 18). Efeito similar ocorreu com a urease, mas com maior efeito das fontes de N uma vez que no primeiro ano do estudo a ULC reduziu a atividade dessa enzima sob a dose mais alta de N (130 kg ha^{-1}) (Tabela 18), possivelmente devido ao maior

acúmulo de N no solo em função das menores perdas (ZHANG *et al.*, 2018). Assim o equilíbrio da atividade enzimática do solo depende do balanço das entradas de carbono e nitrogênio nos sistemas de produção.

Plantas de cobertura e doses moderadas de N (80 kg ha⁻¹) aumentam a atividade da β -glicosidase (PIOTROWSKA; WILCZEWSKI, 2012) assim como observado no presente estudo (Tabela 19). Porém nós observamos que em sistemas com baixa entrada de carbono (pousio) a ULC pode atenuar os efeitos da redução da atividade da β -glicosidase com alta dose de N (130 kg ha⁻¹) (Tabela 19) uma vez que a liberação do N ocorre de forma gradual o que pode favorecer a atividade dessa enzima. O uso dessa fonte é uma estratégia em ambientes agrícolas com altas demandas de N, pois pode beneficiar a atividade enzimática. Estudos com ureia de liberação controlada e microbiologia do solo são raros e pouco conclusivos (LUPWAYI *et al.*, 2010), havendo necessidade de novas pesquisas.

Dentre as enzimas do solo a FDA é a mais dependente da diversidade de espécies no sistema de produção, sendo sempre maior no MIX (Tabela 19), enquanto as demais enzimas apresentaram maior atividade com G+L e G+G (desidrogenase) (Figura 12c; Tabela 18), G+G (urease (2018/2019) (Tabela 18) e G+G (β -glicosidase (2018/2019) (Tabela 19). Em alguns ambientes de produção a FDA pode ser a principal indicadora da qualidade de solo, pois tem relação com várias classes de enzimas, como proteases, lipases e esterases, além de ter resultados mais consistentes ao longo do tempo (TYLER, 2020). Nesse estudo a correlação da FDA com a produtividade do algodoeiro foi verificada apenas no primeiro ano de estudo (Tabela 20). Em ambientes de clima tropical e solos altamente intemperizados as atividades das enzimas desidrogenase, arilsulfatase e β -glicosidase parecem ser os principais indicadores da qualidade do solo (LOPES *et al.*, 2013; MELO *et al.*, 2020) assim como reportado no presente estudo para β -glicosidase (Tabela 19; Figura 14 c;d). A FDA se mostrou menos sensível a maior dose de N (130 kg ha⁻¹) na safra 2018/19, tendo redução da atividade com incremento das doses de N apenas no segundo ano em sistema com baixo aporte de biomassa e com leguminosa (G+L) (Tabela 19). O efeito cumulativo de N no solo e menor entrada de carbono reduz a atividade da FDA ao longo dos anos, como reportado por Choudhary *et al.* (2021).

Mesmo com a melhoria dos atributos microbiológicos do solo em função do uso de plantas de cobertura e ajuste das doses e fontes de N, em ambientes de solos

arenosos os teores da biomassa microbiana e a atividade enzimática são baixas em função do menor teor de matéria orgânica no solo (GALAZKA *et al.*, 2020). Em solos argilosos os teores considerados adequados são de 400 mg kg⁻¹ para o CBM, NBM até 207 mg kg⁻¹, β -glicosidase 200 mg kg⁻¹ e desidrogenase 70 ug g⁻¹ (LOPES *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2020). Os teores observados no presente trabalho, em solo arenoso, foram menores como segue: CBM (130 mg kg⁻¹), NBM (14 mg kg⁻¹), desidrogenase (8 ug g⁻¹) e β -glicosidase (97 mg kg⁻¹) (Tabela 16; 18 e 19). Em condições edafoclimáticas similares às do presente estudo também foram observados menores teores dos indicadores microbiológicos do solo (MAZZUCHELLI *et al.*, 2020). Em ambientes de solos arenosos e condições de clima tropical, naturalmente a atividade microbiana do solo é menor, sendo necessário maior número de estudos nesses ambientes com finalidade de melhorar a qualidade biológica desses solos, tornando-os mais produtivos.

Apesar da glomalina facilmente extraível do solo não apresentar correlação positiva com a produtividade de fibra (Tabela 20), as plantas de cobertura, doses e fontes de N tiveram forte influência no teor de glomalina no solo (Figura 13). Sistemas com gramíneas tiveram maior teor de glomalina (Figura 13) e isso ocorre devido ao alto volume de raízes produzidas por essas plantas (Tabela 15) uma vez que a glomalina é produzida por fungos micorrízicos (BALOTA *et al.*, 2014) que colonizam as raízes das plantas (DETHERIDGE *et al.*, 2016). Em sistemas com leguminosas e maior teor de nitrato no solo a ocorrência de fungos endofíticos é menor (DETHERIDGE *et al.*, 2016) o que pode reduzir o teor de glomalina no solo (Figura 13) devido a menor população de fungos micorrízicos. Além disso, existe uma forte relação entre glomalina e matéria orgânica do solo (STAUNTON *et al.*, 2020). Maior dose de N e baixo aporte de carbono levam a maior respiração e qCO₂ do solo (Tabela 17) o que acelera a mineralização da MOS, dificultando seu acúmulo no solo (REY *et al.*, 2011; HU *et al.*, 2016) e conseqüentemente o teor de glomalina (Figura 13).

Em solos arenosos o teor de glomalina facilmente extraível normalmente é menor, devido ao menor teor de MOS, e varia entre 1,6 e 2,4 mg g⁻¹ (GALAZKA *et al.*, 2020). Nós reportamos teores menores que 1 mg g⁻¹ em sistema sem planta de cobertura, principalmente com maiores doses de N (Figura 13 a;b) e teores superiores a 2 mg g⁻¹ em sistemas com uso exclusivo de gramíneas (GS e G+G), 70 (GS) e 100 kg ha⁻¹ (G+G) com ULC e 130 kg ha⁻¹ (G+G) com ureia (Figura 13 d;e). A glomalina do solo, ao contrário da biomassa microbiana do solo (Tabela 16) e da atividade

enzimática (Tabela 18 e 19), parece ser favorecida pelo uso de gramíneas solteiras comparado ao MIX de plantas de cobertura desde que o ajuste da dose e fonte de N seja realizado, uma vez que menores doses de N e sistemas apenas com gramíneas limitam o teor de glomalina no solo (Figura 13 c-f). Isso ocorre porque a glomalina do solo está ligada ao teor de matéria orgânica (GALAZKA *et al.*, 2020) e para o maior acúmulo do MOS no solo as entradas de C e N devem ser equilibradas (RAPHAEL *et al.*, 2016).

9.5 Conclusão

Em pré-semeadura o sistema com maior diversidade de espécies tem as melhores condições biológicas do solo para o cultivo do algodoeiro, enquanto o pousio tem as piores condições. A aplicação da dose moderada de N (100 kg ha⁻¹) resulta maior atividade microbiana do solo e teor de glomalina no solo. O uso da ureia de liberação controlada é promissor para atenuar os efeitos negativos das altas doses de N nos sistemas de produção, mas com necessidade de maior número de estudos. Carbono da biomassa microbiana, a atividade da β -glicosidase e o quociente metabólico tiveram alta correlação com a produtividade de fibra e podem ser considerados bons indicadores de qualidade do solo em ambientes de clima tropical e solo arenoso.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of Forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)

BALOTA, E. L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: A long-term study. **Agriculture, ecosystems & environment**, v.197, p.31-40, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.010>

BELL, R. W.; SENG, V. The management of agroecosystems associated with sandy soils. *In*: SYMPOSIUM ON THE MANAGEMENT OF TROPICAL SANDY SOILS, 2., 2007, Thailand. **Annals** [...]. Thailand: Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture, 2007. p. 298-304.

CAMPOS, A.; SUÁREZ, 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.

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104264>

CASIDA, G.; KLEIN, D.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil Science**, v. 98, p. 371-376, 1964.

CHOUHARY, M.; MEENA, V.S.; PANDAY, S.C.; MONDAL, T.; YADAV, R.P.; MISHA, P.K.; BISHT, J.K.; PATTANAYAK, A. Long-term effects of organic manure and inorganic fertilization on biological soil quality indicators of soybean-wheat rotation in the Indian mid-Himalaya. **Applied Soil Ecology**, v. 157, p. 103754, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103754>

DETHERIDGE, A. P.; BRAND, G.; FYCHAN, R.; CROTTY, F. V.; SANDERSON, R.; GRIFFITH, G.W.; MARLEY, C.L. The legacy effect of cover crops on soil fungal populations in a cereal rotation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 228, p. 49-61, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.04.022>

FAO. **World reference base for soil resources 2014**: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO, 2015.

FERREIRA, A. C. D. B.; BORIN, A. L. D. C.; LAMAS, F. M.; BOGIANI, J. C.; SILVA, M. A. S. D.; SILVA FILHO, J. L. D.; STAUT, L. A. Soil carbon accumulation in cotton production systems in the Brazilian Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42. p. e43039, 2020. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v42i1.43039>

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 23, p. 991-996, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000400026>

GALAZKA, A.; NIEDZWIECKI, J.; GRAZADZIEL, J.; GAWRYJOLEK, K. Evaluation of changes in glomalin-related soil proteins (GRSP) content, microbial diversity and physical properties depending on the type of soil as the important biotic determinants of soil quality. **Agronomy**, v. 10, p. 1279, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091279>

GMACH, M. R.; CHERUBIN, M. R.; KAISER, K.; CERRI, C. E. P. Processes that influence dissolved organic matter in the soil: a review. **Scientia Agricola**, v. 77, p. e20180164, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0164>

HU, N.; LI, H.; TANG, Z.; LI, Z.; LI, G.; JIANG, Y.; HU, X.; LOU, Y. Community size, activity and C: N stoichiometry of soil microorganisms following reforestation in a Karst region. **European Journal of Soil Biology**, v. 73, p. 77-83, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.01.007>

EIVAZI, F.; TABATABA, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, p. 363-367, 1972. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90141-1](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90141-1)

JENSEN, E. S.; CARLSSON, G.; HAUGGAARD-NIEELSEN, H. Henrik. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N: A global-scale analysis. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 40, p. 5-15, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>

- JOERGENSEN, R.; BROOKES, P. C. Ninhydrin-reactive nitrogen measurements of microbial biomass in 0.5 M K₂SO₄ soil extracts. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 22, p. 167-177, 1979. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90027-W](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90027-W)
- JIA, X.; ZHONG, Y.; LIU, J.; ZHU, G.; SHANGGUAN, Z.; YAN, W. Effects of nitrogen enrichment on soil microbial characteristics: From biomass to enzyme activities. **Geoderma**, v. 366, p. 114256, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114256>
- JIAN, S.; LI, J.; CHEN, J.; WANG, G.; MAYES, M.A.; DZANTOR, K. E.; HUI, D.; LUO, Y. Soil extracellular enzyme activities, soil carbon and nitrogen storage under nitrogen fertilization: A meta-analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 101, p. 32-43, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.07.003>
- LUI, X.A.; FINLEY, B.K.; MAU, R.L.; SCHAMARTS, E.; DIJKSTRA, P.; BOWKER, M.A.; HUNGATE, B.A. The soil priming effect: Consistent across ecosystems, elusive mechanisms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 140, p. 107617, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107617>
- LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. M. G.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. R.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 461-472, 2013. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0191>
- LUPWAYI, N. Z.; GRANT, C. A.; SOON, Y. K.; CLAYTON, G. W.; BITTAMAN, S.; MALHI, S. S.; ZEBARTH, B. J. Soil microbial community response to controlled-release urea fertilizer under zero tillage and conventional tillage. **Applied Soil Ecology**, v. 45, p. 254-261, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.013>
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Princípios, métodos e técnicas de avaliação do estado nutricional. Piracicaba: Potafós, 1997. p. 115-230.
- MANGALASSERY, S.; MOONEY, S. J.; SPARKES, D. L.; FRASER, W. T.; SJOGERSTEN, S. Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 68, p. 9-17, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.03.001>
- MAZZUCHELLI, R. D. C. L.; DE ARAUJO, A. S. F.; MORO, E.; DE ARAUJO, F. F. Changes in Soil Properties and Crop Yield as a Function of Early Desiccation of Pastures. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 840–848, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00169-x>
- MELO, W. J. D.; MELO, G. M. P. D.; MELO, V. P. D.; ARAUJO, A. S. F.; FERRAUDO, A. S.; BERTIPAHLIA, L. M. A. Soil microbial biomass and enzyme activity in six Brazilian oxisols under cropland and native vegetation. **Bragantia**, v. 79, p. 498-504, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200242>
- MENDES, I. C.; DE SOUSA, L. M.; DE SOUSA, D. M. G.; LOPES, A. A. C.; dos Reis JUNIOR, F. B.; LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. V. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: the FERTBIO soil sample

concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85-93, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.02.025>

NIVELLE, E.; VERZEAUX, J.; HABBIB, H.; KUZYAKOV, Y.; DECOCQ, G.; ROGER, D.; LACOUX, J.; DUCLERCQ J.; SPICHER, F.; NAVA-SAUCEDO, J. E.; CATTEROU, M.; DUBOIS, F.; TETU, T. Functional response of soil microbial communities to tillage, cover crops and nitrogen fertilization. **Applied Soil Ecology**, v. 108, p. 147-155, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.08.004>

PIOTROWSKA, A.; WILCZEWSKI, E. Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical properties. **Geoderma**, v. 189, p. 72-80, 2012.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.04.018>

PROMER, J.; WALKER, T. W.; WANEK, W.; BRAUN, J.; ZEZULA, D.; HU, Y.; HOFHANSL, F.; RICHTER, A. Increased microbial growth, biomass, and turnover drive soil organic carbon accumulation at higher plant diversity. **Global change biology**, v. 2, p. 669-681, 2020. <https://doi.org/10.1111/gcb.14777>

RAMIREZ, K. S.; CRAINE, J. M.; FIERER, N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. **Global change biology**, v. 6, p. 1918-1927, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02639.x>

RAPHAEL, J.P.; CALONEGO, J.C.; MILORI, D.M.B.; ROSOLEM, C.A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 45-53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020>

REY, A.; PEGORARO, E.; OYONARTE, C.; WERE, A.; ESCRIBANO, P.; RAIMUNDO, J. Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 2, p. 393-403, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.007>

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibrations for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil biology and Biochemistry**, v. 31, p. 2059-2060, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00046-2)

SAUVADET, M.; LASHERMES, G.; ALAVOINE, G.; RECOUNS, S.; CHAUVAT, M.; MARON, P.; BERTRAND, I. High carbon use efficiency and low priming effect promote soil C stabilization under reduced tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 123, p. 64-73, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.04.026>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; AANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.

SCHURER, J.; ROSSAWALL. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied Environmental Microbiology**, v. 43, p. 1256-1261, 1982. <https://doi.org/10.1128/AEM.43.6.1256.1261.1982>

SHEN, W.; LIN, X.; SHI, W.; MIN, J.; GAO, N.; ZHANG, H.; YIN, R.; HE, X. Higher rates of nitrogen fertilization decrease soil enzyme activities, microbial functional diversity and nitrification capacity in a Chinese polytunnel greenhouse vegetable

land. **Plant and soil**, v. 337, p. 137-150, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0511-2>

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992. <https://doi.org/10.1071/SR9920195>

SILVA, P. C. G.; TIRITAN, C. S.; ECHER, F. R.; CORDEIRO, C. F. S.; REBONATTI, M. D.; SANTOS, C. H. No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258. p. 107947, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107947>

SINGH, G.; BHATTACHARYYA, R.; DAS, T. K.; SHARMA, A. R.; GHOSH, A.; DAS, S.; JHA, P. Crop rotation and residue management effects on soil enzyme activities, glomalin and aggregate stability under zero tillage in the Indo-Gangetic Plains. **Soil and Tillage Research**, v. 184, p. 291-300, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.006>

STAUNTON, S.; SABY, N. P.; ARROUAYS, D.; QUIQUAMPOIX, H. Can soil properties and land use explain glomalin-related soil protein (GRSP) accumulation? A nationwide survey in France. **CATENA**, v. 193, p. 104620, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104620>

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Assay of urease activity in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 4, p. 479-487, 1972. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(72\)90064-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(72)90064-8)

TANG, J.; BAVY, A. J.; JIANG, D.; MUSA, A.; WU, D.; WANG, Y.; MIAO, C. Effects of excluding grazing on the vegetation and soils of degraded sparse-elm grassland in the Horqin Sandy Land, China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 235, p. 340-348, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.11.005>

TYLER, H. L. Winter cover crops and no till management enhance enzyme activities in soybean field soils. **Pedobiologia**, v. 81, p.150666, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2020.150666>

USOWICZ, B.; LIPIEC, J. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 241-250, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.015>

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, p. 1-2, 1996.

YANG, X.; GENG, J.; HUO, X.; LEI, S.; LANG, Y.; LI, H.; LIU, Q. Effects of different nitrogen fertilizer types and rates on cotton leaf senescence, yield and soil inorganic nitrogen. **Archives of Agronomy and Soil Science**, 2020. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1799983>

ZHANG, S.; SHEN, T.; YANG, Y.; LI, Y. C.; WAN, Y.; ZHANG, M.; TANG, T.; 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. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.010>

ZHOU, Z.; WANG, C.; ZHENG, M.; JIANG, L.; LUO, Y. Patterns and mechanisms of responses by soil microbial communities to nitrogen addition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 115, p. 433-441, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.015>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas que permanecem em pousio na entressafra aumentam a demanda por fertilizante nitrogenado, reduzem a atividade microbológica do solo, estoque de nitrogênio, produtividade do algodoeiro com maiores perdas de N por lixiviação. Entre os sistemas com planta de cobertura o MIX de plantas é a melhor opção, principalmente no primeiro ano. Doses de nitrogênio maior que o recomendado para o algodoeiro reduz a produtividade, qualidade de fibra e precocidade do algodoeiro, principalmente em sistemas com plantas de cobertura. O uso de ureia de liberação controlada aumenta o estoque de nitrogênio no solo e reduz a lixiviação de nitrogênio inorgânico, principalmente quando aplicada em sistemas com plantas de cobertura, reduzindo a demanda por fertilizante nitrogenado. O carbono da biomassa microbiana, enzima β -glicosidase e qCO_2 são os principais indicadores de qualidade de um solo arenoso.

Em ambientes de solos arenosos nós recomendamos o uso de plantas de cobertura com alto aporte de biomassa em mistura com leguminosas e ureia de liberação controlada, sem necessidade de aumentar a dose de N, o que melhora a qualidade microbológica do solo, aumenta o estoque de nitrogênio no solo, pela redução das perdas por lixiviação, favorecendo a nutrição, a melhor distribuição da produção na planta, a produtividade aliada a precocidade e a qualidade da fibra do algodoeiro.

REFERÊNCIAS

ACCOE, F.; BOECKX.; BUSSCHAERT, J.; HOFMAN, G.; VAN CLEEMPUT, O. Gross N transformation rates and net N mineralization rates related to the C and N contents of soil organic matter fractions in grassland soils of different age. **Soil Biology Biochemistry**, v. 36, p. 2075–2087, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.06.006>

Associação Paulista dos Produtores de Algodão (APPA). **Estatística safra 2015/2016**. Paranapanema, SP: APPA, 2018. Disponível em: <http://www.appasp.com.br>. Acesso em: 01 out. 2018.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Levantamento de safra 2018. Brasília, DF: CONAB, 2018. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_03_13_14_15_33_grao_marco_2018.pdf. Acesso em: 01 out. 2018.

BONILLA, D. P.; NOLOT, J. M.; PASSOT, S.; RAFFAILLAC, D.; JUSTES, E. Grain legume-based rotations managed under conventional tillage need cover crops to mitigate soil organic matter losses. **Soil & Tillage Research**, v. 156, p. 33-43, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.021>

BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, A. C. B.; SOFIATTI, V.; CARVALHO, M. C. S.; MORAES, M. C. G. Produtividade do algodoeiro adensado em segunda safra em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ceres**, v. 64, p. 622-630, 2017. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764060009>

BORIN, A. L. D. C. Algodão no Brasil: mudanças, associativismo e crescimento. *In*: Freire, E. C. **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília, DF: ABRAPA, 2015. p. 485 – 527.

BRENNAN, J.; HACKETT, R.; McCABE, T.; GRANT, J.; FORTUNE, R. A.; FORRISTAL, P. D. The effect of tillage system and residue management on grain yield and nitrogen use efficiency in winter wheat in a cool Atlantic climate. **European Journal Agronomy**, v. 54, p. 61–69, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.009>

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro. *In*: FREIRE, E. **Algodão no Cerrado do Brasil**. Brasília, ABRAPA, 2007. p. 581-647.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Phosphorus and potassium balance in a corn-soybean rotation under no-till and chiselind. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 96, p. 123-131, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10705-013-9581-x>

CALONEGO, J.C.; RAPHAEL, J.P.A.; RIGON, J.P.G.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C.A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>

CHEN, J.; ZHANG, Y.; TAN, Y.; ZHANG, M.; ZHU, L.; XU, G.; FAN, X. Agronomic nitrogen-use efficiency of rice can be increased by driving *OsNRT2.1* expression with the *OsNAR2.1* promoter. **Plant Biotechnology Journal**, v. 14, p.1705–1715, 2016. <https://doi.org/10.1111/pbi.12531>

CHEN, W. P.; HOU, Z. N.; WU, L. S.; LIANG, Y. C.; WEI, C. Z. Effect of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment. **Plant and Soil**, v. 326, p. 61–73, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9881-0>

CHIAVEGATO, E. J.; SALVATIERRA, D. K.; GOTTARDO, L. C. B. **Agrometeorologia dos cultivos**: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009.

DAI, J.; LI, W.; ZHANG, D.; TANG, W.; LI, Z.; LU, Z.; KONG, X.; LUO, Z.; XU, S.; XIN, C.; DONG, H. Competitive yield and economic benefits of cotton achieved through a combination of extensive pruning and a reduced nitrogen rate at high plant density. **Field Crops Research**, v. 209, p. 65-72, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.010>

DENG, Q.; CHENG, X.; HUI, D.; ZHANG, Q.; LI, M.; ZHANG, Q. Soil microbial Community and its interaction with soil carbon and nitrogen dynamics following afforestation in central China. **Science of the Total Environment**, v. 541, p. 230-237, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.080>

DONG, H. Z.; LI, W. J.; ENEJI, A. E.; ZHANG, D. M. Nitrogen rate and plant density effects on yield and late-season leaf senescence of cotton raised on a saline field. **Field Crops Research**, v. 126, p. 137–144, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.10.005>

ECHER, F. R.; CASTRO, G. S. A.; BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. Crescimento inicial e absorção de nutrientes pelo algodoeiro cultivado sobre palhada de *Brachiaria ruziziensis*. **Planta Daninha**, v. 30, p. 783-790, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-83582012000400012>

FAGERIA, N. K., BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97–185, 2005.

FERRARI, S.; FURLANI, E. J.; GODOY, L. J. G.; FERRARI, J. V.; SOUZA, W. J. O.; ALVES. Effects on soil chemical attributes and cotton yield from ammonium sulfate and cover crops. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, p. 75-83, 2015. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v37i1.17972>

FRITSCHI, F. B.; ROBERTS, B. A.; TRAVIS, R. L.; RAINS, D. W.; HUTMACHER, R. B. Response of irrigated Acala and Pima cotton to nitrogen fertilization: Growth, dry matter partitioning, and yield. **Agronomy Journal**, v. 95, p.133-146, 2003. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2003.0133>

GABRIEL, J. L.; ALONSO-AYUSO, M.; GARCÍA-GONZÁLES, I.; HONTORIA, C.; QUEMEDA, M. Nitrogen use efficiency and fertilizer fate in a long-term experiment

with winter cover crops. **European Journal of Agronomy**, v. 79, p. 14-22, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.04.015>

LAMAS, F. M.; FERREIRA, A. C. B.; DE LA TORRE, E. J. R.; STAUT, L. A. Sistema plantio direto e convencional: efeito na produtividade de fibra de três cultivares de algodoeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 3, p. 34-40, 2016.

LI, W.; YAN, M.; HU, B.; PRIYADARSHANI, S. V. G. N.; HOU, Z.; OJOLO, S. P.; XIONG, J.; ZHAO, H.; QIN, Y. Characterization and expression analysis of nitrate transporter (NRT) gene family in Pineapple. **Tropical Plant Biology**, v. 2 p. 1-15, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12042-018-9209-z>

LUO, Z.; LIU, H.; LI, W.; ZHA, Q.; DAI, J.; TIAN, L.; DONG, H. Effects of reduced nitrogen rate on cotton yield and nitrogen use efficiency as mediated by application mode or plant density. **Field Crops Research**, v. 218, p. 150-157, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.003>

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis? *In*: BRUIJN, F. (ed). **Biological nitrogen fixation**. EUA: Wiley-Blackwell, 2014.

HUGGINS, D. R.; PAN, W. L. Nitrogen efficiency component analysis: An evaluation of cropping system differences in productivity. **Agronomy journal**, v. 85, p. 898, 1993. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040022x>

JIA, S.; WANG, Z.; LI, X.; SUN, Y.; ZHANG, X.; LIANG, A. N fertilization affects on soil respiration, microbial biomass and root respiration in Larix gmelinni and Fraxinus mandshurica plantations in China. **Plant and Soil**, v. 333, p. 325-336, 2010.
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0348-8>

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.
<https://doi.org/10.1080/00103621003592333>

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, p. 55-62, 2015.
<https://doi.org/10.2489/jswc.70.3.55A>

LÓPEZ-BELLIDO, R. J.; LÓPEZ-BELLIDO, L. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: Effect of tillage, crop rotation and N fertilization. **Field Crop Research**, v. 71, p. 31-46, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00146-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00146-0)

MACHADO, S.; PETRIE, S.; RHINHART, K.; QUI, A. Long-term continuous cropping in the Pacific Northwest: Tillage and Fertilizer effects on winter wheat, spring wheat, and spring barley production. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p. 473-481, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.09.007>

MORO, E.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de

nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 424-435, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400003>

NACRY, P.; BOUGUYON, E.; GOJON, A. Nitrogen acquisition by roots: physiological and developmental mechanisms ensuring plant adaptation to a fluctuating resource. **Plant and Soil**, v. 370, p. 1–29, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1645-9>

NANNIPIERI, P.; ELDOR, P. The chemical and functional characterization of soil N and its biotic components. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, p. 2357–2369, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.07.013>

NIVELLE, E.; VERZEAUX, J.; HABBIB, H.; KUZYAKOV, Y.; DECOCQ, G.; ROGER, D.; LACOUX, J.; DUCLERCQ, J.; SPICHER, F.; SAUCEDO, J.E.N.; CATTEROU, M.; DUBOIS, F.; TETU, T. Functional response of soil microbial communities to tillage, cover crops and nitrogen fertilization. **Applied Soil Ecology**, v. 108, p. 147-155, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.08.004>

PULLICINO, D.S.; CUCU, M.A.; SODANO, M.; BIRK, J.J.; CLASER, B.; CELI, L. Nitrogen immobilization in paddy soils as affected by redox conditions and rice straw incorporation. **Geoderma**, v. 228-229, p. 44-53, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.020>

RAPHAEL, J. P. A.; CALONEGO, J. C.; MILORI, D. M. B. P.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 45-53, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020>

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

ROBERTS, B. A.; FRITSCHI, F. B.; HORWATH, W. R.; BARDHAN, S. Nitrogen mineralization potencial as influenced by microbial biomass, cotton residues and temperature. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, p. 311-324, 2015. <https://doi.org/doi.org/10.1080/01904167.2013.868486>

ROCHESTER, I.J. Nutrient uptake and export from an Australian cotton field. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 77; p. 213-223, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9058-2>

ROLLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 233, p. 167-177, 2001. <https://doi.org/10.1023/A:1010364221169>

SAHA, B, K.; ROSE, M. T.; WONG, V. N. L.; CAVAGNARO, T .R.; PATTI, A. F.; Nitrogen dynamics in soil fertilized with slow-release brown coal-urea fertilizers. **Scientific Reports**, v. 8, p. 14577, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32787-3>

SOUZA, L. H.; MATOS, E. S.; MAGALHÃES, C. A. S., DE LA TORRE, E. R., LAMAS, F. M., LAL, R. Soil carbon and nitrogen stocks and physical properties under no-till and conventional tillage cotton-based systems in the Brazilian. **Land Degradation & Development**, v. 29, p. 3405-3412, 2018

<https://doi.org/10.1002/ldr.3105>

TEIXEIRA, Z.; TEIXEIRA, H.; MARQUES, J. C. Systematic processes of land use/land cover change to identify relevant driving forces: implications on water quality. **Science of the total Environment**, v. 471, p. 1320–1335, 2014.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.098>

VARGAS, L. K.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S. Imobilização do nitrogênio em solo cultivado com milho em sucessão á aveia preta nos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v.35, p. 76-83, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782005000100012>.

VAUGHAN, J. D.; HOYT, G. D.; WOLLUM, A. G. Cover crop nitrogen availability to conventional and no-till corn: Soil mineral nitrogen, corn nitrogen status, and corn yield. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, v. 31, p. 1017-1041, 2000.

<https://doi.org/10.1080/00103620009370495>

WANG, Z.; WANG, Z.; MA, L. J.; KHATTAK, W. A.; HU, W.; MENG, Y. L.; ZHOU, Z. G. Combined effects of nitrogen fertilizar and straw application on aggregate distribution and aggregate-associated organic carbono stability in na alkaline Sandy loam soil. **European Journal Soil Science**, v. 69, n. 6, 2018.

<https://doi.org/10.1111/ejss.12723>

WANG, W. H.; KOHLER, B.; CAO, F. Q.; LIU, G. W.; GONG, Y.Y.; SHENG, S. Rice DUR3 mediates high-affinity urea transport and plays an effective role in improvement of urea acquisition and utilization when expressed in Arabidopsis. **New Phytologist**, v. 193, p. 432–444, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03929.x>

WITTEWER, R. A.; DORN, B.; JOSSI, W.; HEIJDEN, M.G.A. Cover crops support ecological intensification of arable cropping systems. **Scientific Reports**, v. 7, p. 41911, 2017. <https://doi.org/10.1038/srep41911>

WU, Q. S.; Cao, M.Q.; ZOU, Y.N.; HE, X.H. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliolate orange. **Scientific Reports**, v. 4, p. 4287, 2014. <http://dx.doi.org/10.1038/srep05823>

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.

<http://dx.doi.org/10.1038/srep39030>

ZAMAN, M.; CAMERON, K.C.; DI, H.J.; INUBUSHI, K. Changes in mineral N, microbial biomass and enzyme activities in diferente soil depths after surface applicationsof dairy shed effluent and chemical fertilizer. **Nutrient Cycling in**

Agroecosystems, v. 63, p. 275-290, 2002.

<https://doi.org/10.1023/A:1021167211955>

ZAGO, L.M.S.; MOREIRA, A.K.O.; SILVA, C.M.; NABOUT, J.C.; FERREIRA, M.E.; CARAMORI, S.C. Biochemical activity in Brazilian Cerrado soils is differentially affected by perennial and annual crops. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, p. 235-242, 2018. <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.02.pne716>

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.

<https://doi.org/10.1080/01904160009382026>

ZHANG, J.; TANG, X.; HE, X.; LIU, J. Glomalin-related soil protein responses to elevated CO₂ and nitrogen addition in a subtropical forest: Potential consequences for soil carbon accumulation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 83, p. 142-149, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.023>

ZEBARTH, B. J.; DRURY, C.F.; TREMBLAY, N.; CAMBOURIS, A.N. Opportunities for improved fertilizer nitrogen management in production of arable crops in eastern Canada: a review. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 89, p. 113–132,

2009. <https://doi.org/10.4141/CJSS07102>