



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO AGROENERGIA

TALITA MAIA FREIRE

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA EM LATOSSOLOS AMARELOS
DISTRÓFICOS E PLINTOSSOLOS PÉTRICOS CONCRECIONÁRIOS**

Palmas (TO)

2023

TALITA MAIA FREIRE

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA EM LATOSSOLOS AMARELOS
DISTRÓFICOS E PLINTOSSOLOS PÉTRICOS CONCRECIONÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Dr. Anderson Barbosa Evaristo

Co-orientadora: Dr^a. Michele Ribeiro Ramos

Palmas (TO)

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- M217d Maia Freire, Talita.
Desempenho de cultivares de soja em Latossolos Amarelos distróficos e Plintossolos Pétricos concrecionários. / Talita Maia Freire. – Palmas, TO, 2023.
102 f.
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2023.
Orientador: Anderson Barbosa Evaristo
Coorientadora : Michele Ribeiro Ramos
1. Cultivares de soja. 2. Culturas energéticas. 3. Produtividade. 4. Classes de solos. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

TALITA MAIA FREIRE

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA EM LATOSSOLOS AMARELOS
DISTRÓFICOS E PLINTOSSOLOS PÉTRICOS CONCRECIONÁRIOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia da Universidade Federal do Tocantins, foi avaliada para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia, e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca examinadora.

Data de Aprovação 26/05/2023

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

ANDERSON BARBOSA EVARISTO

Data: 12/08/2023 20:48:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Anderson Barbosa Evaristo, Orientador, UFT/PPGA



Documento assinado digitalmente

MICHELE RIBEIRO RAMOS

Data: 13/08/2023 15:15:57-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Michele Ribeiro Ramos, Co-orientadora, UFT/PPGA



Documento assinado digitalmente

CARLOS JULIANO BRANT ALBUQUERQUE

Data: 14/08/2023 10:11:48-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Carlos Juliano Brant Albuquerque, Examinador, UFT/PPGA



Documento assinado digitalmente

ARAINA HULMANN BATISTA

Data: 12/06/2023 08:33:06-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr^a. Araína Hulmann Batista, Examinadora, UFU

AGRADECIMENTOS

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

Aos meus pais, por me incentivarem e apoiarem em todos os momentos, essa conquista também é de vocês.

A Universidade Federal do Tocantins, pela oportunidade da realização do Curso.

Ao Prof. Dr. Anderson Barbosa Evaristo, por toda paciência em ter me orientado. Sou grata pelos ensinamentos que foram fundamentais para o resultado desse projeto.

A Prof. Dr^a. Michele Ribeiro Ramos, quero lhe agradecer pelo apoio, orientação, paciência e conhecimento, que fizeram desta, uma experiência inspiradora para mim. É um grande privilégio poder tê-la presente em mais uma etapa da vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Danilo Marcelo Aires dos Santos, sem sua assistência e envolvimento dedicado, muitas etapas desse processo nunca teriam sido realizadas.

Ao Grupo Vink, na pessoa de Gustavo Marquardt, gostaria de agradecer imensamente pelo espaço cedido e por tudo que fez, sua ajuda foi muito importante.

A Embrapa Pesca e Aquicultura e a Universidade Estadual do Tocantins, que estiveram presentes ao longo de todo meu percurso, por isso agradeço os recursos e o apoio que sempre me ofereceram.

E a todas as pessoas que participaram na elaboração deste trabalho, em especial: Dr. Alexandre Uhlmann, Claudineide Maia, Wynghler Marrie, Samila Crystielle, Gabriel Oliveira, Cássio Bispo, Marcos Bezerra, Beatriz Rocha, Gabriel Castro, Karoline Almeida, Marcia Cristina, Elian Pereira e Nayara Monteiro.

RESUMO

No Brasil, a soja é destaque por ser cultivada em todo o território nacional. No Tocantins, os Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos são as classes de solos predominantes, sendo que a última apresenta fortes limitações ao uso de máquinas, principalmente devido à quantidade excessiva de cascalho, apesar dessa característica indesejável, o cultivo não é um obstáculo. Porém há escassez de estudos e informações consolidadas referente as recomendações e ao manejo nesse solo. Dessa forma, objetiva-se avaliar o desempenho agrônômico da soja e identificar possíveis associações com os atributos dos solos. A pesquisa foi conduzida em Porto Nacional em sistema de plantio direto em sequeiro na safra 2020/21, sendo instalado em delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos (cultivares de soja) e quatro repetições em duas áreas distintas: Plintossolos Pétricos concrecionários (FFc) e Latossolos Amarelos distróficos (Lad). O manejo foi realizado de acordo com a fazenda, a colheita foi realizada quando a soja atingiu maturação plena. Os dados foram analisados por métodos de estatística descritiva, análise de variância e análises multivariada pelo método de análises de componentes principais (PCA). A cultivar 81I81RSF foi destaque nos caracteres morfométricos e apresentou uma excelente produtividade. O cultivar NS7901 apresentou bons resultados dos caracteres produtivos (números de hastes, número de vagens, população final de plantas e produtividade). Os cultivares 8473RSF, 81I81RSF e NS7901 obtiveram bom teor de óleo. Os atributos químicos e granulométricos dos solos revelaram que ambas as classes de solos são argilosas, o FFc tem as maiores concentrações de nutrientes e o Lad é mais ácido, com isso os caracteres químicos diferenciam os solos estudados. Os físico-hídricos revelaram que o Plintossolo apresentou menor umidade durante o ciclo da soja e os solos têm comportamento idênticos em relação aos atributos biológicos. Desse modo, conclui-se que os caracteres da soja não foram afetados pelas classes de solos, mas sim pelas cultivares. Os teores dos nutrientes nos tecidos foliares sofreram interferência de ambos os fatores. É importante ressaltar que os solos são distintos, porém isso não afetou a produtividade de grãos quando as condições climáticas são análogas. Os atributos químicos expõem que os solos são diferentes. Enquanto os físico-hídricos apontam que o Latossolo apresenta maior conteúdo de água disponível e maior umidade gravimétrica durante a safra. Os atributos biológicos demonstram equilíbrio da comunidade microbiana com manejo adotado nos diferentes solos.

Palavras-Chave: Classes de solos. Cultura energética. *Glycine max*. Produtividade.

ABSTRACT

In Brazil, soy stands out for being cultivated throughout the national territory. In Tocantins, Oxisols, Neosols Quartzarenics and Plinthosols are the predominant soil classes, with the latter presenting strong limitations to the use of machines, mainly due to the excessive amount of gravel, despite this undesirable characteristic, cultivation is not an obstacle. However, there is a shortage of studies and consolidated information regarding recommendations and management in this soil. Thus, the objective is to evaluate the agronomic performance of soybeans and identify possible associations with soil attributes. The research was carried out in Porto Nacional in a rainfed no-tillage system in the 2020/21 season, being installed in a randomized block design with four treatments (soybean cultivars) and four replications in two different areas: concretionary Petric Plinthosols (FFc) and Dystrophic Yellow Oxisols (Lad). The management was carried out according to the farm, the harvest was carried out when the soybean reached full maturity. Data were analyzed using descriptive statistics, analysis of variance and multivariate analysis using the principal component analysis (PCA) method. Cultivar 81I81RSF was highlighted in morphometric characters and showed excellent productivity. Cultivar NS7901 showed good results for productive traits (number of stems, number of pods, final plant population and productivity). Cultivars 8473RSF, 81I81RSF and NS7901 had good oil content. The chemical and granulometric attributes of the soils revealed that both soil classes are clayey, the FFc has the highest concentrations of nutrients and the Lad is more acidic, with that the chemical characters differentiate the studied soils. The physico-hydric ones revealed that the Plinthosol presented lower humidity during the soybean cycle and the soils have identical behavior in relation to the biological attributes. Thus, it is concluded that soybean traits were not affected by soil classes, but by cultivars. Nutrient contents in leaf tissues suffered interference from both factors. It is important to emphasize that the soils are different, but this did not affect the grain yield when the climatic conditions are similar. The chemical attributes show that the soils are different. While the physical-hydric ones point out that the Oxisol has a higher available water content and higher gravimetric humidity during the harvest. Biological attributes demonstrate balance of the microbial community with management adopted in different soils.

Keywords: Soil classes. Energy culture. *Glycine max*. Productivity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Precipitações e temperaturas na área de estudo durante a safra 2020/21	31
Figura 2 - Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes classes de solos	43
Figura 3 - Diagrama de ordenação (<i>biplot</i>) resumizando os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares em diferentes cultivares de soja contidos na matriz <i>Y</i>	45
Figura 4 - Diagrama de ordenação (<i>biplot</i>) resumizando os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes classes de solos contidos na matriz <i>Y</i>	46
Figura 5 - Eficiência do uso da água e a biomassa seca da parte aérea em diferentes classes de solos	47
Figura 6 - Número de vagens por m ² em diferentes cultivares de soja e diferentes classes de solos	48
Figura 7 - Parâmetros de qualidade dos grãos de soja em diferentes cultivares	49
Figura 8 - Relação da <i>Cla/b</i> em diferentes cultivares de soja	49
Figura 9 - Diagrama de ordenação (<i>biplot</i>) resumizando os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja em diferentes cultivares contidos na matriz <i>Y</i>	52
Figura 10 - Diagrama de ordenação (<i>biplot</i>) resumizando os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja em diferentes classes de solos contidos na matriz <i>Y</i>	53
Figura 11 - Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico típico A fraco, textura argilosa	74
Figura 12 - Latossolo Amarelo distrófico plintossólico A fraco, textura argilo arenosa	74
Figura 13 - Diagrama de ordenação (<i>biplot</i>) resumizando os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores químicos e granulométricos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) em diferentes classes de solos contidos na matriz <i>Y</i>	84
Figura 14 - Frações do solo (calhau, cascalho e terra fina) no Plintossolo Pétrico concrecionário	85
Figura 15 - Frações do solo (calhau, cascalho e terra fina) no Latossolo Amarelo distrófico ...	86
Figura 16 - Umidade gravimétrica do Plintossolo Pétrico concrecionário durante a safra 2020/21	86

Figura 17 - Umidade gravimétrica do Latossolo Amarelo distrófico durante a safra 2020/21.....	87
Figura 18 - Curva de retenção de água em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm, ajustada pelo modelo de Van Genuchten	88
Figura 19 - Ponto de murcha permanente em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm	89
Figura 20 - Capacidade de campo em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm	89
Figura 21 - Água disponível em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm	90
Figura 22 - Atributos biológicos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) em diferentes classes de solo	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos e granulométricos de diferentes classes de solos na camada superficial 0 - 20 cm	32
Tabela 2 - Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes cultivares e diferentes classes de solos	42
Tabela 3 - Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes cultivares	43
Tabela 4 - Autovalores (I), percentual de variância explicada em cada autovetor e percentual cumulativo da variância explicada pelos autovetores selecionados pelo critério de Kaiser, extraídos a partir de uma matriz de correlação R entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja contidas na matriz Y	44
Tabela 5 - Correlações entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação R . Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser	44
Tabela 6 - Parâmetros morfométricos em diferentes cultivares de soja	47
Tabela 7 - Componentes de rendimento da soja em diferentes cultivares de soja	48
Tabela 8 - Autovalores (I), percentual de variância explicada em cada autovetor e percentual cumulativo da variância explicada pelos autovetores selecionados pelo critério de Kaiser, extraídos a partir de uma matriz de correlação R entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja contidas na matriz Y	50
Tabela 9 - Correlações entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação R . Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser	50
Tabela 10 - Atributos químicos e granulométricos de diferentes classes de solos na camada superficial 0 - 20 cm	75
Tabela 11 - Autovalores (I), percentual de variância explicada em cada autovetor e percentual cumulativo da variância explicada pelos autovetores selecionados pelo critério de Kaiser, extraídos a partir de uma matriz de correlação R entre os descritores químicos e granulométricos na camada superficial (0 - 20 cm)	83
Tabela 12 - Correlações entre os descritores químicos e granulométricos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de	

correlação R . Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser	83
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>et al.</i>	Autoria com mais de três pessoas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
MATOPIBA	Fronteira agrícola composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.
TO	Tocantins
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MT	Mato Grosso
PD	Plantio direto
Aw	Clima de savana
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
<i>sp.</i>	Espécie
FFc	Plintossolos Pétricos concrecionários
Lad	Latossolos Amarelos distróficos
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
DBC	Delineamento em blocos casualizados
RSF	Rendimentos sem fronteiras
RR	<i>Roundup ready</i>
GMR	Grau de maturação relativa
I PRO	Soja Intacta
NS	Soja Nidera
UFC	Unidade formadora de colônias
N	Nitrogênio
P	Fósforo
KCl	Cloreto de potássio
K ou K ⁺	Potássio
Cl	Cloro
sem/m	Sementes por metro
R8	Maturação plena
DAE	Dias após a emergência
R2	Florescimento pleno

Mesh	Malha
Ca ou Ca ²⁺	Cálcio
Mg ou Mg ²⁺	Magnésio
S	Enxofre
B	Boro
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Zn	Zinco
R5	Início do enchimento dos grãos
IRGA	<i>Infra Red Gas Analyser</i>
E	Taxa de transpiração
mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹	Milimol de água por metro quadrado por segundo
A	Taxa de fotossíntese
μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	Micromol de gás carbônico por metro quadrado por segundo
EUA	Eficiência do uso da água
mmol CO ₂ mol ⁻¹ H ₂ O	Milimol de gás carbônico por mol de água
μmolm ⁻² s ⁻¹	Micromol por metro quadrado por segundo
<i>Cl_a</i>	Clorofila A
<i>Cl_b</i>	Clorofila B
<i>Cl_{a/b}</i>	Relação das clorofilas A/B
Caro	Carotenoides
R6	Pleno enchimento de grãos
DMSO	Dimetilsulfóxido
nm	Nanômetro
A	Absorbância
mg/gMs	Miligrama por grama de massa seca
ALT	Altura da planta
DH	Diâmetro do hipocótilo
AIV	Altura da inserção da primeira vagem
NN	Número de nós
BPA	Biomassa seca da parte aérea
RMF	Razão de massa de folha

AFE	Área foliar específica
MSF	Massa seca foliar
cm ² /g	Centímetros ao quadrado por grama
NV	Número de vagens por planta
NGV	Número de grãos por vagem
NH	Número de hastes
NVM	Número de vagens por m ²
POP	População Final de Plantas
MMG	Massa de mil grãos
PROD	Produtividade
RAS	Regras de Análise de Sementes
NIR	Refletância do infravermelho próximo
ANOVA	Análise de variância
PCA	Análise de componentes principais
<i>p</i>	Descritores originais
<i>l</i>	Autovalores
Cult.	Cultivares
R1	Início do florescimento
RS	Respiração do solo
BMS	Biomassa microbiana do solo
qCO ₂	Quociente metabólico
Al ³⁺	Alumínio
Na ⁺	Sódio
H ⁺ + Al ³⁺	Acidez potencial do solo
SB	Soma de bases trocáveis
CTC	Capacidade de troca catiônica pH ₇
CTC _e	CTC efetiva
v%	Porcentagem de saturação por bases
m%	Porcentagem de saturação por alumínio
pH	Potencial Hidrogeniônico
C _{org}	Carbono Orgânico
M.O.S	Matéria Orgânica
kPa	Kilopascal

CR	Capacidade de retenção
AP	Água percolada
AS	Água existente no solo
SS	Massa do solo seco
C-CO ₂ mg kg ⁻¹ h ⁻¹	Quantidade de carbono por dióxido de carbono em miligrama por quilograma por horas
b	Volume de HCl gasto na prova em branco
HCl	Ácido clorídrico
a	Volume de HCl gasto na amostra
n	Normalidade do HCl.
E	Equivalente do carbono.
RIS	Respiração Induzida pelo Substrato
µg C g ⁻¹	Miligrama de carbono por grama
mg Cmic h mL CO ₂ ⁻¹	Miligrama de Cmic em hora por miligrama de dióxido de carbono
k	Concentração da solução de HCl
PA	Massa da amostra (solo seco)
mgC-CO ₂ .g ⁻¹ BMS-C.h ⁻¹	Miligrama de carbono por grama de dióxido de carbono por biomassa do solo em carbono por horas
PMP	Ponto de murcha permanente
CC	Capacidade de campo
AD	Água disponível
C	Carbono
O ₂	Oxigênio
CO ₂	Dióxido de carbono
mg C kg ⁻¹	Miligrama de carbono por quilograma
µg C g ⁻¹	Micrograma de carbono por grama

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Graus
'	Minutos
"	Segundos
=	Igual
x	Multiplicação
-	Subtração
/	Divisão
<	Menor que
\bar{X}	Média
S	Variância
\geq	Maior ou igual
>	Maior que
+	Adição

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	19
2 OBJETIVO	22
2.1 Objetivo geral	22
2.2 Objetivos específicos	22
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 1	25
PERFORMANCE DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES CLASSES DE SOLOS	25
1 INTRODUÇÃO.....	29
2 MATERIAL E MÉTODOS	31
2.1 Avaliações nas plantas	33
2.1.1 Análise dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja	33
2.1.2 Parâmetros fisiológicos	34
2.1.3 Pigmentos fotossintéticos	34
2.1.4 Caracteres morfométricos da soja	35
2.1.4.1 Altura	35
2.1.4.2 Diâmetro do hipocótilo	36
2.1.4.3 Altura da inserção da 1ª vagem	36
2.1.4.4 Número de nós	36
2.1.4.5 Biomassa seca da parte aérea	36
2.1.4.6 Razão de massa de folha	36
2.1.4.7 Área foliar específica	36
2.1.5 Componentes de rendimento da soja	37
2.1.5.1 Número de vagens	37
2.1.5.2 Número de grãos por vagens	37
2.1.5.3 Número de hastes	38
2.1.5.4 Número de vagens por m ²	38
2.1.5.5 População final de plantas	38
2.1.5.6 Massa de mil grãos	38
2.1.5.7 Produtividade	38
2.1.6 Caracteres de qualidade do grão	38

2.2 Análise estatística	39
2.2.1 Análise de componentes principais - PCA	39
3 RESULTADOS	41
3.1 Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja	41
3.2 Caracteres morfométricos, de rendimento e qualidade dos grãos da soja	46
4 DISCUSSÃO	54
4.1 Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja	54
4.2 Caracteres morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja	55
5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61
CAPÍTULO 2	66
ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE PLINTOSSOLOS PÉTRICOS E LATOSSOLOS AMARELOS CULTIVADOS COM SOJA SOB PLANTIO DIRETO	66
1 INTRODUÇÃO	71
2 MATERIAL E MÉTODOS	73
2.1 Avaliações de monitoramento dos solos	75
2.1.1 Análise química do solo	76
2.1.2 Análise granulométrica do solo (Areia, Silte e Argila)	77
2.1.3 Análise físico-hídrica do solo	77
2.1.3.1 Determinação da massa e volume das frações do solo	77
2.1.3.2 Umidade gravimétrica do solo	78
2.1.3.3 Curva retenção de água nos solos	78
2.1.4 Atributos biológicos do solo (Respiração do Solo - RS, Biomassa Microbiana do Solo - BMS e Quociente Metabólico - qCO ₂)	79
2.1.4.1 Determinação da capacidade de retenção de água do solo	79
2.1.4.2 Respiração do solo	80
2.1.4.3 Biomassa microbiana do solo	80
2.1.4.4 Quociente metabólico	81
2.2. Análise estatística	81
3 RESULTADOS	82
3.1 Atributos químicos e granulométricos do solo	82
3.2 Análise físico-hídrica do solo	85

3.2.1 Volume das frações do solo	85
3.2.2 Umidade gravimétrica do solo	86
3.2.3 Curva de retenção de água nos solos	87
3.3 Atributos biológicos do solo	90
4 DISCUSSÃO	92
4.1 Atributos químicos e granulométricos do solo	92
4.2 Análise físico-hídrica do solo	93
4.3 Atributos biológicos do solo	95
5 CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIAS	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Tocantins a ocorrência de diferentes classes de solos no mesmo talhão produtivo é bastante comum, sendo facilmente encontradas manchas de Latossolos e Plintossolos lado a lado na área onde a soja (*Glycine max*) é cultivada. É importante ressaltar que os produtores não separam as classes pedogenéticas, como também não levam em consideração as particularidades de cada tipo de solo, com isso acabam adotando um manejo idêntico (calagem, adubação, plantio, densidade de semeadura, escolha de cultivares) nas áreas produtivas da soja.

Nos últimos anos a agricultura de precisão é bastante presente nas propriedades onde se cultiva soja, tornando até irônico ainda hoje o cultivo da soja em classes de solos tão distintas, serem tratadas de forma tão homogênea, levando a prejuízos ao produtor (gastos desnecessários), para economia do País (produção poderia ser maior) e até mesmo na questão ambiental.

Outro ponto que merece destaque, é a avaliação da fertilidade e da granulometria que são feitas nos talhões produtivos, sendo considerado um solo uniforme em toda a gleba. No laboratório essas análises são feitas somente com a porção de terra fina, com isso as plintitas e petroplintitas do Plintossolos são desconsideradas, não levando em conta o volume que essas frações do solo ocupam no perfil.

Os Plintossolos não são aptos para cultivos agrícolas, sendo seu uso indicado para pastagem, porém no Tocantins os produtores cultivam a soja nesse solo, mas sob risco, pois não se tem um zoneamento climático para a soja em Plintossolos Pétricos concrecionários.

Entre os diversos produtos originário da soja, o biodiesel se destaca por ser um dos biocombustíveis mais produzidos e consumidos comercialmente, ganhando popularidade significativa em todo o mundo nas últimas duas décadas (CHEN et al., 2018). Visto que o mundo busca por fontes mais limpas e renováveis de energia, e os combustíveis fósseis tornam-se mais difíceis e caros.

A oleaginosa é cultivada amplamente em todo o território nacional, em diferentes condições edafoclimáticas (NASCIMENTO, 2020), o que tornou o Brasil o maior produtor de grãos de soja com uma produção de 125.552,3 mil toneladas na safra 2021/22 (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2022).

O principal objetivo do melhoramento da cultura sempre foi aumentar a produtividade da soja, visto que é uma das principais culturas econômicas com alto teor de óleo e proteína (LI et al, 2020). Os programas de melhoramento têm desenvolvido continuamente novas cultivares de soja com alto potencial produtivo (DALLO et al., 2019). No entanto, mesmo com as novas

tecnologias, os programas de melhoramento dessa cultura apresentam diversos desafios (LI et al, 2020).

A produtividade é o resultado da interação complexa das plantas de acordo com seu potencial genético e um conjunto de fatores ambientais (DIDUR et al., 2019). Taiz; Zeiger, (2017) afirmam que os fatores ambientais influenciam diretamente no processo de desenvolvimento das plantas, dos quais podemos destacar: temperatura, fotoperíodo e disponibilidade hídrica, como os elementos climáticos que mais afetam o desenvolvimento e a produtividade da soja.

Na agricultura, as características agronomicamente importantes das plantas geralmente aparecem a partir dos estágios iniciais de desenvolvimento, e portanto são significativamente afetadas pelos efeitos acumulativos das interações planta-ambiente durante o período de crescimento (MOCHIDA; SAISHO; HIRAYAMA, 2015). Avaliar as cultivares em ambientes específicos permite a seleção e recomendação de genótipos que explorem seu máximo potencial produtivo (YAN, 2016).

Pelo fato da soja ser adaptada em várias regiões, observa-se uma ocupação em grandes áreas no país, promovendo assim a criação de novas fronteiras agrícolas, como: o MATOPIBA, que é composto pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Atualmente é conhecida como a última fronteira agrícola do país, com seu carro chefe voltado para a produção de soja.

De acordo com Campos et al., (2019) para se produzir soja no estado do Tocantins (TO), deve-se fazer testes e avaliar os diferentes locais de produção, devido a variabilidade de ambientes que se encontra no estado e seus diferentes tipos de solo, visando ter a melhor resposta e manejo para cada situação.

As classes de solos encontradas no estado mostram a predominância de Plintossolos, Neossolos Quartzarênicos e Latossolos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2015), sendo que os Plintossolos ocupam aproximadamente 36% da área do Tocantins (IBGE, 2019). Entre estes estão os Plintossolos Pétricos concrecionários, que apresentam proporções de petroplintita imersas em uma matriz variável de terra fina.

Esses solos apresentam fortes limitações ao uso de máquinas, principalmente devido à quantidade excessiva de cascalho e seixos (petroplintita) (RAMOS, 2022), portanto, as pastagens são as culturas mais comuns nesses solos. Apesar das características indesejáveis do ponto de vista agrônomo (AZEVEDO; BUENO, 2017), o cultivo de espécies de interesse econômico neste solo, como: as lavouras de soja e feijão (*Phaseolus vulgaris*) (NIKKEL; LIMA, 2017), que requerem considerável mecanização agrícola, não é um obstáculo.

Em geral, especula-se que as culturas agrícolas podem estar gastando mais fotoassimilados no sistema radicular, pois as concreções de petroplintita na superfície atuam como um ambiente restritivo para o livre crescimento das raízes (NIKKEL; LIMA, 2019).

Além da limitação para o uso de máquinas, esses solos também apresentam outros problemas, como: baixa fertilidade natural, alta acidez e, sobretudo, a presença de cascalho, que normalmente representam mais de 50% do seu volume (RAMOS, 2022). Porém há poucos estudos nesses solos, sobre como se comportam seus atributos: físico-hídricos, biológicos e químicos. Não há recomendação sobre a amostragem do solo e a metodologia de análise para as coletas rotineiras. Nesse solo há escassez de estudos e informações consolidadas referente a recomendações para correção da fertilidade e/ou acidez do solo e ao manejo para o cultivo da soja. Todas as práticas adotadas, deixam os pesquisadores intrigados, visto que esses solos são diferentes dos Latossolos, mas vem mostrando produtividades bem semelhantes.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho agronômico de cultivares de soja em Plintossolo Pétrico concrecionário e Latossolo Amarelo distrófico no estado do Tocantins.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar possíveis atributos do solo que possam estar associados ao desempenho agronômico da soja;
- Mensurar caracteres morfométricos das cultivares de soja;
- Mensurar os caracteres de rendimento das cultivares de soja;
- Mensurar os caracteres de qualidade dos grãos da soja;
- Avaliar os teores dos nutrientes nos tecidos foliares da soja.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, James Ribeiro de; BUENO, Célia Regina Paes. Potencialidades e limitações agrícolas de solos em assentamento de reforma agrária no município de Chapadinha-MA. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 17, p. 1 - 13. 2017.

CAMPOS, Leonardo José Motta et al. **Produtividade de cultivares de soja em três ambientes do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).

CHEN, Rui et al. Life cycle energy and greenhouse gas emission effects of biodiesel in the United States with induced land use change impacts. **Bioresource Technology**, v. 251, p. 249 - 258, mar., 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, Safra 2021/22: décimo segundo levantamento**. Brasília: Conab, v. 9, n. 12, p. 87, set., 2022.

DALLO, Samuel Cristian et al. Across year and year-by-year GGE biplot analysis to evaluate soybean performance and stability in multi-environment trials. **Euphytica**, Wageningen, v. 215, n. 113, mai., 2019.

DIDUR, Igor M. et al. The effect of fertilizer system on soybean productivity in the conditions of right bank forest-steppe. **Ukrainian Journal of Ecology**, Melitopol, v. 9, n. 1, p. 76 - 80, fev., 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil. Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 179p. Disponível em: . Acesso em: 21 de mai. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa Exploratório de Solos do Estado de Tocantins**. 2015. Disponível em: <<https://visualizador.inde.gov.br/VisualizaCamada/43>>. Acesso em: 28 out. 2021.

LI, Man-Wah et al. Impacts of genomic research on soybean improvement in East Asia. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 133, p. 1655 - 1678. 2020.

MOCHIDA, Keiichi; SAISHO, Daisuke; HIRAYAMA, Takashi. Crop improvement using life cycle datasets acquired under field conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 740 - 765, set. 2015.

NASCIMENTO, Tassio Lessa do et al. Avaliação do óleo e biodiesel de soja (glycine max) a partir de parâmetros físico-químicos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 3, p. 12685 - 12694, mar., 2020.

NIKKEL, Marico; LIMA, Saulo de Oliveira. Maize (*Zea mays*) Cultivated in Concretionary Petric Plinthosol. **Journal of Agricultural Science**, Richmond Hill, v. 11, n. 14, p. 131 - 140, ago., 2019.

NIKKEL, Marico; LIMA, Saulo de Oliveira. Spatial distribution of soil organic matter under the use of different center pivots. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, p, 56 - 64. 2017.

RAMOS, Michele Ribeiro. A Review of Soybean Cultivation On Stony Soils in Tocantins, Brazil. **International Journal of Science and Research**, Raipur, v. 11, n. 3, p. 367 - 371, mar., 2022.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artemed, 2017. 954 p.

YAN, Weikai. Analysis and Handling of $G \times E$ in a Practical Breeding Program. **Crop Science**, v. 56, n. 5, p. 2106 - 2118, 2016.

CAPÍTULO 1

PERFORMANCE DE CULTIVARES DE SOJA EM DIFERENTES CLASSES DE SOLOS

RESUMO

Os Plintossolos Pétricos têm ganhado destaque no Tocantins devido a crescentes áreas de cultivo de soja nesses solos. São classificados como inaptos para cultivo de grãos, entretanto têm apresentado potencial para o cultivo no Estado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho agrônômico de cultivares de soja em diferentes solos. O experimento foi conduzido na Fazenda Chapadão na safra 2020/21 em plantio direto em sequeiro, sendo instalado em delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos (cultivares de soja) e quatro repetições em duas áreas distintas: Plintossolos Pétricos concrecionários (FFc) e Latossolos Amarelos distróficos (Lad). A colheita foi realizada com a soja em maturação plena. Os teores nutricionais foliares foram determinados em florescimento pleno e os pigmentos fotossintéticos no início do enchimento dos grãos. As variáveis morfométricas, de rendimento e qualidade dos grãos foram avaliadas após a colheita. Os dados da soja foram analisados pela multivariada empregando o procedimento de análises de componentes principais (PCA) e também submetidos a análise de variância sendo realizada análise simples e conjunta, e adotado o teste Tukey ($p > 0,05$) de médias. A análise conjunta encontrou interação significativa entre cultivares e solos para os teores dos nutrientes nos tecidos foliares, onde o fósforo, cálcio e ferro foram significativos para o fator solo. Enquanto o nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre foram significativos para o fator cultivar. A cultivar NS7901 apresentou elevados teores de nitrogênio, fósforo, magnésio e enxofre, enquanto a NS6906 destaca os altos níveis de cálcio. A soja cultivada no FFc apresentou os maiores teores foliares de fósforo e cálcio, e a soja do Lad revelou as maiores concentrações de ferro. A cultivar 81I81RSF foi destaque nos caracteres morfométricos e apresentou uma excelente produtividade. A cultivar NS7901 mostrou bons resultados dos caracteres de rendimento (números de hastes, número de vagens, população final de plantas e produtividade), enquanto os cultivares 8473RSF, 81I81RSF e NS7901 apresentaram bom teor de óleo. A PCA indica que as classes de solos não influenciam nos teores dos nutrientes no tecido foliar, como também nos caracteres avaliados da soja. Conclui-se que as diferenças encontradas nos caracteres morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos da soja estão associadas a características genéticas de cada cultivar. A cultivar 81I81RSF foi destaque nos parâmetros morfométricos e na produtividade. A 8473RSF possui um elevado teor de óleo. Ambos os fatores interferiram nos teores dos nutrientes no tecido foliar. O Plintossolo Pétrico concrecionário apresenta aptidão agrícola para o cultivo de soja.

Palavras-Chave: Rendimento. Teor nutricional foliar. Teor de óleo. Qualidade dos grãos.

ABSTRACT

Petric Plinthosols have gained prominence in Tocantins due to increasing areas of soybean cultivation in these soils. They are classified as unfit for grain cultivation, however they have shown potential for cultivation in the State. The objective of this work was to evaluate the agronomic performance of soybean cultivars in different soils. The experiment was carried out at Fazenda Chapadão in the 2020/21 harvest under no-tillage in dryland, being installed in a randomized block design with four treatments (soybean cultivars) and four replications in two different areas: concretionary Petric Plinthosols (FFc) and Yellow Oxisols dystrophic (Lad). The harvest was carried out with the soybean at full maturity. Leaf nutritional contents were determined at full flowering and photosynthetic pigments at the beginning of grain filling. Morphometric, yield and grain quality variables were evaluated after harvest. Soybean data were analyzed by multivariate analysis using the principal component analysis (PCA) procedure and also submitted to analysis of variance, with simple and joint analysis, and the Tukey test ($p > 0.05$) of means was adopted. The joint analysis found a significant interaction between cultivars and soils for nutrient content in leaf tissues, where phosphorus, calcium and iron were significant for the soil factor. While nitrogen, phosphorus, calcium, magnesium and sulfur were significant for the cultivar factor. Cultivar NS7901 showed high levels of nitrogen, phosphorus, magnesium and sulfur, while NS6906 highlights high levels of calcium. Soybean cultivated in the FFc had the highest foliar contents of phosphorus and calcium, and soybean from Lad had the highest concentrations of iron. Cultivar 81I81RSF was highlighted in morphometric characters and showed excellent productivity. Cultivar NS7901 showed good results for yield traits (number of stems, number of pods, final plant population and productivity), while cultivars 8473RSF, 81I81RSF and NS7901 showed good oil content. The PCA indicates that the soil classes do not influence the nutrient content in the leaf tissue, as well as the soybean traits evaluated. It is concluded that the differences found in the morphometric, yield and quality characteristics of soybean grains are associated with the genetic characteristics of each cultivar. Cultivar 81I81RSF was highlighted in terms of morphometric parameters and productivity. 8473RSF has a high oil content. Both factors interfered with nutrient levels in leaf tissue. The concretionary Plinthosol presents agricultural aptitude for soybean cultivation.

Keywords: Yield. Leaf nutritional content. Oil content. Grain quality.

1 INTRODUÇÃO

A sojicultura é uma das cadeias agroindustriais protagonistas no uso de inovações no Brasil. De acordo com dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2021), essa cadeia investe em tecnologias avançadas com o intuito de maximizar a produtividade.

O melhoramento genético da soja, visando a criação de novas cultivares, é responsável pelo aumento da produtividade de grãos e pela seleção de diferentes genótipos, com combinações que incorpore características agronômicas, que além da produtividade, sejam adaptadas a condições ambientais diversas do território brasileiro (SWARUP et al., 2021; COSTA et al., 2018).

O ambiente define o crescimento e desenvolvimento da cultura e, portanto, a resposta produtiva do grupo de maturidade escolhido (TOLEDO, 2018). Dessa forma, genótipos produtivos e estáveis são desejáveis na produção de soja (MATHEW et al., 2022).

Com a busca de matéria prima para produção de biocombustíveis, o óleo de soja volta a ganhar importância nos programas de melhoramento. Para a produção do biodiesel, faz-se necessário o uso de genótipos com alto teor de óleo (VAL et al., 2014). Apesar dos avanços conseguidos, os teores de óleo e de proteína dos grãos permanecem estagnados, pois não foram explorados suficientemente pela pesquisa em todo o mundo de forma a alterar os padrões comerciais (PÍPOLO et al., 2015).

A variação do teor de proteína e óleo é determinada, principalmente, por fatores genéticos, mas com forte influência ambiental, mormente no período de enchimento de grãos. As empresas de melhoramento têm trabalhado para a melhoria dessas características, mas pouco tem sido feito a nível comercial (PÍPOLO et al., 2015). Vale ressaltar, que os programas de melhoramento também têm disponibilizado cultivares com alta produtividade de grãos, resistentes a déficit hídrico, tolerantes às altas temperaturas, solos ácidos, além de doenças e pragas (SOARES et al., 2015; SWARUP et al., 2021), o que tem permitido a expansão da soja nas diversas condições brasileiras.

As áreas de cultivo da soja têm ampliado, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país, sobretudo nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, região popularmente chamada como MATOPIBA (SEIXAS et al., 2020). Isso se deu por conta dessa região possuir áreas significativas, com condições favoráveis à expansão da fronteira agrícola, notadamente em áreas de pastagens degradadas (HIRAKURI et al., 2018). Os usos dessas tecnologias de produção nessa região mostraram ganhos de produtividade, que são similares aos valores

alcançados por grandes produtores nacionais, tais como o Mato Grosso (MT), em condições edafoclimáticas favoráveis (SEIXAS et al., 2020).

A produção de soja é afetada pela fertilidade e teor de água do solo em relação ao sistema de preparo do solo (ACHARYA et al., 2019; POKHREL et al., 2021; WULANNINGTYAS et al., 2021). Os agricultores devem considerar o manejo do genótipo da cultura e fatores ambientais (temperatura, chuva, solo) para obter cultivares com máxima produtividade (KHAKI; WANG; ARCHONTOULIS, 2020). Esta é uma consideração crucial, pois uma cultivar será exposta a uma variedade de condições em ambientes de produção que não podem ser previstas com antecedência (HAPP et al., 2021).

No Brasil, o manejo do solo para a produção de grãos é predominantemente baseado no uso de sistema de plantio direto (PD). No entanto, há um consenso de que os princípios do PD não são totalmente compreendidos, nem completamente realizados, pelos agricultores (SERAFIMA et al., 2019). São amplamente descritos na literatura (FERREIRA et al., 2018; FUJISAKI et al., 2018; SÁ et al., 2015) que na região do Cerrado brasileiro em áreas sob plantio direto, a soja tem apresentado ganhos de produtividade e melhorias nas propriedades do solo.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo similarmente assume importância nos indicativos de alternativas de manejo, onde o crescimento e desenvolvimento das plantas podem ser influenciados por alterações nos atributos químicos do solo (MONTANARI et al., 2015). A maximização da produtividade só é possível quando os nutrientes das plantas estão disponíveis para atender a demanda da cultura (THAPA et al., 2021).

Apesar das dificuldades, o cultivo de soja em Plintossolos Pétricos tem ganhado destaque no TO, devido à representatividade de sua ocorrência, proporcionando produtividades variáveis entre 2.700 e 4.200 kg ha⁻¹ (CAMPOS et al., 2022). Esta variabilidade se deve principalmente ao manejo, teor de matéria orgânica, volume de precipitação, quantidade e tamanho do cascalho, além do uso de cultivares adaptadas a este ambiente (ALMEIDA et al., 2020).

Diante do exposto, esse capítulo tem o objetivo avaliar o desempenho agrônômico das diferentes cultivares de soja cultivadas em Plintossolo Pétrico concrecionário e Latossolo Amarelo distrófico.

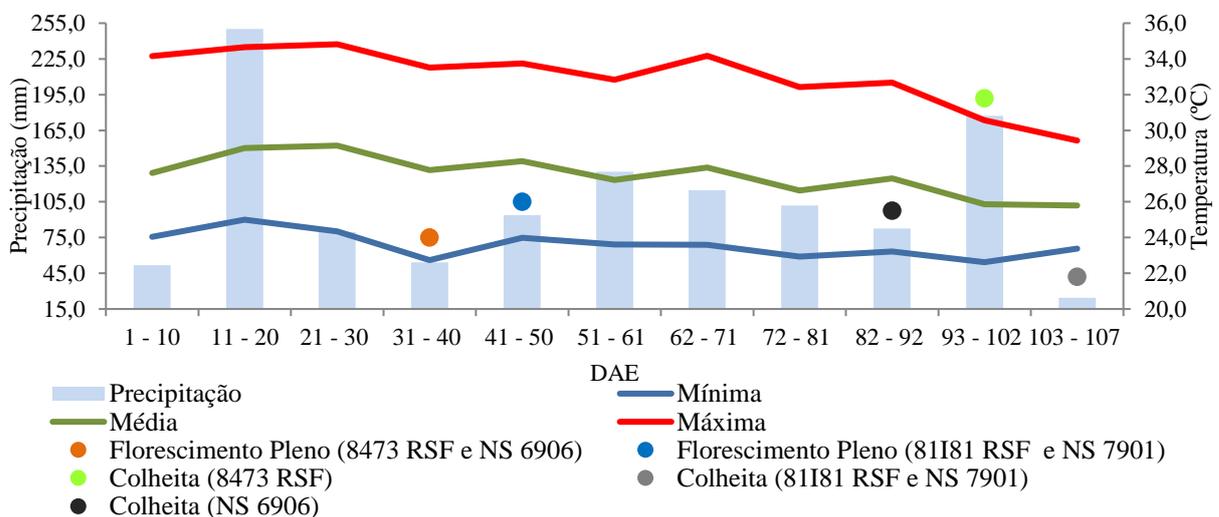
2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em áreas contínuas em condições de campo na Fazenda Chapadão, pertencente ao Grupo Wink, localizada no município de Porto Nacional, a 59 km de Palmas - Brasil, sob as coordenadas (Experimento I - 10°30'23.61" S e 48°34'14.34" O 445 m de altitude e do Experimento II - 10°30'23.75"S e 48°34'0.09"O 441 m de altitude).

Porto Nacional tem clima tropical, destacando que as chuvas são mais predominantes no verão do que no inverno, com pluviosidade média anual de 1.622 mm. A classificação do clima é Aw (clima de savana) de acordo com a Köppen; Geiger (1928), e com temperatura média de 27.4 °C.

Os dados de temperaturas máximas, médias e mínimas (Figura 1) para o período de 20 de outubro de 2020 a 18 de fevereiro de 2021 foram obtidos no módulo dados históricos anuais do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2021). Enquanto os dados de precipitação total, durante o mesmo período, foram coletados pelas anotações dos pluviômetros instalados na área de estudo.

Figura 1 - Precipitações e temperaturas na área de estudo durante a safra 2020/21



Fonte: Arquivo pessoal.

Foi realizada uma anamnese com o produtor, onde o mesmo informou que havia o plantio de *Pinus sp.* (espécie) no talhão onde foi instalado o experimento em 2014, e que somente em dezembro de 2015 a área foi totalmente convertida para o plantio de culturas anuais produtoras de grãos.

Os solos utilizados no estudo foram classificados em: Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico típico A fraco, textura argilosa - FFc e Latossolo Amarelo distrófico plintossólico A fraco, textura argilo arenosa - Lad (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS - DOS SANTOS et al., 2018).

A área experimental é pertencente a um talhão produtivo da propriedade, que teve o manejo de calagem e adubação com base na análise de solo (Tabela 1) para obter a elevação da saturação por bases a 64% (45% de cálcio, 16% de magnésio e 3% de potássio), esse manejo ocorreu previamente a instalação do experimento, em agosto de 2020, onde foram aplicados 1,2 t ha⁻¹ de calcário e logo em seguida 500 kg ha⁻¹ de gesso.

Tabela 1 - Atributos químicos e granulométricos de diferentes classes de solos na camada superficial 0 - 20 cm

	Prof	pH CaCl ₂	v%	P _{mehlich}	K ⁺	Mn	Zn	Fe	Cu
Solos	cm		%	mg dm ³					
FFc		5,90	89,34	12,76	109,50	19,00	9,25	111,35	0,90
Lad		5,73	77,59	3,64	182,50	9,60	1,20	35,60	0,80
	0-20	Ca²⁺	Mg²⁺	H⁺+Al³⁺	Al³⁺	M.O.S	Areia	Silte	Argila
		cmol _c .dm ³				g kg ⁻¹			
FFc		12,57	5,14	2,03	0,00	37,52	407,60	129,40	463,00
Lad		6,40	2,20	2,59	0,00	31,23	415,70	115,80	468,50

Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): Lad = Latossolo Amarelo distrófico; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Prof = profundidade; pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K⁺ = potássio; Mn = manganês; Zn = zinco; Fe = ferro; Cu = cobre; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; H⁺ + Al³⁺ = acidez potencial do solo; v% = porcentagem de saturação por bases; M.O.S = matéria orgânica; areia, silte e argila = não receberam acrônimos.

Os ensaios foram conduzidos em sistema de PD em sequeiro, na safra 2020/2021, em duas áreas distintas, sendo experimento I - FFc e o experimento II - Lad. Todos os ensaios foram instalados no delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos (cultivares de soja) e quatro repetições. As cultivares de soja utilizadas em ambos experimentos foram: (I) 8473 RSF RR (Desafio) de grupo e maturidade relativa (GMR) 7.4, hábito de crescimento indeterminado e baixo índice de ramificações; (II) 81I81 RSF IPRO (Extrema), GMR 8.1, hábito de crescimento indeterminado e baixo índice de ramificações; (III) NS 7901 RR, GMR 7.9, hábito de crescimento indeterminado, moderadamente resistente ao acamamento; (IV) NS 6906 IPRO, GMR 7.0, hábito de crescimento indeterminado, tolera chuva na colheita.

A parcela experimental foi constituída de quatro fileiras espaçadas de 0,45 m entre si, com 5,0 m de comprimento, totalizando uma área de 9 m². Dentro de cada unidade experimental

foi estipulada uma área útil, correspondendo as 2 linhas centrais de plantio, por 3 m de comprimento, ficando como bordadura, 1 m de cada lado da unidade experimental.

Antes da semeadura, as sementes foram tratadas com *Azospirillum brasilense*, na proporção 1:1 (1 mL do produto para 1 kg de semente), em sequência foi inoculada com a formulação líquida comercial BiomaBrady Soja, contendo célula de *Bradyrhizobium japonicum* (estirpes Cepas SEMIA 5079 e SEMIA 5080, com concentrações de $5,84 \times 10^9$ UFC mL⁻¹), na proporção de 2:1 (2 mL do inoculante para 1 kg de semente).

Na adubação de plantio foi utilizado 300 kg ha⁻¹ do formulado 07-40-00 sendo 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) e 120 kg ha⁻¹ de fósforo (P), na área ainda teve a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) que corresponde a 116 kg ha⁻¹ de potássio (K) e 90 kg ha⁻¹ de cloro (Cl), a adubação foi realiza com a semeadora da John Deere modelo CCS2134 de 34 linhas.

Logo em seguida, empregando os sulcos realizados pela semeadora CCS2134, foi feito a semeadura das cultivares utilizando uma semeadora mecânica de 1 linha acoplada em um micro trator. A densidade de semeadura seguiu conforme a recomendação das empresas, sendo adotados 25 sementes por metro (sem/m) nas cultivares 8473 RSF RR e NS 6906 IPRO e 15 sem/m nas cultivares 81I81 RSF IPRO e NS 7901 RR.

O manejo e os tratos culturais do experimento foram realizados conforme manejo da fazenda, uma vez que área experimental estava dentro de um talhão de cultivo de soja. A colheita foi realizada sempre que as cultivares atingiram maturação plena (R8), sendo realizada aos 88 dias após a emergência (DAE) para cultivar NS 6906, aos 98 DAE para a cultivar 8473 RSF RR e aos 107 DAE para as cultivares 81I81 RSF IPRO e NS 7901 RR.

2.1 Avaliações nas plantas

Aos 15 DAE foi feito o desbaste das plantas que excederam a população estipulada para o estudo.

2.1.1 Análise dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja

Quando as plantas estavam em R2 (florescimento pleno) foi coletado o 3º trifólio (do ápice para base) de 10 plantas/parcela para determinação da análise dos teores de nutriente nos tecidos foliares da soja, as amostras coletadas foram colocadas em saco de papel identificados e levadas ao laboratório. Onde foram secas em uma estufa com circulação forçada de ar a 65

°C, permanecendo assim até atingirem massa constante. Em seguida em um moinho (de facas tipo willey STAR FT 80) as amostras foram trituradas e peneiradas em uma peneira com malha de abertura de 10 *mesh*. Foram determinados os teores de: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) seguindo a metodologia de Malavolta; Vitti e de Oliveira, (1997).

2.1.2 Parâmetros fisiológicos

Aos 71 DAE quando a soja atingiu R5 (início do enchimento dos grãos) foi realizado uma análise de parâmetros fisiológicos em um analisador infravermelho de gases portáteis TARGAS⁻¹ (IRGA do inglês *Infra Red Gas Analyser*). Sendo registrados simultaneamente no nível da folha expostas ao sol: a taxa de transpiração (E) em mmol H₂O m⁻² s⁻¹, taxa de fotossíntese (A) em μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ e a relação entre A e E, conhecida como eficiência do uso da água (EUA) em mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O.

Durante a leitura foi mantido constante um nível de luz na câmara igual a 1.000 μmolm⁻² s⁻¹. As medições foram realizadas no período das 10:00 h até as 14:00 h no 3º trifólio (do ápice para base, no folíolo central) em uma planta por parcela.

2.1.3 Pigmentos fotossintéticos

Os pigmentos fotossintéticos, incluindo clorofila A (*Cla*), clorofila B (*Clb*) relação das clorofilas A/B (*Cla/b*) e carotenoides (Caro), foram avaliados aos 71 DAE quando as plantas se encontravam no estágio R5/R6 (pleno enchimento de grãos).

Quatro discos foliares de 6,73 mm de diâmetro de folhas frescas de soja foram retirados em cada parcela, e transferidas para tubos de ensaio encapados com papel alumínio, o qual foi preenchido 3 mL do reagente dimetilsulfóxido (DMSO). Os tubos ficaram em banho-maria a temperatura de 50° C por um período de 24 h, até a completa extração dos pigmentos. As concentrações de absorção dos pigmentos fotossintéticos foram medidas a 490, 646 e 663 nanômetros (nm), usando um espectrofotômetro (DR5000). O cálculo das concentrações das clorofilas A, B e carotenoides foi baseado em metodologia descrita por Wellburn, (1994):

$$Cla = (12,47 \times A_{665,1}) - (3,62 \times A_{649,1}) \quad (1)$$

Em que:

Cla - Clorofila A (miligrama por grama de massa seca - mg/gMs).

A - Absorbância no comprimento de onda indicado.

$$Clb = (25,06 \times A_{649,1}) - (6,5 \times A_{665,1}) \quad (2)$$

Em que:

Clb - Clorofila B (mg/gMs).

A - Absorbância no comprimento de onda indicado.

$$Cla_Clb = Cla / Clb \quad (3)$$

Em que:

Cla _ Clb - relação das clorofilas A/B (mg/gMs).

Cla - Clorofila A (mg/gMs).

Clb - Clorofila B (mg/gMs).

$$Caro = ((1000 \times A_{480}) - (1,63 \times Cla) - (53,78 \times Clb)) / 220 \quad (4)$$

Em que:

Caro - Carotenoides (mg/gMs).

Cla - Clorofila A (mg/gMs).

Clb - Clorofila B (mg/gMs).

A - Absorbância no comprimento de onda indicado.

2.1.4 Caracteres morfométricos da soja

A colheita foi realizada no estágio R8 de forma manual em 3 m² em cada parcela. As plantas colhidas foram colocadas em saco de rafia identificados e foram levadas ao laboratório, onde foram selecionadas aleatoriamente, 16 exemplares de cada parcela para avaliação das seguintes variáveis morfométricas da soja: altura da planta (ALT), diâmetro do hipocótilo (DH), altura da inserção da primeira vagem (AIV) e o número de nós (NN). A biomassa seca da parte aérea (BPA), a razão de massa de folha (RMF) e a área foliar específica (AFE) foram determinadas aos 71 DAE.

2.1.4.1 Altura

A ALT foi determinada pela média das plantas escolhidas ao acaso (item 2.1.4), para tanto, considerou-se as distâncias entre a superfície do solo e a extremidade apical da haste principal, utilizando-se uma régua graduada com precisão 0,01 m.

2.1.4.2 Diâmetro do hipocótilo

O DH foi mensurado com auxílio de um paquímetro digital, nas plantas tomadas ao acaso na área útil.

2.1.4.3 Altura da inserção da 1ª vagem

A avaliação ocorreu nas plantas colhidas da área útil de cada parcela (item 2.1.4), onde foi utilizada uma régua graduada com precisão de 0,01 m, medindo distância entre a superfície do solo e a inserção da primeira vagem na haste.

2.1.4.4 Número de nós

A contagem do número de nós da haste principal foi realizada das plantas escolhidas na área útil (item 2.1.4), sendo considerados todos os nós, com exceção do nó cotiledonar.

2.1.4.5 Biomassa seca da parte aérea

A biomassa seca da parte aérea foi determinada a partir do somatório das massas secas das folhas, caule, vagens e grãos, sendo determinada em (g). As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até atingirem massa constante, quando foram pesadas.

2.1.4.6 Razão de massa de folha

A razão de massa foliar foi calculada utilizando a massa de folhas (g) em relação a massa da parte aérea (g), descontando o caule. Sendo feita a medição aos 71 DAE, quando as cultivares 8473 RSF RR, 81I81 RSF IPRO e NS 7901 RR estavam em R5 e a cultivar NS 6906 IPRO estava em R6.

2.1.4.7 Área foliar específica

Aos 71 DAE foi determinada a AFE, com o auxílio de um cortador cilíndrico de 6,73 mm de diâmetro foram retirados quatro discos foliares de cada parcela, na porção central das

folhas completamente expandidas (3º trifólio do ápice para base), excluindo-se a nervura principal.

As amostras foram depositadas em sacos de papel identificados, em seguidas foram levadas ao laboratório, onde foram colocados em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C até atingirem massa constante. Posteriormente com o uso de uma balança de precisão foi quantificada a massa seca foliar (MSF).

As amostras tiveram sua área foliar estimada pela área do cortador e sua massa determinada por balança de precisão. Após feito isso, dividiu-se a área foliar pela sua respectiva massa seca, dessa forma a AFE foi expressa em centímetros quadrado por grama (cm²/g).

2.1.5 Componentes de rendimento da soja

Para a determinação do: número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NGV), do número de hastes (NH) e número de vagens por m² (NVM) foram aplicadas as mesmas plantas utilizadas para determinação dos caracteres morfológicos (item 2.1.4).

Para indicação da população final de plantas (POP) foram utilizadas todas as plantas presentes em cada parcela no dia da colheita da soja. Para a determinação da massa de mil grãos (MMG) e da produtividade (PROD) foram utilizados todos os exemplares colhidos na área útil. As plantas colhidas foram trilhadas em uma trilhadeira de parcela. Posteriormente os grãos foram limpos, ou seja, livres de restos culturais tais como: folhas, gravetos e hastes, bem como de torrões de solo.

2.1.5.1 Número de vagens

O NV foi resultante da contagem manual das vagens formadas em cada planta, sendo feito esse processo em dezesseis plantas por parcela (item 2.1.4).

2.1.5.2 Número de grãos por vagens

O NGV foi determinado mediante contagem direta dos grãos oriundos das plantas amostradas em cada parcela (item 2.1.4).

2.1.5.3 Número de hastes

O NH foi obtido através da contagem manual da quantidade de hastes presente na planta, em dezesseis plantas/parcela (item 2.1.4).

2.1.5.4 Número de vagens por m²

O número de vagens por metro quadrado foi contabilizado do NV multiplicado pelo POP.

2.1.5.5 População final de plantas

No momento da colheita, foi determinado a população final de plantas (POP). Sendo resultante da contagem manual das plantas presentes em cada parcela no dia da colheita da soja, sendo determinado em número de plantas por metro quadrado.

2.1.5.6 Massa de mil grãos

Com os grãos limpos foi aferido o teor de umidade, e em seguida ocorreu a avaliação da MMG, conforme as prescrições estabelecidas pelas Regras de Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

Foi utilizado um contador eletrônico de sementes e grãos (ESC 2011 Comp) programado para contar os mil grãos, posteriormente à amostra teve sua massa determinada em balança de analítica, sendo corrigida considerando-se o teor de água de 13%.

2.1.5.7 Produtividade

Para quantificação da PROD os grãos limpos foram pesados e na sequência, foi estabelecido o teor de umidade. Após, foi calculado o rendimento em kg.ha⁻¹, à 13% de umidade.

2.1.6 Caracteres de qualidade do grão

Os teores de óleo e proteína foram determinados pela técnica da Refletância do Infraver-

melho Próximo (NIR) segundo Heil (2012), adaptado por Oliveira et al., (2013).

Os grãos inteiros e limpos de cada parcela foram submetidos a leituras em triplicata no equipamento de espectroscopia de infravermelho próximo (FT-NIR) da marca *ThermoScientific*, modelo *Antaris II*, dotado de esfera de integração e leitura na faixa entre 1100 e 2500 nm.

As amostras previamente selecionadas foram colocadas em cápsulas próprias do equipamento e acopladas ao mesmo, realizando-se 32 *scans* e *background* a cada leitura, com resolução de 4 cm^{-1} .

O teor de umidade das amostras também foi determinado para que os resultados dos teores percentuais de óleo e proteína das amostras fossem expressos em base seca.

2.2 Análise estatística

Para cada experimento os dados morfométricos, de rendimento e qualidade dos grãos e os teores de nutrientes em tecidos foliar da soja foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos, Shapiro Wilk (1965) a 5% de significância, e ao teste homogeneidade das variâncias, Bartlett (1937) a 5% de significância. Os dados foram atendidos quanto a normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias e em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA) para cada variável.

Para as variáveis significativas a 5% de probabilidade do teste f da ANOVA, foi realizada a análise conjunta dos experimentos. A análise conjunta dos experimentos foi efetuada para variáveis em que a razão entre o maior e menor quadrado médio residual dos experimentos individuais foi $< 7,0$ (PIMENTEL-GOMES, 2000). Em seguida foram aplicados os testes de média Tukey para os fatores cultivares e classes de solo a 5% de probabilidade utilizando o programa genes.

Os dados também foram analisados utilizando a técnica de análise multivariada empregando o procedimento de análises de componentes principais (PCA). Essas análises foram realizadas no programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

2.2.1 Análise de componentes principais - PCA

A PCA foi utilizada como método para analisar as relações entre as variáveis das matrizes de dados: morfométricos, de rendimento, qualidade dos grãos de soja e dos teores de nutrientes nos tecidos foliares. Seu emprego teve como objetivo verificar as relações entre as

variáveis (descritores originais - p) de cada uma destas matrizes, para melhor compreender as tendências refletidas através do agrupamento das observações visíveis nos eixos de ordenação, bem como na interpretação numérica dos resultados.

A matriz original ($Y = n \times p$) foi padronizada, reduzindo suas médias para zero e variâncias a um ($\bar{X} = 0; S=1$) e então, foi extraída a matriz de correlações ($R = p \times p$) entre as p variáveis. Baseados nesta matriz R , obteve-se seus autovalores (l), o que possibilitou avaliar o percentual de informação contida em cada deles (lp). A fim de simplificar a representação gráfica o critério de Kaiser e de selecionar todos os autovetores cujos autovalores apresentassem valor superior a um ($lp \geq 1$). Foi avaliado o total da variância explicada pelos autovetores por meio dos autovalores a eles associados, gráficos *biplot* foram elaborados, o que tornou possível verificar graficamente a associação entre as variáveis e os componentes principais (eixos de ordenação), bem como entre as próprias variáveis. Interpretações adicionais foram feitas através de tabelas expressando as correlações entre as variáveis e as componentes principais, bem como outras demonstrando os autovalores e percentuais de variância explicada pelos autovetores.

3 RESULTADOS

A precipitação ao longo do ciclo da cultura da soja bem como os dados de temperaturas são apresentados na (Figura 1). A temperatura média se manteve entre 25 °C e 30 °C durante todo ciclo da cultura, sendo a temperatura máxima sempre superior a 29 °C e a mínima variando entre 23 °C e 25 °C (Figura 1).

Durante o experimento, a precipitação acumulada foi de 1.185,25 mm (Figura 1), apesar de haver dois períodos com baixas precipitações, sendo nos períodos de 0 - 10 e 31 - 40 DAE. Os períodos de 11 - 20 e 93 - 102 DAE foram marcados por altas precipitações, correspondendo a 36% das chuvas durante toda a safra (Figura 1).

O volume de água foi adequado para a cultura, não sendo caracterizado nenhum período com veranicos, dessa maneira o rendimento da cultura não foi afetado pelos fatores climáticos (temperatura e precipitação).

3.1 Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja

Na análise de variância conjunta encontrou-se interação significativa para os fatores cultivares e solos para os nutrientes K, B, Mn e Zn. Os elementos P, Ca e Fe foram significativos apenas para o fator solo. Enquanto os elementos N, P, Ca, Mg e S foram significativas para o fator cultivar, independente do solo cultivado.

A Tabela 2 apresenta os dados da interação cultivar x solos para os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja. Os teores de K nos tecidos foliares foram semelhantes em todos cultivares quando cultivados em Lad, enquanto em solos FFc esse comportamento foi distinto, com destaque para NS7901 com maiores teores de K nas folhas. Exceto na cultivar NS 7901, os níveis de K na folha foram maiores quando cultivados em Lad. Os teores de K na folha considerado suficiente estão na faixa de 17 a 25 g kg⁻¹ (SOUSA; LOBATO, 2004). No FFc os teores de K encontraram na faixa de suficiência, com exceção da cultivar NS 7901 que está um pouco mais elevado, enquanto no Lad todos os genótipos utilizados estão com a concentração de K na folha mais elevada que a faixa ideal.

Tabela 2 - Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes cultivares e diferentes classes de solos

Cultivar/Solo	K		B		Mn		Zn	
	FFc	Lad	FFc	Lad	FFc	Lad	FFc	Lad
8473 RSF	19,8 Bc	26,4 Aa	49,7 Aa	50,2 Aa	38,3 Aa	27,2 Ba	44,5 Aa	42,7 Aa
81181 RSF	21,0 Bbc	26,6 Aa	27,9 Bc	38,8 Aab	23,8 Bb	35,1 Aa	33,1 Abc	33,6 Aab
NS 7901	28,6 Aa	26,60 Aa	34,9 Abc	36,4 Ab	35,5 Aa	28,7 Aa	31,8 Ac	39,4 Aab
NS 6906	24,8 Bab	29,0 Aa	47,1 Aab	36,8 Bb	36,8 Aa	28,6 Ba	43,3 Aab	30,5 Bb

Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para classes de solos e minúscula para cultivares de soja dentro de cada nutriente não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% (legenda):

FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Lad = Latossolo Amarelo distrófico; K = potássio; B = boro; Mn = manganês e Zn = zinco.

Os teores de B nos tecidos foliares foram distintos em função das classes de solos e cultivares. A cultivar 8473 RSF destaca-se em apresentar maiores teores entre os cultivares e em ambos os solos cultivados (Tabela 2). Assim como apresentado para o K, os teores de B encontram-se no nível de suficiência, 21 a 55 mg kg⁻¹ (SOUSA; LOBATO, 2004), em todos os cultivares e classes de solo.

No que se refere ao Mn nas folhas, os teores foram similares em todas cultivares plantadas no Lad, entretanto no FFc o material 81181 RSF apresentou-se inferior aos demais genótipos. Esse elemento apresentou comportamento distinto entre os diferentes solos, porém no material NS 7901 o teor de Mn foi similar nos solos avaliados (Tabela 2). Os teores foliares do Mn são considerados suficientes (3 a 10 g kg⁻¹) (SOUSA; LOBATO, 2004).

Os teores de Zn nos tecidos foliares foram diferentes entre as cultivares de soja. A cultivar NS 6906 foi a única que revelou diferença entre os tipos de solos para os teores de Zn, sendo sua maior concentração no FFc, enquanto o material 8473 RSF foi destaque com o maior teor do elemento nos dois ambientes (Tabela 2). O Zn apresentou teores suficientes (20 a 50 mg kg⁻¹) conforme Sousa; Lobato, (2004).

Independentemente da classe do solo, a cultivar NS 7901 apresentou elevados teores foliares de N, P, Mg e S, enquanto a cultivar NS 6906 destacou-se por elevados teores de Ca e baixas concentrações de N, P e S nos tecidos foliares quando comparado aos demais cultivares (Tabela 3). A faixa ideal de concentração do N na folha varia entre 45 a 55 g kg⁻¹ (SOUSA; LOBATO, 2004), a cultivar NS 6906 foi a única que se encontrou com sua concentração de N foliar fora desse intervalo. Todas as cultivares utilizadas nesse estudo estão com os teores foliares de P, Ca, Mg e S considerados suficientes, sendo (P - 2,5 a 5 g kg⁻¹; Ca - 4 a 20 g kg⁻¹; Mg - 3 a 10 g kg⁻¹; S - 2,1 a 4 g kg⁻¹) conforme citam Sousa; Lobato, (2004).

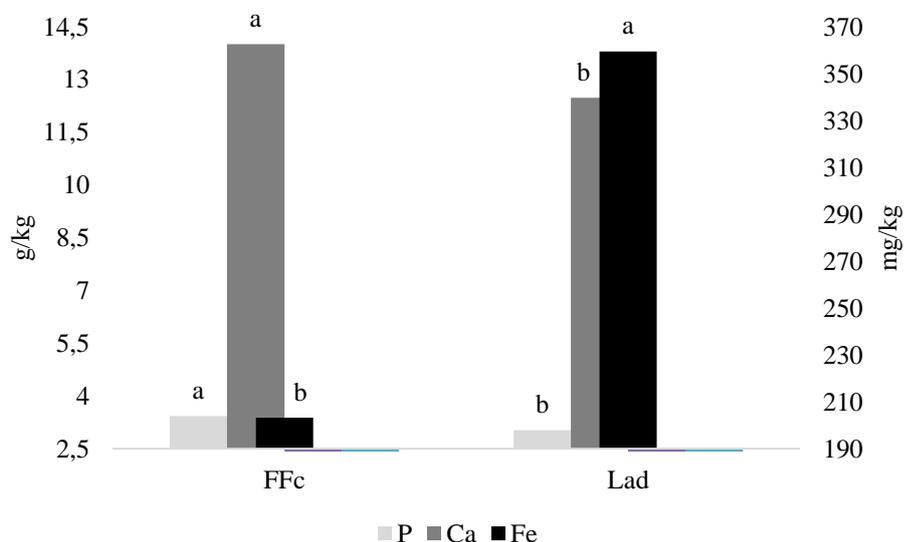
Tabela 3 - Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes cultivares

Cultivar	N	P	Ca	Mg	S
8473 RSF	46,2 ab	3,3 a	14,7 ab	5,2 a	2,9 a
81181 RSF	45,9 ab	3,4 a	9,7 c	4,3 b	2,5 b
NS 7901	51,0 a	3,1 ab	12,7 b	5,6 a	2,8 a
NS 6906	44,3 b	2,9 b	15,7 a	5,7 a	2,7 ab

Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras dentro de cada nutriente não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): N = nitrogênio; P = fósforo; Ca = cálcio; Mg = magnésio e S = enxofre.

Os teores foliares de P e Ca nas plantas de soja foram maiores quando cultivados em FFc quando comparado ao Lad (Figura 2). Todavia as concentrações dos nutrientes (P e Ca) no tecido foliar estão dentro do indicado para a cultura segundo Sousa; Lobato, (2004). No entanto, para os teores de Fe, os maiores teores foliares ocorreu em plantas cultivadas no Lad (Figura 2). O Fe na folha é considerado recomendado para soja quando tem seus valores variando de 51 a 350 mg kg⁻¹ (SOUSA; LOBATO, 2004), dessa forma o teor de Fe no tecido foliar da soja cultivada no FFc esta ideal, e no Lad se encontra um pouco superior.

Figura 2 - Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes classes de solos



Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras para cada nutriente não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Lad = Latossolo Amarelo distrófico; P = fósforo; Ca = cálcio e Fe = ferro.

O critério de Kaiser permitiu a extração de 4 eixos (Tabela 4), com os valores de $l (>) a$ 1, resultando em um total de variância acumulada na ordem de 72,17%. A aplicação da PCA à

matriz *R* resultou na captura de uma parte significativa da variância original (45,03%) sendo utilizados dois eixos. Responsáveis por resumir as informações relativas aos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja.

Tabela 4 - Autovalores (*l*), percentual de variância explicada em cada autovetor e percentual cumulativo da variância explicada pelos autovetores selecionados pelo critério de Kaiser, extraídos a partir de uma matriz de correlação *R* entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja contidas na matriz *Y*

Eixos	Autovalores (<i>l</i>)	% Variância	% cumulativo da variância
PCA 1	2.59	25.90	25.90
PCA 2	1.91	19.12	45.03
PCA 3	1.59	15.88	60.91
PCA 4	1.13	11.26	72.17

Fonte: Arquivo pessoal.

O primeiro componente principal tem uma forte associação com os nutrientes (Ca e Mg), enquanto o terceiro componente principal tem uma forte associação com o K, os demais componentes principais obtiveram relação com os outros nutrientes, mas não sendo classificados com forte correlação ($> 0,7$) (Tabela 5).

Tabela 5 - Correlações entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação *R*. Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser

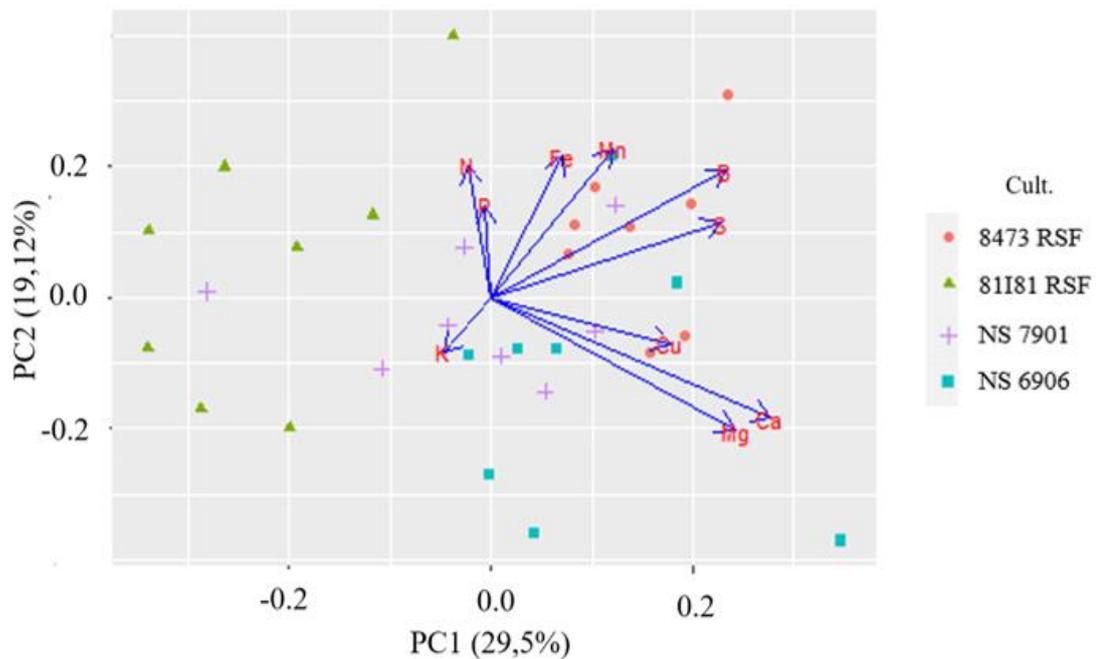
Descritores originais (<i>p</i>)	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4
N	-0.07	0.51	-0.37	-0.68
P	-0.02	0.36	0.74	-0.35
K	-0.14	-0.21	-0.80	-0.19
Ca	0.82	-0.47	-0.10	0.05
Mg	0.72	-0.52	-0.10	-0.26
S	0.67	0.29	0.07	-0.34
B	0.69	0.49	-0.08	0.24
Cu	0.53	-0.18	0.34	0.01
Fe	0.21	0.55	-0.21	0.52
Mn	0.36	0.58	-0.26	0.03

Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro e Mn = manganês.

Os materiais genéticos quando analisados em relação aos teores dos nutrientes nos tecidos foliares é possível verificar que a cultivar NS7901 tem seus pontos representados em todo o gráfico, sendo uma cultivar que não segue um padrão de absorção dos nutrientes (Figura

3). Em relação as cultivares 81I81 RSF e 8473 RSF se mostram distintas em relação aos teores dos nutrientes nos tecidos foliares, visto que se encontram em lados opostos na (Figura 3).

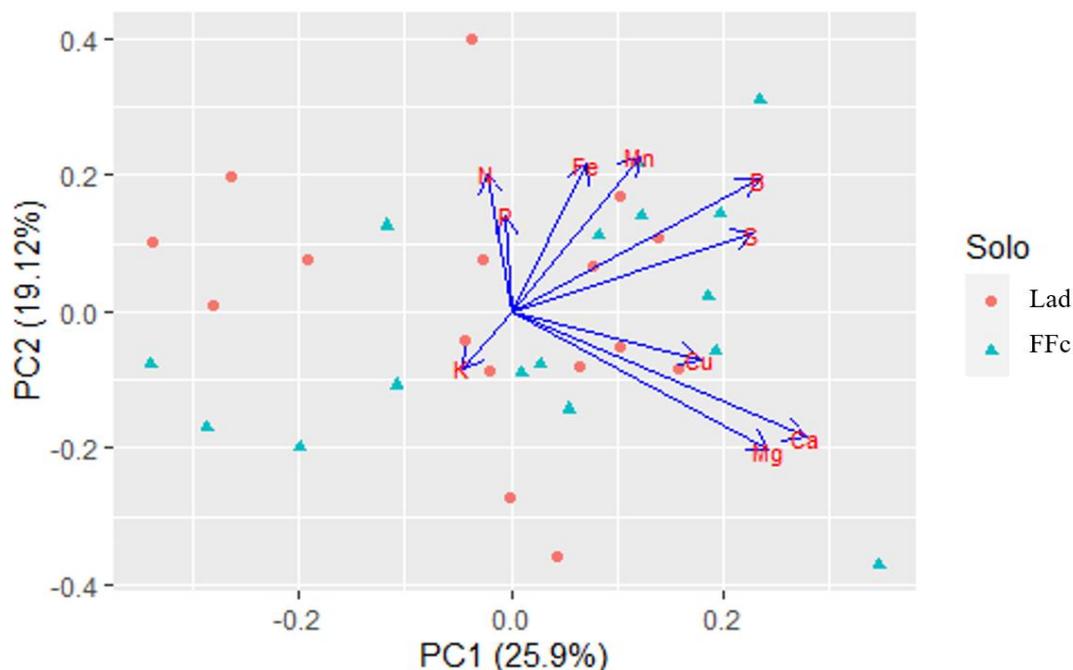
Figura 3 - Diagrama de ordenação (*biplot*) resumando os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares em diferentes cultivares de soja contidos na matriz *Y*



Fonte: Arquivo pessoal. As setas representam os descritores originais (*p*) da matriz *Y*, identificadas por seus acrônimos e os ícones gráficos (*n*) representam as observações segregadas segundo as cultivares utilizadas no experimento. (legenda): Cult. = cultivares; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro e Mn = manganês.

Ao comparar o comportamento das plantas em relação a extração dos nutrientes nos diferentes solos, é notório que os mesmos não a influenciaram, visto que os pontos estão distribuídos por todo o gráfico (Figura 4), não sendo possível distinguir um padrão claro dos nutrientes nos tecidos foliares em uma mesma classe de solo.

Figura 4 - Diagrama de ordenação (*biplot*) resumindo os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores dos teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja em diferentes classes de solos contidos na matriz *Y*



Fonte: Arquivo pessoal. As setas representam os descritores originais (*p*) da matriz *Y*, identificadas por seus acrônimos e os ícones gráficos (*n*) representam as observações segregadas segundo as cultivares utilizadas no experimento. (legenda): Lad = Latossolo Amarelo distrófico; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro e Mn = manganês.

3.2 Caracteres morfométricos, de rendimento e qualidade dos grãos da soja

A análise de variância conjunta encontrou apenas a variável (número de vagens por m²) com interação significativa para os fatores solos e cultivares. As variáveis ALT, DH, AIV, NN, BPA, RMF, NV, NVM, NGV, NH, POP, MMG, PROD, OLEO, PROT e *Cla/b* são significativas para o fator cultivar, independente do solo cultivado. Enquanto os parâmetros EUA e BPA são significativos apenas para o fator solo.

A Tabela 6 mostra que a cultivar 81I81 RSF foi destaque em todos os parâmetros morfométricos analisados (ALT, DH, AIV, NN, BPA e RMF), mas não revelou diferença dos genótipos 8473 RSF e NS 7901 para a variável BPA. Enquanto o material NS 6906 apresentou os menores índices de (ALT, DH, NN, BPA e RMF), enquanto a menor AIV foi expressa pelo genótipo 8473 RSF.

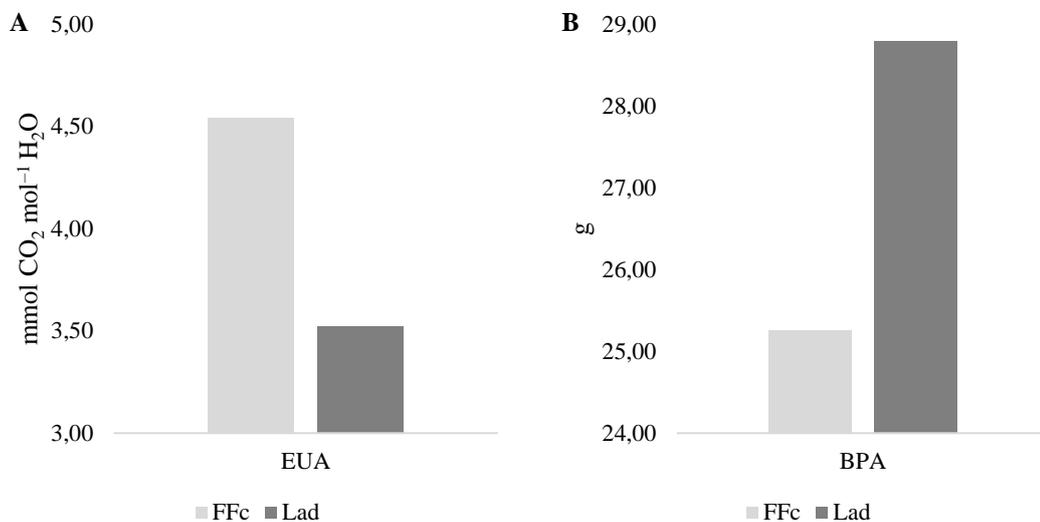
Tabela 6 - Parâmetros morfométricos em diferentes cultivares de soja

Cultivar	ALT	DH	AIV	NN	BPA	RMF
8473 RSF	64,3 c	5,8 c	9,9 c	13,9 c	25,9 ab	0,20 b
81181 RSF	97,3 a	7,9 a	21,1 a	19,3 a	31,8 a	0,25 a
NS 7901	87,8 b	7,0 b	13,7 b	16,4 b	27,9 ab	0,22 b
NS 6906	65,2 c	4,9 d	12,3 b	10,9 d	22,3 b	0,17 c

Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): ALT = altura da planta; DH = diâmetro do hipocótilo; AIV = altura da inserção da primeira vagem; NN = número de nós; BPA = biomassa seca da parte aérea e RMF = razão de massa de folha.

Quando se avaliou a EUA e a BPA nos diferentes solos estudados, foram verificadas diferenças entre as classes de solo, onde o FFc apresentou uma maior EUA quando comparado ao Lad. Enquanto o maior valor da variável BPA esteve presente na soja cultivada sob o Lad (Figura 5).

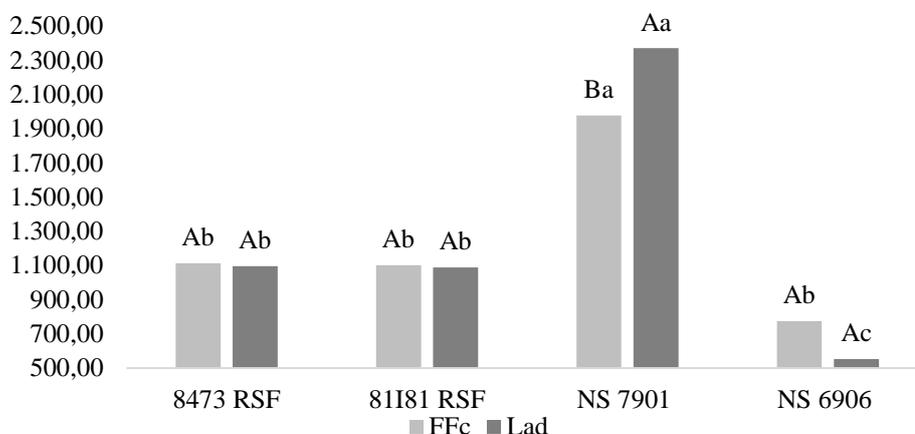
Figura 5 - Eficiência do uso da água e a biomassa seca da parte aérea em diferentes classes de solos



Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): A - EUA = eficiência do uso da água; B - BPA = biomassa seca da parte aérea; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário e Lad = Latossolo Amarelo distrófico.

O NVM foi a única variável com interação significativa entre as diferentes cultivares e as classes de solos estudadas, as classes de solos apenas não apresentaram semelhanças para o NVM com o material genético NS 7901, sendo essa cultivar menos produtiva por unidade de área de terra no solo com cascalho. Em relação a produção dos diferentes genótipos por unidade de área de terra, a cultivar NS 7901 foi destaque nas duas classes de solos avaliadas (Figura 6).

Figura 6 - Número de vagens por m² em diferentes cultivares de soja e diferentes classes de solos



Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas para classes de solos e minúscula para cultivares de soja não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Lad = Latossolo Amarelo distrófico e NVM = número de vagens por m².

O material NS 7901 mostrou vantagem em diversos parâmetros de rendimento (NV, NH, POP e PROD), entretanto não apontou diferenças da 81I81 RSF em PROD, além disso apresentou um baixo NGV e MMG. A NS 6906 revelou a maior MMG, porém manifestou os piores rendimentos de (NV, NGV e PROD), mas foi semelhante a NS 7901 em NGV e em PROD da 8473 RSF. O menor número de (NH e POP) foi verificado no material 81I81 RSF, contudo se mostrou igual a 8473 RSF no NH (Tabela 7).

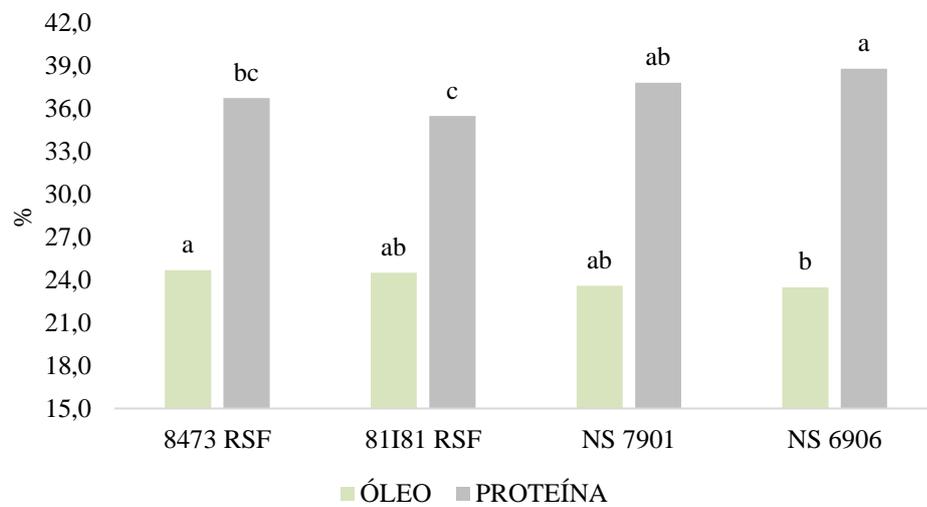
Tabela 7 - Componentes de rendimento da soja em diferentes cultivares de soja

Cultivar	NV	NGV	NH	POP	MMG	PROD
8473 RSF	36 c	2,8 a	2,2 bc	300.925 b	180,9 b	4.312,6 bc
81I81 RSF	50 b	2,8 a	1,9 c	217.129 d	184,5 b	5.025,2 a
NS 7901	58 a	2,2 b	5,6 a	369.444 a	165,7 c	4.568,2 ab
NS 6906	25 d	2,4 b	3,2 b	253.240 c	204,0 a	3.868,6 c

Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): NV = número de vagens por planta; NGV = número de grãos por vagem; NH = número de hastes; POP = população final de plantas; MMG = massa de mil grãos e PROD = produtividade.

A Figura 7 expressa os parâmetros de qualidade dos grãos nos diferentes materiais genéticos, onde a 8473 RSF revelou um elevado teor de óleo, contudo não se mostrou diferente dos materiais 81I81 RSF e NS 7901, que também se mostraram iguais a NS 6906. Em relação ao índice de PROT nos grãos de soja, as cultivares NS 6906 e NS 7901 foram igualitárias entre si, enquanto a cultivar 81I81 RSF revelou o pior valor de PROT entre os materiais.

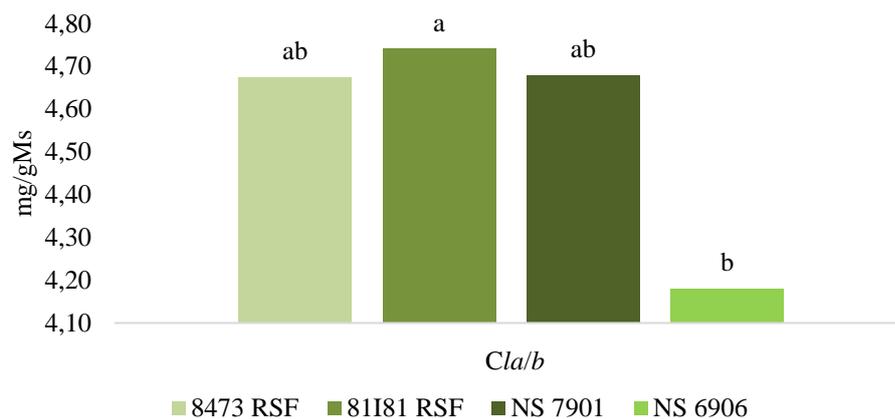
Figura 7 - Parâmetros de qualidade dos grãos de soja em diferentes cultivares



Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%.

O teor das clorofilas *a/b* indica que os materiais genéticos 81I81 RSF, 8473 RSF e NS 7901 apresentam valores das *Cla/b* semelhantes (Figura 8), enquanto a cultivar NS 6906 foi destaque por apresentar o menor valor da *Cla/b*, porém não revelando diferença dos genótipos 8473 RSF e NS 7901 para esta variável.

Figura 8 - Relação da *Cla/b* em diferentes cultivares de soja



Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): *Cla/b* = relação das clorofilas A/B.

O critério de Kaiser selecionou 6 eixos (Tabela 8), com os valores de autovalores superiores a 1, resultando uma variância acumulada de 85,16%. Nos gráficos foram representados dois dos seis componentes principais extraídos na PCA, resultando na captura de

uma parte significativa da variância original (52,65%). Sendo os eixos utilizados responsáveis por resumir as informações relativas aos descritores morfométricos, de rendimento e qualidade do grão de soja.

Tabela 8 - Autovalores (l), percentual de variância explicada em cada autovetor e percentual cumulativo da variância explicada pelos autovetores selecionados pelo critério de Kaiser, extraídos a partir de uma matriz de correlação R entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja contidas na matriz Y

Eixos	Autovalores (l)	% Variância	% cumulativo da variância
PCA 1	7.25	31.50	31.50
PCA 2	4.86	21.15	52.65
PCA 3	2.98	12.95	65.60
PCA 4	1.90	8.27	73.87
PCA 5	1.59	6.90	80.77
PCA 6	1.01	4.39	85.16

Fonte: Arquivo pessoal.

A Tabela 9 mostra que o primeiro eixo tem uma forte associação com os descritores: ALT, DH, NN, NV, PROD, POP e NVM, já o segundo eixo estar fortemente associado com as variáveis (NH e RMF), enquanto o terceiro eixo apresenta uma forte correlação positiva com as Cl_a e Cl_b , por fim os demais eixos não possuem forte correlação com nenhuma variável analisada.

Tabela 9 - Correlações entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação R . Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser

Descritores originais (p)	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5	PCA 6
AFE	-0.03	0.37	0.56	-0.36	0.22	0.22
Cl_a	0.56	0.19	0.74	-0.17	0.06	-0.21
Cl_b	0.28	0.28	0.74	-0.23	0.38	-0.05
Caro	0.55	0.25	0.69	-0.14	-0.04	-0.29
Cl_a/b	0.55	-0.20	0.00	0.17	-0.58	-0.29
ALT	0.84	-0.01	-0.35	-0.37	-0.03	0.08
DH	0.94	-0.01	-0.18	-0.11	0.06	0.11
AIV	0.64	0.40	-0.46	-0.34	-0.01	0.00
NN	0.95	0.07	-0.19	-0.02	0.05	0.02
NV	0.85	-0.43	-0.07	-0.09	0.18	0.14
NH	0.02	-0.83	-0.01	-0.31	0.24	0.21
NGV	0.32	0.67	0.05	0.52	-0.10	-0.13
MMG	-0.58	0.62	-0.14	-0.24	-0.17	-0.05

Continua

Conclusão

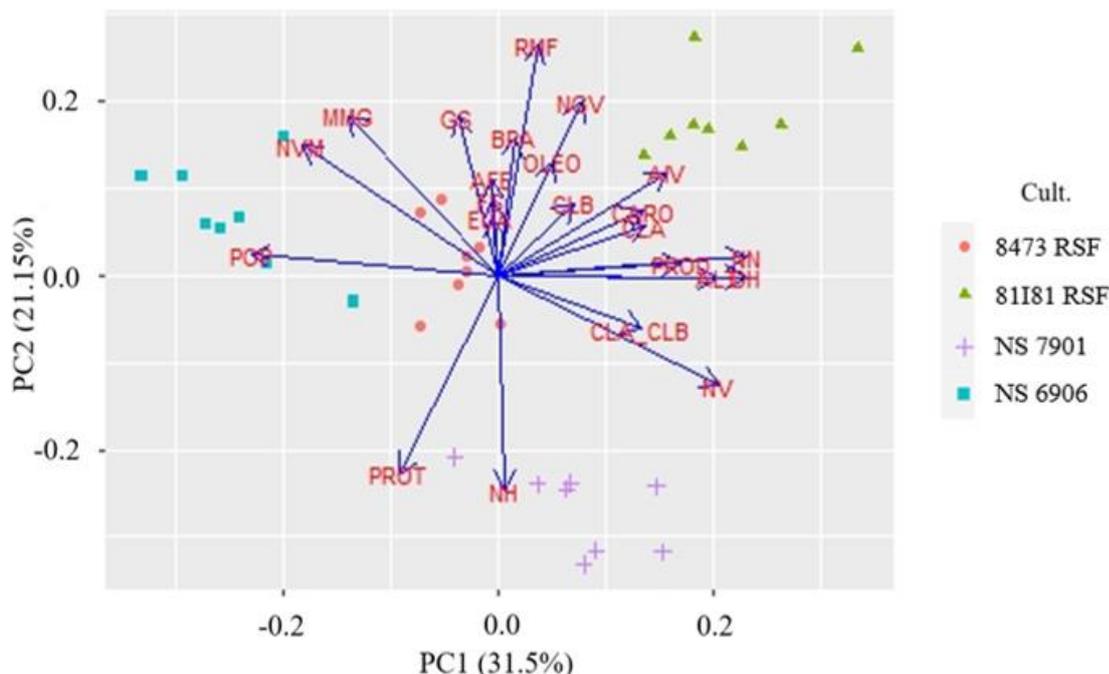
Tabela 9 - Correlações entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação *R*. Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser

Descritores originais (<i>p</i>)	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5	PCA 6
PROD	0.70	0.05	-0.10	-0.08	-0.21	0.06
EUA	-0.03	0.23	-0.37	0.33	0.65	-0.35
FS	-0.03	0.29	-0.58	-0.19	0.43	-0.42
BPA	0.06	0.53	-0.15	-0.14	-0.41	0.07
RMF	0.15	0.89	-0.04	-0.16	-0.15	-0.08
POP	-0.95	0.08	0.12	-0.08	-0.02	-0.03
NVM	-0.75	0.50	0.01	-0.34	-0.04	0.08
OLEO	0.21	0.44	0.11	0.64	0.17	0.45
PROT	-0.38	-0.77	-0.03	-0.32	-0.15	-0.24

Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): AFE = área foliar específica; *Cl_a* = clorofila A; *Cl_b* = clorofila B; Caro = carotenoides; *Cl_a/b* = relação das clorofilas A/B; ALT = altura da planta; DH = diâmetro do hipocótilo; AIV = altura da inserção da primeira vagem; NN = número de nós; NV = número de vagens por planta; NH = número de hastes; NGV = número de grãos por vagem; MMG = massa de mil grãos; PROD = produtividade; EUA = eficiência do uso da água; FS = fotossíntese; BPA = biomassa da parte aérea; RMF = razão de massa de folha; POP = população final de plantas; NVM = número de vagens por m²; OLEO = óleo e PROT = proteína.

A Figura 9 mostra um isolamento dos materiais trabalhados no experimento, onde observamos uma tendência dos vetores de (ALT, DH, NN, PROD e NV) separar a 81181 RSF das demais cultivares. No caso dos vetores (POP e NVM) desmembram a cultivar NS 6906 dos outros materiais genéticos, enquanto os vetores (PROT e NH) tem uma tendência de segregar o material NS 7901 dos demais materiais. A cultivar 8473 RSF se comporta como curinga, entre os vetores descritores morfométricos, de rendimento e qualidade do grão de soja.

Figura 9 - Diagrama de ordenação (*biplot*) resumindo os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja em diferentes cultivares contidos na matriz *Y*



Fonte: Arquivo pessoal. As setas representam os descritores originais (*p*) da matriz *Y*, identificadas por seus acrônimos e os ícones gráficos (*n*) representam as observações segregadas segundo as cultivares utilizadas no experimento. (legenda): Cult. = cultivares; AFE = área foliar específica; Cla = clorofila A; Clb = clorofila B; Caro = carotenoides; Cla/b = relação das clorofilas A/B; ALT = altura da planta; DH = diâmetro do hipocótilo; AIV = altura da inserção da primeira vagem; NN = número de nós; NV = número de vagens por planta; NH = número de hastes; NGV = número de grãos por vagem; MMG = massa de mil grãos; PROD = produtividade; EUA = eficiência do uso da água; FS = fotossíntese; BPA = biomassa da parte aérea; RMF = razão de massa de folha; POP = população final de plantas; NVM = número de vagens por m²; OLEO = óleo e PROT = proteína.

Ao se comparar o comportamento das variáveis morfométricas, de rendimento e qualidade do grão de soja nos diferentes solos, é notório que as diferentes classes de solos não influenciaram nesses parâmetros avaliados, visto que os pontos estão distribuídos por todo o gráfico (Figura 10), não sendo possível distinguir um padrão claro do comportamento desses caracteres em uma mesma classe de solo.

4 DISCUSSÃO

Nesse estudo as cultivares utilizadas, foram expostas a temperaturas consideradas recomendadas a cultura, variando entre 20 °C e 30 °C, sendo 28 °C a condição ideal, conforme cita Evangelista et al., (2022). A temperatura máxima chegou a 34,8 °C, mesmo sendo superior ao recomendado para a cultura, as cultivares não foram afetadas negativamente.

As elevadas temperaturas aliadas ao fotoperíodo fizeram com que a cultivar NS 6906 tivesse sua colheita realizada em 88 dias, sendo 12 dias antes do indicado pela empresa (NIDERA SEMENTES, 2020). Vale salientar que esse material genético não é recomendado para região, pois tem seu GMR 7.0. Dessa forma, os resultados encontrados corroboram com as afirmações de Evangelista et al., (2022), onde os autores citam que a temperatura está relacionada à taxa de crescimento da cultura, influenciando a respiração e a duração do ciclo.

Durante o experimento a precipitação acumulada foi de 1.185,25 mm, valor este acima da média exigida pela cultura (450 e 800 mm) (EVANGELISTA et al., 2022). Entretanto esse valor estar dentro do esperado para o estado, Lumbreras et al., (2015) afirmam que no Tocantins as chuvas se concentram entre (900 e 2100 mm anuais).

Pode-se afirmar que o volume de água foi adequado e bem distribuído ao longo do ciclo da cultura, sendo satisfatório para exigências da soja, principalmente, durante as duas fases mais críticas do seu ciclo sendo estas, a germinação-emergência e a floração-enchimento de grãos (início do florescimento - R1 a R5). De modo geral, as condições climáticas da safra foram satisfatórias, com média de precipitação e temperatura dentro do esperado, o que não prejudicou o desempenho das cultivares.

4.1 Teores de nutrientes nos tecidos foliares da soja

A absorção de nutrientes pela cultura da soja é dependente de vários fatores, entre eles podemos citar: condições climáticas, material genético, tratos culturais e disponibilidade dos nutrientes no solo. É importante destacar, que pode haver uma grande variação da intensidade, facilidade e eficiência com que os nutrientes são absorvidos por diferentes genótipos em ambientes com baixa ou alta disponibilidade de nutrientes (MARTIN; PIRES; VEY, 2022).

Os macronutrientes desempenham papéis estruturais e funcionais na cultura da soja (BAGALE, 2021). Enquanto os micronutrientes atuam como constituintes das paredes e membranas celulares (B, Zn), constituintes e ativadores de enzimas (Fe, Mn, Cu), além de participar do processo fotossintético (Fe, Cu, Mn) conforme citam Maneira; Vilela, (2021).

Após a análise foliar encontrou-se um maior teor de Fe na soja cultivada no Lad, o que pode ser justificado pelas informações de Pádua (2012) explica que isto é coerente quando se trata de Latossolos, pois são ricos em óxidos de ferro.

O maior índice dos nutrientes (P e Ca) nas plantas do FFC pode estar associado a prática da correção do solo (calagem e adubação). Visto que, os dois solos são corrigidos de maneira semelhante, não sendo levado em consideração a quantidade de cascalho presente no FFC. Os solos também receberam correção de gesso agrícola, que é capaz de reduzir a disponibilidade de Al, serve como fonte Ca e S, porém não é capaz de corrigir a acidez do solo. A melhoria do perfil do solo pelo gesso beneficia o desenvolvimento do sistema radicular das culturas (ROSOLEM et al., 2017) e altera a dinâmica e o uso de nutrientes devido ao aumento da ciclagem e absorção de nutrientes em sistemas agrícolas (HOLLAND et al., 2018).

Os grãos da soja têm sua composição controlada geneticamente, porém foi relatado por Bellaloui et al., (2020) que a composição é influenciada por práticas agrícolas, incluindo taxa de semeadura, espaçamento entre fileiras, irrigação, condições de cultivo, localização geográfica e fertilizantes.

É importante destacar que as cultivares NS 6906 e NS 7901 apresentaram as maiores concentrações de K nas folhas, o que pode ser associado ao maior teor de proteínas nesses materiais, o que confirma o estudo de Bagale, (2021), porém última cultivar citada expressa sua PROT semelhante a 8473 RSF.

Bandillo et al., (2015) observaram que o teor de proteína nas sementes é herdado quantitativamente e correlacionado negativamente com o teor de óleo e o rendimento da semente, sendo semelhante ao encontrado nesse estudo, onde a NS 6906 se destacou na concentração de proteínas e apresentou os menores valores de óleo e produtividade.

Em síntese, a soja detém de mecanismos fisiológicos que contribuem com uma eficiente absorção dos nutrientes, o que aliado as técnicas de manejo dos nutrientes e com a recomendação da adubação baseada na análise química do solo, pode proporcionar níveis de qualidade dos grãos e rendimentos satisfatórios. Como já mencionado, os teores foliares dos nutrientes estão adequados a cultura, contudo foi encontrado um pequeno excesso de K e Fe nas plantas cultivadas no Lad, porém não chegou afetar negativamente a cultura.

4.2 Caracteres morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos de soja

O número de grãos por unidade de área é o componente de rendimento mais relevante (WEI; MOLIN, 2020), porém apresenta muitas variações entre cultivares. A soja que consegue

maximizar o número de grãos por unidade de área e subsequentemente preenchem esses grãos até o tamanho máximo, atingiram seu potencial de rendimento (VOGEL et al., 2021).

As variáveis morfométricas (ALT, DH, AIV, NN, RMF e AFE) juntamente com os componentes de rendimento e qualidade dos grãos não foram afetados nesse estudo pelo ambiente, na qual os diferentes materiais genéticos foram semeados. Enfatizando a mesma capacidade produtiva destas cultivares em ambos os solos cultivados. Somente os parâmetros BPA e EUA sofreram interferência do ambiente, sendo a BPA superior na soja cultivada no Lad, enquanto a EUA foi melhor nas plantas semeadas no FFc.

No cenário atual é importante reduzir as perdas de água e melhorar a eficiência do uso da água na produção agrícola, várias abordagens têm sido empregadas com esse intuito, sendo elas: padrões de plantio, redução do preparo do solo, plantio direto (RAZA et al., 2021). Nesse estudo a maior EUA foi encontrado no FFc, onde, os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde (RIBEIRO et al., 2018).

A maior BPA foi verificada na soja cultivada no Lad, o que pode ser associado a maior concentração de K nessas plantas. Este resultado corrobora com as conclusões obtidas no trabalho dos pesquisadores Pereira et al., (2016) que também verificaram uma maior massa da parte aérea com uma maior dose de potássio. Esse nutriente proporciona uma maior produção de fotoassimilados pela planta, que resulta em um maior desenvolvimento vegetativo da soja, e por consequência um maior acúmulo de biomassa.

A cultivar 81I81 RSF apresenta vantagem nos caracteres (ALT, DH, AIV, NN e RMF) e revelou a menor POP, quando contraposta as outras cultivares. Sendo esse fator resultado da carga genética do material. O que pode ser justificado pela característica da planta (porte alto) e sua arquitetura (baixo índice de ramificação).

Com o período vegetativo reduzido o material genético NS 6906 apresentou uma ALT inferior aos genótipos (81I81 RSF e NS 7901), o que pode ter ocasionado o menor NN e NV, desencadeando uma baixa PROD, comprovando os estudos de Vianna et al., (2019) e Val et al., (2017), onde os autores identificaram em seu trabalho que os caracteres que mais influenciaram a produtividade de grãos foram ALT e NV, o que pode ter influência da carga genética do material.

Vogel et al., (2021) afirmam que a soja cultivada em regiões de baixa latitude sofre de floração precoce, maturidade precoce e baixo rendimento, o que confirma o resultado desse experimento, visto que a cultivar NS 6906 foi cultivada em uma região não indicada ao seu GMR, o que acabou alterando toda a dinâmica das plantas e refletindo no seu rendimento.

A alta PROD da 81I81 RSF pode estar associada as variáveis (ALT, DH, AIV, NN, NGV e RMF). É importante destacar que essa cultivar é indicada para a região do MATOPIBA. Outro ponto importante é que esse material desempenha seu papel fisiológico de tal forma que não exige uma condição de nutrição foliar tão acentuada, visto que seus pontos se concentram opostos aos vetores dos nutrientes na análise foliar. Mostrando uma eficiência a princípio muito alta, que mesmo com um menor conteúdo na folha, ainda assim tem uma boa resposta produtiva. Podendo ser classificada como: elástica, indicando ir bem em muitos ambientes.

A cultivar NS 7901 apresentou um bom conteúdo de nutrientes, o que acabou igualando sua produtividade com a 81I81 RSF, é importante ressaltar que seus pontos se concentraram opostos aos vetores dos descritores morfológicos e de rendimento. Mas esse material alcançou os maiores números de NV e NH, o que se pode associar a sua genética ter contribuído com o rendimento.

Enquanto isso, temos os materiais genéticos (8473 RSF e NS 6906), que se mostram mais exigentes em fertilidade do solo. Tendo em vista que apresentaram uma maior absorção dos nutrientes conforme a análise foliar, mas com uma produtividade inferior quando relacionados a produção alcançada pela cultivar 81I81 RSF.

Essa diferença de PROD entre as cultivares pode estar associada a genética e a disponibilidade de água e/ou nutrientes, que podem atuar de diversas formas entre os diferentes materiais genéticos. De acordo com Hellal; Abdelhamid, (2013) a magnitude da perda de produtividade da soja varia entre os nutrientes, as deficiências de N, P, Fe, B e S podem causar perdas de produção de até 10%, 29 a 45%, 22 a 90%, 100% e 16 a 30%, respectivamente.

Costa, (2020) ao utilizar 26 variedades de soja em Cariri - TO, verificou que as cultivares 81I81 RSF e NS 7901 foram destaque para a PROD, resultado semelhante ao desse estudo.

GIMENEZ; JÚNIOR, (2022) utilizaram oito diferentes cultivares de soja em locais diferentes de produção, Sorriso - MT e Sinop - MT, avaliando a PROD. Em Sinop os autores encontraram a cultivar 8473 RSF tendo uma produtividade maior do que a NS 7901, já em Sorriso a NS 7901 teve uma produtividade maior, resultado diferente foi encontrado nesse estudo, onde não houve diferença entre as produtividades das cultivares 8473 RSF e NS 7901.

Ademais, a soja é conhecida por sua alta plasticidade fenotípica (CAMPOS et al., 2019; FELIPE; PRADO, 2021) a qual, possivelmente, alguns cultivares promovem ajustes nos aspectos morfofisiológicos que lhes proporcionam a manutenção do rendimento de grãos, mesmo em situações de diferentes atributos físico-químico dos solos onde são cultivadas (CAMPOS et al., 2022).

Vários estudos (FARIA et al., (2018); DOURADO et al., (2018); BOROWSKA; PRUSIŃSKI, (2021); ALBUQUERQUE (2020) enfatizam que a composição química dos grãos de soja sofre influência das condições ambientais temperatura e precipitação. Porém, essa interferência não tem sido estudada suficientemente no Brasil (PÍPOLO et al., 2015). Contudo, as condições ambientais não interferiram entre os materiais genéticos e tampouco nas plantas cultivadas nos diferentes solos para o teor de óleo.

As cultivares de soja também não foram influenciadas nos teores de PROT pelas diferentes classes de solo. O material genético NS 6906 mostrou uma das maiores concentrações de PROT, mas foi a cultivar com um dos menores índices de produção, a cultivar com uma das maiores produções (81I81 RSF) apresentou uma baixa concentração de PROT em seus grãos, reforçando a correlação negativa entre concentração de proteína e produtividade na soja (PÍPOLO et al., 2015).

No entanto, nesse estudo observou-se uma relação inversamente proporcional entre a PROT e os teores de OLEO e a PROD em relação as diferentes cultivares, o que confirma os resultados de Bandillo et al., (2015), onde os autores citam que o teor de proteína nas sementes é herdado quantitativamente e correlacionado negativamente com o teor de óleo e o rendimento da semente.

Cabe ressaltar que o potássio tem grande importância no incremento de óleo nos grãos, pois este tem a função de carregar os fotoassimilados, sendo fundamental na síntese de óleo e seu transporte para os grãos (ANDERLE; HANAUER; HERMES, 2020). No entanto, nessa pesquisa o K não interferiu no teor de óleo entre as cultivares, visto que o nutriente estava ideal para a cultura em ambas as classes de solos, e também nas folhas das cultivares testadas. Dessa forma, esse nutriente não influenciou no teor de óleo entre as cultivares.

Em síntese, pode-se afirmar que as classes de solos não interferiram nos caracteres morfométricos, de rendimento e qualidade dos grãos, tendo em vista que as únicas variáveis que apresentaram diferença entre os diferentes solos foram EUA e BPA.

As diferenças encontradas na avaliação desses parâmetros estão associadas a genética do material e disponibilidade e/ou absorção de nutrientes. Onde a cultivar 81I81 RSF foi destaque nos parâmetros morfométricos apresentando o melhor desempenho, enquanto o genótipo NS 6906 revelou os piores caracteres morfométricos. O material 81I81 RSF foi destaque na PROD, todavia a cultivar NS 7901 também apresentou excelentes resultados em relação aos componentes rendimentos, sendo destaque para as variáveis (NV, NH, POP e PROD), apesar de possuir baixos NGV e MMG. A qualidade dos grãos possui componentes

que são inversamente proporcionais, o material 8473 RSF possui um elevado teor de óleo e um baixo de PROT, enquanto a cultivar NS 6906 possui um comportamento inverso.

5 CONCLUSÃO

Os caracteres morfométricos, de rendimento e de qualidade dos grãos da soja não foram afetados pelas classes de solos, mas houve influência dos materiais genéticos utilizados no estudo.

A cultivar 81I81 RSF foi destaque nos parâmetros morfométricos e na produtividade, enquanto a NS 7901 revelou bons parâmetros de rendimento (números de hastes, número de vagens, população final de plantas e produtividade). A cultivar 8473 RSF, apresentou altos teores de óleo nos grãos, enquanto a NS 6906 apresentou altos teores de proteínas nos grãos independentes do solo a qual foi cultivado

As classes do solo e os cultivares influenciaram no estado nutricional da soja, onde o Plintossolo Pétrico concrecionário mostrou os maiores teores de P e Ca e o Latossolo Amarelo distrófico as maiores concentrações de Fe. Os cultivares 8473 RSF e NS 7901 sobressaíram-se dos demais genótipos em relação aos teores dos nutrientes nos tecidos foliares.

O Plintossolo Pétrico concrecionário tem aptidão agrícola para o cultivo de soja no estado do Tocantins.

REFERÊNCIAS

- ACHARYA, Bharat Sharma et al. Winter cover crops effect on soil moisture and soybean growth and yield under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 195, dez., 2019.
- ALBUQUERQUE, José Ricardo Tavares. Estudo de cultivares de soja irrigada nas condições do semiárido. 2020. 81 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal do Semiárido, Mossoró, RN, 2020.
- ALMEIDA, Rodrigo Estevam Munhoz de et al. Expansão agrícola em áreas de difícil manejo: cultivo em solos com cascalho. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**, Campinas, v. 6, p. 71 - 75, jul., 2020.
- ANDERLE, Gabriele Aline; HANAUER, Taís Viviane; HERMES, Eliane. DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE SOJA SOB O USO DE ADUBAÇÃO MINERAL E BIOFERTILIZANTE OBTIDO DA MANIPUEIRA. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n. 3, p. 1103 - 1122, jul./set. 2020.
- BAGALE, Suman. Nutrient Management for Soybean Crops. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, p. 10, set., 2021.
- BANDILLO, Nonoy et al. A Population Structure and Genome-Wide Association Analysis on the USDA Soybean Germplasm Collection. **The Plant Genome**, v. 8, n. 3, nov., 2015.
- BARTLETT, Maurice Stevenson. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Statistical Society - Serie A**, v. 60, p. 268 - 282, 1937.
- BELLALOUI, Nacer et al. The Influence of Agricultural Practices, the Environment, and Cultivar Differences on Soybean Seed Protein, Oil, Sugars, and Amino Acids. **Plant**, v. 9, n. 3, mar., 2020.
- BOROWSKA, Magdalena; PRUSIŃSKI, Janusz. Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. **Plant, Soil and Environment**, v. 67, n. 6, p. 360 - 366, 2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.
- CAMPOS, Leonardo José Motta et al. **Produtividade de cultivares de soja em Plintossolos e Latossolos do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 21 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).
- CAMPOS, Leonardo José Motta et al. **Produtividade de cultivares de soja em três ambientes do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).
- COSTA, Hugo Vitor Alves. **EFEITO DA DENSIDADE DE SEMEADURA NOS CARACTERES PRODUTIVOS DA SOJA NO SUL DO TOCANTINS**. 2020. 27 f.

Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, 2020.

COSTA, Mitchel Iago Alves et al. Morfometria Reprodutiva e Diversidade Genética em Cultivares de Soja. **Nucleus**, v. 15, n. 2, p. 207 - 215, out., 2018.

DOS SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

DOURADO, Daisy Parente et al. Protein content in *Glycine max* grains influenced by the mixed inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. **Journal of bioenergy and food science**, v. 5, n. 2, p. 32 - 43, 2018.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Soja em números safra (2020/21)**. Brasília, 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja/1/dados-economicos>> Acesso em: 08 de jun de 2022.

EVANGELISTA, Balbino Antônio et al. Possíveis Impactos das Mudanças Climáticas Sobre o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Cultura da Soja no Estado do Tocantins. In: COLLICCHIO, Erich; DA ROCHA, Humberto Ribeiro. **Agricultura e mudanças do clima no Estado do Tocantins: Vulnerabilidade, Projeções e Desenvolvimento**. Palmas: Editora Universitária - EdUFT, 2022. p. 167 - 184.

FELIPE, Matias de; PRADO, Santiago Alvarez Has yield plasticity already been exploited by soybean breeding programmes in Argentina? **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 20, p. 7264 - 7273, 2021.

FARIA, Lucas A. et al. Oil and protein content in the grain of soybean cultivars at different sowing seasons. Brazilian Journal of Agricultural Sciences. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. 1 - 7, 2018.

FERREIRA, Ademir de Oliveira et al. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. **Science of The Total Environment**, v. 621, p. 1559 - 1567, abr., 2018.

FUJISAKI, Kenji et al. Soil carbon stock changes in tropical croplands are mainly driven by carbon inputs: a synthesis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 259, p. 147 - 158, 2018.

GIMENEZ, Jhécica Eduarda Druczkowski; JUNIOR, Edison Ulisses Ramos. Desempenho de cultivares de soja convencional e transgênica no médio norte mato-grossense, na safra 2020/2021. In: Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 2022, Londrina. **Anais da XVII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2022. p. 15 - 20.

HAPP, Mary M. et al. Comparing a Mixed Model Approach to Traditional Stability Estimators for Mapping Genotype by Environment Interactions and Yield Stability in Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] **Frontiers in Plant Science**, v. 12, mar., 2021.

HEIL, C. Rapid, multi-component analysis of soybeans by FT-NIR Spectroscopy. Madison: **Thermo Fisher Scientific**, 2010. 3 p.

- HELLAL, Farid A; ABDELHAMID, Magdi T. NUTRIENT MANAGEMENT PRACTICES FOR ENHANCING SOYBEAN (*Glycine max* L.) PRODUCTION. **Acta Biológica Colombiana**, v. 18, n. 2, p. 239 - 250, 2013.
- HIRAKURI, Marcelo Hiroshi et al. **Análise financeira da produção de soja na macrorregião sojícola 5**. In: HIRAKURI, Marcelo Hiroshi et al. Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícola 5. Londrina: Embrapa Soja, 2018. p. 63 - 98.
- HOLLAND, Jonathan E. et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. **Science of The Total Environment**, v. 610 - 611, p. 316 - 332, jan., de 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **DADOS HISTÓRICOS ANUAIS**. 2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso: em 20 de fevereiro de 2021.
- KHAKI, Saeed; WANG, Lizhi; ARCHONTOULIS, Sotirios V. A CNN-RNN Framework for Crop Yield Prediction. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, jan., 2020.
- KÖPPEN, Wladimir; GEIGER, Rudolf. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.
- LUMBRERAS, José Francisco et al. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 48 p. 2015.
- MALAVOLTA, Eurípedes; VITTI, Godofredo Cesar; ALBERTO, Sebastião. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MANEIRA, Roberto; VILELA, Rafael. **Uso de granulados de solo para cultura da soja**. Informativo Técnico Nortox, 2021. 5 p.
- MARTIN, Thomas Newton; PIRES, João Leonardo Fernandes; VEY, Rosana Taschetto. **Tecnologias Aplicadas para o Manejo Rentável e Eficiente da Cultura da Soja**. Santa Maria: GR, 2022. 527 p.
- MATHEW, Isack et al. Grain Yield Potential and Stability of Soybean Genotypes of Different Ages across Diverse Environments in Southern Africa. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1147 - 1158, mai., 2022.
- MONTANARI, Rafael et al. Variabilidade espacial da produtividade de sorgo e de atributos do solo na região do Ecótono Cerrado-Pantanal, MS. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 39, n. 2, p. 385 - 396, 2015.
- NIDERA SEMENTES. **NIDERA SEMENTES - Dia de Campo Virtual NS 6906 IPRO**. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=qK6yQBBBBqg>>. Acesso em: 30 de out. de 2020.
- OLIVEIRA, Marcelo Alvares de et al. Teores de óleo e proteína em grãos de soja, com diferentes manejos de percevejo, da colheita ao armazenamento, utilizando a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR). In: AMERICAS: INTERNATIONAL CONFERENCE ON

SOYBEAN UTILIZATION, 2013, Bento Gonçalves. **Conference Proceedings**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 1 - 5 p.

PADUA, Eduane José. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. 2012. 92 f. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

PEREIRA, Cassiano Spaziani et al. DOSES DE POTÁSSIO COM A PRESENÇA DE ENXOFRE NA CULTURA DA SOJA. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 9, p. 22 - 32, 2016.

PIMENTEL GOMES, Frederico. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477p.

PÍPOLO, Antonio Eduardo et al. **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 15 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 86).

POKHREL, Sapana et al. Impact of cover crops and poultry litter on selected soil properties and yield in dryland Soybean production. **Agronomy**, cidade, v. 11, n. 1, jan., 2021.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2019. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RAZA, Muhammad Ali et al. Land productivity and water use efficiency of maize-soybean strip intercropping systems in semi-arid areas: A case study in Punjab Province, Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, v. 308, jul., 2021.

RIBEIRO, João Everthon da Silva et al. Seasonal variation in gas exchange by plants of *Erythroxylum simonis* Plowman. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 2, abr/jun., 2018.

ROSOLEM, Ciro Antônio et al. Chapter Five - Enhanced Plant Rooting and Crop System Management for Improved N Use Efficiency. **Advances in Agronomy**, v. 146, p. 205 - 239, 2017.

SÁ, João Carlos de Moraes et al. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation Development**, v. 26, p. 531 - 546, 2015.

SEIXAS, Claudine Dinali Santos et al. **Tecnologias de Produção de Soja**. 21. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p.

SERAFIMA, Milson Evaldo et al. Reference values and soil quality in areas of high soybean yield in Cerrado region, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 195, dez., 2019.

SHAPIRO, Samuel Sanford; WILK, Martin Bradbury. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

SOARES, Igor Oliveri et al. Adaptability of soybean cultivars in different crop years. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 3, p. 8995 - 9003, ago., 2015.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson. Cerrado: correção do solo e adubação. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SWARUP, Shilpa et al. Genetic diversity is indispensable for plant breeding to improve crops. **Crop Science**, v. 61, p. 839 - 852, fev., 2021.

THAPA, Sushil et al. Managing Micronutrients for Improving Soil Fertility, Health, and Soybean Yield. **Sustainability**, v. 13, n. 21, out., 2021.

TOLEDO, Rubén E. INTERACCIÓN AMBIENTE Y GENOTIPO EN SOJA. In: TOLEDO, Rubén E. **Soja: Su ecofisiología y manejo**. Cordoba: FCA, 2018. p. 10.

VAL, Bruno Henrique Pedroso et al. Identification of superior soybean lines by assessing genetic parameters and path analysis of grain yield components. **African Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 8, p. 328 - 336, 2017.

VAL, Bruno Henrique Pedroso et al. Diversidade genética de genótipos de soja por meio de caracteres agromorfológicos. **Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, v. 6, n. 1, p. 72 - 83, 2014.

VIANNA, Mariana Silva et al. Selection of lineages, genetic parameters, and correlations between soybean characters. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 35, n. 5, 2019.

VOGEL, Jonathan T. et al. Soybean Yield Formation Physiology - A Foundation for Precision Breeding Based Improvement. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, nov., 2021.

WEI, Marcelo Chan Fu; MOLIN, José Paulo. Soybean yield estimation and its components: a linear regression approach. **Agriculture**, v. 10, n. 8, ago., 2020.

WELLBURN, Alan R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v. 144, p. 307 - 313, 1994.

WULANNINGTYAS, Heppy Suci et al. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 205, jan., 2021.

CAPÍTULO 2

ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS DE PLINTOSSOLOS PÉTRICOS E LATOSSOLOS AMARELOS CULTIVADOS COM SOJA SOB PLANTIO DIRETO

RESUMO

O solo é um sistema complexo que apresenta diversas características e propriedades, que devem ser estudadas para considerar a sua variabilidade espacial e o manejo a ser adotado. No Tocantins predominam: os Plintossolos Pétricos, que são caracterizados principalmente pela alta concentração de petroplintitas, proporcionando um baixo volume de solo a ser explorado pelas raízes. Portanto, objetiva-se caracterizar os atributos químicos, físico-hídricos e biológicos de Plintossolos Pétricos concrecionários (FFc) e Latossolos Amarelos distróficos (Lad) no Estado do Tocantins. O experimento foi conduzido em Porto Nacional no sistema de plantio direto em sequeiro. Os ensaios foram instalados em delineamento em blocos casualizados com quatro tratamentos (cultivares de soja) e quatro repetições em duas áreas distintas (FFc e Lad). Foram analisados os atributos químicos e granulométricos (areia, silte e argila), físico-hídricos (volume das frações do solo, umidade gravimétrica, curva de retenção de água no solo) e biológicos do solo (respiração do solo - RS, biomassa microbiana do solo - BMS e quociente metabólico - qCO_2) nas diferentes classes de solos. Os resultados físico-hídricos foram analisados através da estatística descritiva. E os atributos químicos e granulométricos foram avaliados por meio de análises multivariadas sendo empregada a técnica dos componentes principais (PCA), e os biológicos por meio da análise de variância (ANOVA), sendo adotado o teste de média Tukey ($p > 0,05$). O Lad apresentou maior acidez, o que pode ter reduzido seu potencial produtivo. Enquanto o FFc revelou as maiores concentrações de nutrientes, podendo ter colaborado com a produtividade da cultura. Com as avaliações de monitoramento da umidade durante a safra foi verificado que o Lad apresenta um maior conteúdo de água. Com isso em anos com menores precipitações, as cultivares plantadas em FFc podem sofrer mais restrições hídricas. A curva de retenção de água nos solos, revelou que o solo com cascalho armazena menos água, porém os cascalhos presentes nesse solo foram desconsiderados, e sua umidade foi negligenciada. O plantio direto tem o potencial de contribuir com a sustentabilidade agrícola, pois promove o acúmulo dos resíduos vegetais na superfície do solo. Para avaliar os efeitos do manejo do solo e da cultura na atividade dos microrganismos, os atributos RS, BMS e o qCO_2 foram utilizados. Vale ressaltar que os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza. Desta maneira, conclui-se que ambos os solos exibem a textura argilosa na terra fina. Os caracteres químicos diferenciaram os solos estudados. Os atributos físico-hídricos revelaram que o Lad apresentou maior umidade volumétrica, umidade gravimétrica e água disponível que o FFc em toda a safra. O volume ocupado pelas frações mais grosseiras (calhau + cascalho) podem chegar a ocupar mais de 40%

do volume total no FFC estudado. Biologicamente os dois solos apresentaram-se semelhantes entre si (RS, BSM e qCO_2), pois demonstraram equilíbrio da comunidade microbiana quando sob sistema de plantio direto. Desta forma, ambos os solos apresentam potencial agrícola mesmo ficando evidente as diferenças entre as classes de solos no que se refere as características químicas e físicas.

Palavras-Chave: Fertilidade. Umidade. Água disponível. Qualidade do solo.

ABSTRACT

The soil is a complex system that presents several characteristics and properties, which must be studied to consider its spatial variability and the management to be adopted. In Tocantins, the Petric Plinthosols predominate, which are characterized mainly by the high concentration of petroplintites, providing a low volume of soil to be exploited by the roots. Therefore, the objective is to characterize the chemical, physico-hydric and biological attributes of concretionary Petric Plinthosols (FFc) and Dystrophic Yellow Oxisols (Lad) in the State of Tocantins. The experiment was carried out in Porto Nacional in the no-tillage system in rainfed conditions. The trials were set up in a randomized block design with four treatments (soybean cultivars) and four replications in two different areas (FFc and Lad). The chemical and granulometric attributes (sand, silt and clay), physical-hydric (volume of soil fractions, gravimetric humidity, water retention curve in the soil) and soil biological (soil respiration - RS, microbial biomass of the soil) were analyzed. soil - BMS and metabolic quotient - qCO_2) in different soil classes. The physical-hydric results were analyzed using descriptive statistics. And the chemical and granulometric attributes were evaluated through multivariate analysis using the principal components technique (PCA), and the biological through analysis of variance (ANOVA), using the Tukey mean test ($p > 0.05$). Lad showed higher acidity, which may have reduced its productive potential. While the FFc revealed the highest concentrations of nutrients, which may have contributed to the productivity of the crop. With the humidity monitoring evaluations during the harvest, it was verified that the Lad has a higher water content. As a result, in years with less rainfall, cultivars planted in FFc may suffer more water restrictions. The soil water retention curve revealed that the soil with gravel stores less water, but the gravel present in that soil was disregarded, and its moisture was neglected. No-tillage has the potential to contribute to agricultural sustainability, as it promotes the accumulation of plant residues on the soil surface. To evaluate the effects of soil and crop management on the activity of microorganisms, the RS, BMS and qCO_2 attributes were used. It is noteworthy that the organisms that inhabit the soil are sensitive to changes of any kind. In this way, it is concluded that both soils exhibit clayey texture in fine earth. The chemical characters differentiated the studied soils. The physical-hydric attributes revealed that Lad had higher volumetric moisture, gravimetric moisture and available water than FFc throughout the season. The volume occupied by the coarsest fractions (pebble + gravel) can occupy more than 40% of the total volume in the studied FFc. Biologically, the two soils were similar to each other (RS, BSM and qCO_2), as they demonstrated balance in the microbial community when under no-

tillage system. In this way, both soils have agricultural potential even though the differences between the soil classes are evident in terms of chemical and physical characteristics.

Keywords: Fertility. Moisture. Water available. Soil quality.

1 INTRODUÇÃO

O solo é um sistema complexo que apresenta diversas características e propriedades, que podem ser mais bem estudadas para considerar a sua variabilidade espacial, possibilitando evidenciar locais que necessitam de um manejo diferenciado (SILVA et al., 2015). É fundamental para a produção agrícola, visto que é um ambiente favorável para o desenvolvimento vegetal, por meio de atributos físico-químicos (BRUM et al., 2019).

A classificação de um solo é obtida a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representa. São também utilizados aspectos ambientais do local do perfil, tais como: clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo-paisagem (SiBCS - SANTOS et al., 2018).

No Brasil, predominam os Latossolos, Argissolos e Neossolos, que no conjunto se distribuem em aproximadamente 70% do território nacional (EMBRAPA, 2011). Os Plintossolos ocupam cerca de 5% do território nacional. Suas maiores extensões ocorrem nas regiões Norte e Centro-Oeste do país, as quais concentram, respectivamente, 50% e 28% das áreas de Plintossolos do país (IBGE, 2019). O estado do Tocantins que detém as suas maiores extensões no Brasil, distribuindo-se por aproximadamente 36% do Estado (IBGE, 2019).

No Estado do Tocantins, predominam os Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Plintossolos. De acordo com IBGE (2019), a classe dos Plintossolos é a mais abundante no estado, a classe no nível de subordem mais frequente é a dos Plintossolo Pétricos (25%), seguida pelos Plintossolos Argilúvicos (8%) e Plintossolos Háplicos (3%).

Os Plintossolos são divididos em três subordens, Pétrico, Argilúvicos e Háplicos. Entre eles podemos destacar os Plintossolos Pétricos, que são solos com horizonte concrecionário, exceto quando precedido por horizonte plíntico. Entre os Plintossolos Pétricos, os concrecionários se destacam por serem solos com horizonte concrecionário em posição diagnóstica dentro de 40 cm a partir da sua superfície (SiBCS - SANTOS et al., 2018).

A limitação dos Plintossolos caracteriza-se principalmente pela alta concentração de petroplintitas que proporcionam um baixo volume de solo a ser explorado pelo sistema radicular das plantas (SOBRINHO et al., 2021) além de proporcionar, muitas vezes, impedimento físico para as práticas mecanizadas nos cultivos agrícolas. Devido a esses fatores a pastagem cultivada ou nativa ainda é a principal indicação atribuída aos Plintossolos Pétricos com restrições quanto à profundidade efetiva física (SOBRINHO et al., 2021).

Os Latossolos são divididos em quatro subordens, entre elas encontramos os Latossolos Amarelos, que são considerados solos com matiz 7,5YR ou mais amarelo na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA). Entre os Latossolos Amarelos temos: os distróficos que se destacam por apresentarem saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) (SiBCS - DOS SANTOS et al., 2018). São solos com grande aptidão para a agricultura, sendo possível o uso com culturas anuais de elevada importância econômica. Sua principal limitação é a baixa fertilidade e acidez natural. Apesar de sua elevada aptidão agrícola, demandam de estratégias para a mitigação da erosão (RIBEIRO, 2019).

Com o advento da expansão da fronteira agrícola para região Norte do país, fez-se necessário o cultivo em áreas com aptidão reduzida para a agricultura. Passaram-se então a serem incorporadas ao sistema produtivo solos de baixa qualidade (CAMPOS et al., 2019).

Um exemplo de expansão agrícola em áreas com restrição aos cultivos anuais ocorre no TO, onde a evolução da área cultivada com soja mostra o avanço da agricultura em praticamente em todo o estado (CAMPOS et al., 2019). Assim, locais com restrições ao cultivo anual, como áreas de Plintossolos Pétricos (LUMBRERAS et al., 2015), têm sido cada vez mais utilizados para produções de culturas agrícolas como a soja e o milho, por vezes sem um pacote tecnológico necessário para uma produção sustentável (ALMEIDA et al., 2020).

O Tocantins está situado em uma região com grande expansão agrícola, desse modo as áreas com Latossolos já se encontram ocupadas, porém, diante da necessidade de ocupação e incorporação das terras aos processos produtivos, áreas como Plintossolos Pétricos estão sendo utilizadas para o cultivo de grãos. Vale salientar, que são poucas as pesquisas que possam auxiliar na recomendação de técnicas e/ou manejo ideal para o cultivo agrícola nessas áreas. Dessa forma, encontramos produtores cultivando em ambos os solos e utilizando o mesmo manejo, mesmo sendo classes tão distintas.

Assim sendo, esse capítulo tem o objetivo de avaliar a capacidade produtiva de Plintossolos Pétricos e Latossolos Amarelos no Estado do Tocantins, por meio da avaliação e comparação das características químicas, granulométrica, físico-hídricas e biológicas dessas classes de solos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Chapadão, que pertence ao Grupo Wink, com localização em Porto Nacional, TO - Brasil. O município tem clima tropical, como período chuvoso mais predominante no verão, sua pluviosidade média anual de 1.622 mm. A classificação do clima é Aw de acordo com a Köppen; Geiger (1928), e com temperatura média de 27.4 °C.

Para compor o histórico de uso e ocupação do solo da área de interesse, foi realizada uma anamnese com o produtor, onde o mesmo informou que no talhão onde foi instalado o experimento havia o plantio de *Pinus sp.*, e que em dezembro de 2015 a área foi totalmente convertida para o plantio de culturas anuais produtoras de grãos.

Foram feitos os estudos preliminares do solo antes da implantação do experimento. Sendo abertas duas trincheiras para descrição dos perfis e coletadas amostras deformadas e indeformadas para caracterização química e física das duas áreas. Nas trincheiras foram separados os horizontes e feitas observações das características morfológicas: textura, consistência, cor, estrutura, transição entre horizontes. Posteriormente, com todos os laudos analíticos os solos foram classificados: experimento I - Plintossolo Pétrico concrecionário distrófico típico A fraco, textura argilosa - FFc (Figura 11) e no experimento II - Latossolo Amarelo distrófico plintossólico A fraco, textura argilo arenosa - Lad (Figura 12) (SiBCS - DOS SANTOS et al., 2018).

Figura 11 - Plintossolo Pétrico concretionário distrófico típico A fraco, textura argilosa



Fonte: RAMOS, 2020.

Figura 12 - Latossolo Amarelo distrófico plintossólico A fraco, textura argilo arenosa



Fonte: RAMOS, 2020.

O estudo foi conduzido em sistema de PD em sequeiro, na safra 2020/2021, em duas áreas distintas, sendo experimento I - FFC sob as coordenadas (10°30'23.61"S e 48°34'14.34"O 445 m de altitude) e o experimento II - Lad (10°30'23.75"S e 48°34'0.09"O 441 m de altitude). Os ensaios foram instalados em DBC com quatro tratamentos (cultivares de soja - 8473 RSF RR, 81I81 RSF IPRO, NS 7901 RR e NS 6906 IPRO) e quatro repetições.

A unidade experimental (parcela) foi composta por 4 filas de 5 m, distanciadas 0,45 m entre si, totalizando uma área de 9 m². Foi determinado em cada unidade experimental uma área útil, que correspondia as 2 linhas centrais de plantio, por 3 m de comprimento, ficando como bordadura, 1 m de cada lado da parcela experimental.

A área experimental pertence a um talhão produtivo da fazenda, que teve o manejo de calagem e adubação com base na análise de solo (Tabela 10) para obter a elevação da saturação por bases a 64% (45% de cálcio, 16% de magnésio e 3% de potássio), esse manejo ocorreu previamente a instalação do experimento, em agosto de 2020, onde foram aplicados 1,2 t ha⁻¹ de calcário e logo em seguida 500 kg ha⁻¹ de gesso.

Tabela 10 - Atributos químicos e granulométricos de diferentes classes de solos na camada superficial 0 - 20 cm

Prof	pH CaCl ₂	v%	P _{mehlich}	K ⁺	Mn	Zn	Fe	Cu	
Solos	cm	%	mg dm ³						
FFc	5,90	89,34	12,76	109,50	19,00	9,25	111,35	0,90	
Lad	5,73	77,59	3,64	182,50	9,60	1,20	35,60	0,80	
	0-20	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	M.O.S	Areia	Silte	Argila
		cmol _c .dm ³				g kg ⁻¹			
FFc	12,57	5,14	2,03	0,00	37,52	407,60	129,40	463,00	
Lad	6,40	2,20	2,59	0,00	31,23	415,70	115,80	468,50	

Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): Lad = Latossolo Amarelo distrófico; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Prof = profundidade; pH = potencial hidrogeniônico; P = fósforo; K⁺ = potássio; Mn = manganês; Zn = zinco; Fe = ferro; Cu = cobre; Ca²⁺ = cálcio; Mg²⁺ = magnésio; Al³⁺ = alumínio; H⁺ + Al³⁺ = acidez potencial do solo; v% = porcentagem de saturação por bases; M.O.S = matéria orgânica; areia, silte e argila = não receberam acrônimos.

No dia do plantio foi realizada a adubação de plantio, sendo aplicada em uma semeadora da John Deere modelo CCS2134 de 34 linhas, sendo utilizados: 300 kg ha⁻¹ do formulado 07-40-00 sendo 21 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) e 120 kg ha⁻¹ de fósforo (P) e 200 kg ha⁻¹ de KCl que corresponde a 116 kg ha⁻¹ de potássio (K) e 90 kg ha⁻¹ de cloro (Cl).

Logo depois, utilizando os sulcos já abertos foram semeadas as cultivares com uma semeadora mecânica de 1 linha acoplada em um micro trator. Sendo aplicada a densidade de semeadura conforme a recomendação das empresas: 25 sem/m das cultivares 8473 RSF RR e NS 6906 IPRO, 15 sem/m das cultivares 81I81 RSF IPRO e NS 7901 RR. As práticas de manejo e os tratos culturais da soja foram realizados conforme manejo da fazenda.

2.1 Avaliações de monitoramento dos solos

Logo após a implantação do experimento foram realizadas às primeiras coletas para análise química, granulometria do solo, umidade gravimétrica do solo e para determinação da curva de retenção de água nos solos.

A profundidade de coleta no FFc foram 0 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm e 30 - 40 cm e no Lad foram 0 - 10 cm, 10 - 15 cm, 15 - 25 cm, 25 - 33 cm e 33 - 40 cm de acordo com a morfologia do solo que caracterizava seus respectivos horizontes.

A análise granulométrica foi determinada no plantio, a análise química do solo foi avaliada em três épocas, sendo a primeira no dia do plantio, a segunda com 41 DAE, e a última com 112 dias após o plantio, aproximadamente 2 dias após a colheita da última cultivar de soja no experimento.

A umidade gravimétrica do solo foi avaliada em 6 épocas, sendo a primeira no dia do plantio e as demais avaliações tiveram intervalo de 15 dias entre as amostragens.

Aos 112 dias após o plantio também foram determinados os atributos biológicos do solo (Respiração do Solo - RS, Biomassa Microbiana do Solo - BMS e Quociente Metabólico - qCO_2).

2.1.1 Análise química do solo

A primeira avaliação ocorreu no dia do plantio, objetivando-se ter uma amostra no tempo zero, com um trado holandês foram coletadas amostras deformadas de solo em três pontos de coleta simples em toda área (cada solo) nas profundidades citadas (item 2.1).

O solo coletado foi misturado e feita uma amostra composta (para cada profundidade coletada), em seguida as amostras foram colocadas em sacos limpos e sem uso, identificadas e encaminhadas ao laboratório, onde foi feita a análise de acordo com a metodologia de Teixeira et al., (2017).

A segunda avaliação química do solo ocorreu com 41 DAE, sendo a metodologia de coleta do solo e da análise no laboratório igual a primeira avaliação química do solo. Já a terceira amostragem química do solo foi realizada aos 112 dias após o plantio, com o objetivo de verificar o solo quimicamente ao final do ciclo da cultura. Nessa amostragem a amostragem de solo ocorreu na camada superficial, sendo de 0 a 20 cm (nos 2 experimentos), sendo feitos 3 pontos de coleta simples por parcela, em seguida houve a mistura do solo do bloco 1 com o bloco 3, e do solo do bloco 2 com o bloco 4, totalizando 8 amostras compostas (para cada experimento), o procedimento no laboratório ocorreu do mesmo modo que as demais análises químicas.

No laboratório foram determinados conforme a metodologia de Teixeira et al., (2017) os seguintes parâmetros: Fósforo - P, Alumínio - Al^{3+} , Cálcio - Ca^{2+} , Magnésio - Mg^{2+} , Potássio - K^+ , Sódio - Na^+ , Cobre - Cu, Ferro - Fe, Manganês - Mn, Zinco - Zn, Acidez potencial do solo - $H^+ + Al^{3+}$, Soma de bases trocáveis - SB, Capacidade de troca catiônica - CTC, CTC efetiva - CTC_e , Porcentagem de saturação por bases - v%, Porcentagem de saturação por alumínio - m%, Enxofre - S, Potencial Hidrogeniônico - pH, Carbono Orgânico - C_{org} e Matéria Orgânica - M.O.S.

2.1.2 Análise granulométrica do solo (Areia, Silte e Argila)

Para a análise granulométrica do solo foi a coleta de solo no dia do plantio, seguindo a mesma metodologia de coleta da primeira análise química (item 2.1.1). O solo coletado foi encaminhado ao laboratório, onde foi feita o teor de areia, silte e argila de acordo com a metodologia de Teixeira et al., (2017). O objetivo dessa avaliação era determinar a textura dos solos estudados.

2.1.3 Análise físico-hídrica do solo

2.1.3.1 Determinação da massa e volume das frações do solo

As amostras foram coletadas quando estava sendo caracterizadas as áreas do estudo, nos mesmos horizontes identificados através da descrição do perfil, coletando aproximadamente 2,5 kg de material. As amostras foram identificadas e encaminhadas ao laboratório para posterior determinação dos respectivos volumes e massas.

No laboratório as amostras foram secas em estufa a 105 °C por 48 h. Em seguida foram pesadas na balança para obtenção da massa total, após essa pesagem, todas as amostras foram submetidas ao processo de peneiração e separação de grãos. As peneiras apresentavam aberturas de 32,16, 8, 4 e 2 mm. As frações já separadas foram identificadas.

Em seguida foram lavadas, com exceção da amostra fração 2 mm (terra fina), com o auxílio de um chuveirinho e peneira comum a fim de remover a terra fina adquirida aos fragmentos de maior granulometria. Posteriormente foram submetidas ao processo de mensuração de sua volumetria.

Cada uma das frações foi imersa em uma proveta graduada (com capacidade de 2000 mL) contendo 1000 mL de água. O volume de água descolado pelo material imerso corresponde ao volume daquela fração em particular. Já na volumetria de terra fina (2 mm), uma pequena amostra de 10 g foi adicionada a uma proveta menor (50 mL) à qual foi adicionada 20 mL de água e realizado mesmo procedimento de leitura. Após a realização destes procedimentos, as frações do material foram colocadas para secar em estufa a 105 °C por 24 h e então pesadas em balança mais uma vez para obtenção da massa de cada uma destas.

2.1.3.2 Umidade gravimétrica do solo

A umidade gravimétrica do solo foi avaliada por meio da coleta simples de solo em três pontos na área total de cada experimento, nas mesmas profundidades de coleta já citadas (item 2.1), totalizando 6 épocas de avaliação, sendo a primeira coleta no dia do plantio e as demais amostragens foram realizadas a cada 15 dias (15, 29, 41, 57 e 71 DAE). O objetivo das coletas eram acompanhar a umidade do solo durante todo o ciclo da soja.

Com o auxílio de um trado holandês as amostras deformadas foram retiradas. O peso úmido foi feito a campo usando uma balança digital (scale professional-mini) onde foi aferido o peso do conjunto (solo úmido + papel filme + identificação). As amostras foram encaminhadas ao laboratório para secagem e para a posterior pesagem.

No laboratório o solo foi seco em estufa a 105 °C, até peso constante. Posteriormente as amostras foram pesadas novamente (TEIXEIRA et al., (2017)). Com base nas alterações na massa do solo, o percentual de umidade é calculado.

2.1.3.3 Curva retenção de água nos solos

A coleta de solo para obtenção da curva de retenção da água dos solos também ocorreu no dia do plantio, onde foram feitos três pontos de coleta simples em toda área para cada experimento nas profundidades já citadas (item 2.1).

O solo foi coletado utilizando um trado holandês, em seguida ocorreu a mistura do solo para a retirada de uma amostra composta (para cada profundidade), em seguida as amostras deformadas foram depositadas em sacos limpos e sem uso, identificada e entregues no laboratório.

No laboratório seguindo a metodologia de Teixeira et al., (2017) com adaptações, o solo foi depositado em anel cilíndricos numerados, com volume e massa conhecidos. Em seguida o material foi ajustado com uma espátula para que ocupasse todo o volume do anel. A parte inferior do anel (borda cortante) foi envolvida com um pano poroso (*voil*) e preso com uma liga de borracha.

As amostras foram colocadas em uma bandeja com água destilada, até metade da altura do anel, para que ocorresse a saturação do meio (amostra + pano poroso) durante uma média de 24 h. Após a saturação as amostras foram pesadas, para determinar o conteúdo de água nas amostras no ponto de saturação.

Posteriormente as amostras foram levadas para o extrator de Richards, onde foi aplicado os pontos de tensão (6, 10, 30, 60, 100, 360, 600, 1000 e 1500 Kilopascal - kPa). A cada tensão aplicada (sempre em ordem crescente) a amostra era retirada do extrator, e após cessar a drenagem excedente de umidade (equilíbrio entre a tensão aplicada e a umidade relacionada) era efetuada a pesagem, em seguida voltava para o extrator, onde se ajustava a tensão e dava continuidade na análise.

Ao finalizar todas as tensões aplicadas, as amostras foram levadas a estufa a 105 °C, até peso constante, para verificar o peso seco do solo. O modelo de VAN GENUCHTEN, (1980) foi empregado para ajustar os dados observados. O intuito dessa avaliação era determinar a curva de retenção da água no solo presente no plantio.

2.1.4 Atributos biológicos do solo (Respiração do Solo - RS, Biomassa Microbiana do Solo - BMS e Quociente Metabólico - qCO₂)

A amostragem de solo a para determinação dos atributos biológicos do solo foi realizada aos 112 após o plantio da soja. Em cada parcela foram realizados oito pontos de amostragem (amostra simples) no horizonte A.

O solo foi retirado com um trado holandês em seguida foi misturado e feita uma amostra composta para cada parcela. As amostras foram depositadas em saco plástico limpo, identificado e encaminhadas ao laboratório. Onde foram realizadas as seguintes análises: RS, BMS e qCO₂. Todas as análises foram realizadas em triplicatas. Foi-se necessário determinar a capacidade de retenção (CR) de água do solo e corrigi-la a 60%.

2.1.4.1 Determinação da capacidade de retenção de água do solo

A CR da água do solo foi determinada, conforme Monteiro e Frighetto (2000), é um dos fatores limitantes da atividade dos microrganismos, e se apresenta de forma extremamente variável entre os solos, em função principalmente dos teores de argila e matéria orgânica.

$$CR = ((100 - AP) + AS) / SS \times 100 \quad (5)$$

Em que:

CR - Capacidade de retenção (%).

AP - Água percolada (g).

AS - Água existente no solo (g).

SS - Massa do solo seco (g), obtido após a secagem do solo úmido em estufa (105 °C) até massa constante.

A partir da determinação da CR foi necessário determinar a capacidade de retenção de água estabelecida a 60% da CR.

$$\text{Capacidade de retenção estabelecida} = \text{CR} \times 0,6 \quad (6)$$

E por fim com a capacidade de retenção estabelecida foi calculada a quantidade necessária de água a adicionar ao solo para atingir CR (60%).

$$\text{Água} = \text{CR (60\%)} - \text{AS} \quad (7)$$

2.1.4.2 Respiração do solo

Para a determinação da RS foi utilizada a metodologia de respiração do solo em sistema estático, método de (ALEF, 1995). Foi necessário determinar a capacidade de retenção de água e corrigir a umidade para 60,0 % da CR, com água destilada.

A respiração do solo (RS) foi calculada de acordo com Stotzky (1965).

$$\text{RS} = [((b - a) \times n \times E \times 1000) / g] / h \quad (8)$$

Em que:

RS - Respiração do Solo (C-CO₂ mg kg⁻¹ h⁻¹).

b - Volume de ácido clorídrico - HCl gasto na prova em branco (mL).

a - Volume de HCl gasto na amostra (mL).

n - Normalidade do HCl.

E - Equivalente do carbono.

g - Massa de solo seco (g).

h - horas de incubação (h).

2.1.4.3 Biomassa microbiana do solo

Foi utilizada a metodologia de Respiração Induzida pelo Substrato (RIS) (ANDERSON e DOMSCH, 1978). Foi necessário determinar a capacidade de retenção de água e corrigir a umidade para 60,0 % da CR, com água destilada.

$$\text{BMS} = 30 (b - a) \times (k \times 22 \times 1000) / (1,8295 \times \text{PA} \times 4) \quad (9)$$

Em que:

BMS - Carbono da Biomassa Microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}$).

30 - Constante ($\text{mg Cmic h mL CO}_2^{-1}$).

b - Média do volume de HCl gasto para titular as provas em branco (mL).

a - HCl gasto para titular as amostras (mL).

k - Concentração da solução de HCl.

22 - Fator de conversão (1,0 mL de HCl 1,0 M corresponde a 22,0 mg de CO_2).

1.000 - Fator de conversão de kg de solo para g de solo.

1,8295 - Densidade do CO_2 a 22 °C.

PA - Massa da amostra (g de solo seco).

4 - Fator de conversão para transformação de 4 para 1 h.

2.1.4.4 Quociente metabólico

O quociente metabólico foi calculado pela razão entre a RS e o carbono da BMS (PIRT, 1975; ANDERSON e DOMSCH, 1978).

$$q\text{CO}_2 = \text{BMS} / \text{RM} \quad (10)$$

Em que:

$q\text{CO}_2$ - quociente metabólico ($\text{mgC-CO}_2.\text{g}^{-1} \text{ BMS-C.h}^{-1}$).

BMS - Biomassa Microbiana do Solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$).

RM - Respiração do solo ($\text{C-CO}_2 \text{ mg Kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

2.2. Análise estatística

Foi realizada a análise estatística descritiva dos atributos físico-hídricos (curva de retenção de água nos solos e umidade do solo). Para compreender a influência dos atributos químicos e granulométricos do solo, o procedimento de análises multivariadas foi empregado, com a técnica dos componentes principais (PCA). Essas análises foram realizadas no programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

Ademais, para as avaliações dos atributos biológicos dos solos, os dados foram avaliados, de modo a testar a diferença significativa entre as classes de solo. Os dados obtidos foram analisados por meio da ANOVA para cada variável, e os casos de significância do teste f da ANOVA foram analisados pelo teste de separação de média Tukey adotando o nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS

3.1 Atributos químicos e granulométricos do solo

Os resultados da primeira coleta para avaliação dos atributos químicos dos diferentes solos apontam que os teores de P, Mn, Zn, Fe, Cu, Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram-se maiores no FFc na camada superficial do solo (0 - 20 cm), o K^+ foi o único nutriente com maior concentração no solo sem cascalho na mesma profundidade avaliada. Conforme a Tabela 10 o solo com cascalho apresentou o maior valor de pH, v % e M.O.S na camada superficial do solo (0 - 20 cm), sendo considerado o solo menos ácido e com maior saturação de bases do estudo. Mesmo sendo diferentes os teores de M.O.S ambos os solos apresentaram valores médios para essa variável (RIBEIRO et al., 1999).

De acordo com Sousa; Lobato, (2004) na profundidade de 0 - 20 cm os solos apresentam altos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Fe e Mn. Enquanto os nutrientes P, Cu e Zn apresentaram comportamento distintos nos solos avaliados, sendo uma média concentração de P e altas de Cu e Zn no FFc, já o solo sem cascalho apresentou um baixo conteúdo de P e médios teores de Cu e Zn. O Plintossolo Pétrico concrecionário tem menor quantidade de terra fina (Figura 17) e mostrou maiores concentrações de nutrientes quando comparado ao Latossolo Amarelo distrófico, dessa forma os nutrientes que foram disponibilizados na calagem e/ou na adubação estão acumulados no FFc, o que pode ter contribuído com aumento da fertilidade desse solo.

Em relação a granulometria na profundidade de 0 - 20 cm, foi verificado na pesquisa que as duas classes de solos têm sua textura classificada como: argila, porém a terra fina do FFc tem menos areia e argila e mais silte que o Lad (Tabela 10).

O critério de Kaiser permitiu selecionar 5 eixos (Tabela 9), todos esses eixos possuem valores de $l > 1$, resultando em um total de variância acumulada na ordem de 91%. A aplicação da PCA à matriz R resultou na captura de grande parte da variância original (73,1%) em dois eixos (Tabela 11), sendo responsáveis por resumir as informações relativas a química e granulometria dos solos a uma profundidade de coleta entre 0 - 20 cm.

Tabela 11 - Autovalores (l), percentual de variância explicada em cada autovetor e percentual cumulativo da variância explicada pelos autovetores selecionados pelo critério de Kaiser, extraídos a partir de uma matriz de correlação R entre os descritores químicos e granulométricos na camada superficial (0 - 20 cm)

Eixos	Autovalores (l)	% Variância	% Cumulativo da variância
PCA 1	12.8	55.8	55.8
PCA 2	4.0	17.3	73.1
PCA 3	1.8	8.0	81.1
PCA 4	1.2	5.3	86.4
PCA 5	1.1	4.6	91.0

Fonte: Arquivo pessoal.

O primeiro eixo tem uma forte associação com as variáveis (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H^+ + Al^{3+} , SB, CTC, CTC_e, v%, m%, pH, M.O.S, C_{org}, areia, silte, argila e Mn), enquanto o segundo eixo parece resumir as informações relacionadas ao Cu, e finalmente o terceiro eixo indica uma associação com o Fe. Os demais componentes principais obtiveram relação com os outros caracteres, mas não sendo classificadas com forte correlação ($> 0,7$) (Tabela 12).

Tabela 12 - Correlações entre os descritores químicos e granulométricos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação R . Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser

Descritores originais (p)	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5
P	-0.45	0.44	0.39	-0.30	-0.59
K^+	0.84	0.12	-0.18	-0.33	-0.13
S	-0.49	0.70	0.32	0.01	-0.33
Na^+	0.32	0.53	-0.39	-0.56	0.22
Ca^{2+}	-0.93	-0.34	0.02	0.03	-0.07
Mg^{2+}	-0.93	-0.19	0.12	0.06	0.17
Al^{3+}	0.73	0.12	0.22	0.51	0.17
H^+ + Al^{3+}	0.79	0.16	0.26	0.22	-0.27
SB	-0.94	-0.30	0.04	0.03	-0.01
CTC	-0.86	-0.32	0.19	0.15	-0.15
CTC _e	-0.94	-0.30	0.05	0.04	0
v%	-0.91	-0.36	0.02	0.01	0.02
m%	0.84	0.42	0	0.25	0.12
pH	-0.85	-0.36	-0.09	-0.20	-0.13
M.O.S	-0.75	0.47	-0.1	0.24	0.03
C _{org}	-0.75	0.47	-0.1	0.24	0.03
Areia	-0.87	0.38	-0.05	-0.06	0.20
Silte	0.78	-0.45	0.12	0.01	-0.08

Continua

Conclusão

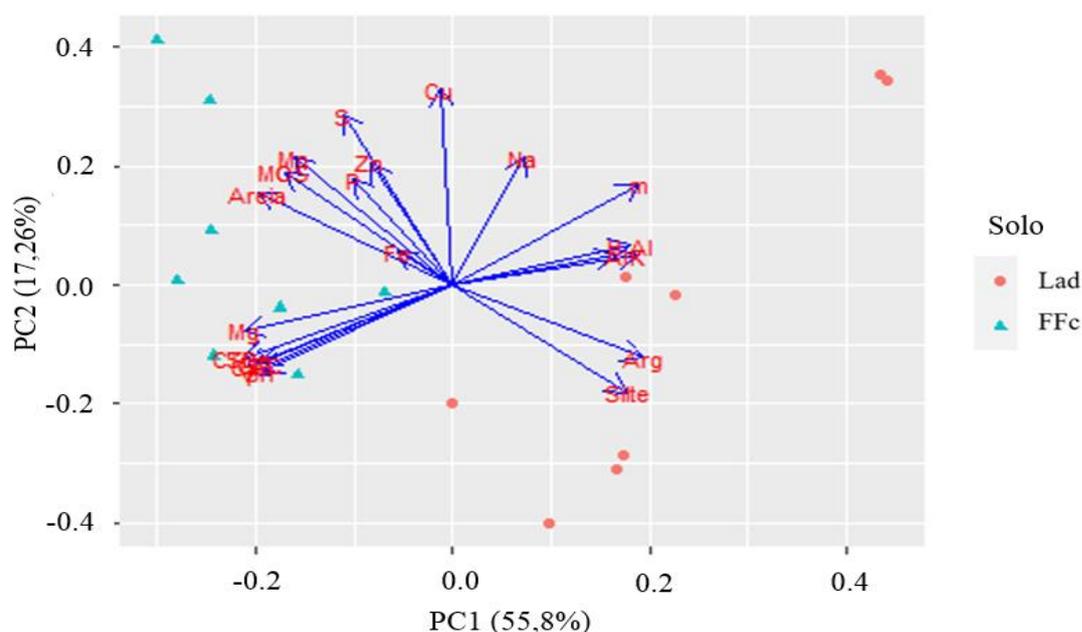
Tabela 12 - Correlações entre os descritores químicos e granulométricos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) e os componentes principais extraídos a partir de uma matriz de correlação R . Somente são apresentados os componentes principais selecionados pelo critério de Kaiser

Arg	0.85	-0.3	0	0.08	-0.27
Cu	-0.06	0.81	0.44	0.03	0.14
Fe	-0.25	0.14	-0.77	0.32	-0.20
Mn	-0.71	0.53	0.16	-0.09	0.26
Zn	-0.36	0.51	-0.62	0.18	-0.32

Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): P = fósforo; K^+ = potássio; S = enxofre; Na^+ = sódio; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; Al^{3+} = alumínio; $H^+ + Al^{3+}$ = acidez potencial do solo; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica pH_7 ; CTCe = CTC efetiva; v% = porcentagem de saturação por bases; m% = porcentagem de saturação por alumínio; pH = potencial hidrogeniônico; M.O.S = matéria orgânica; C_{org} = carbono orgânico; areia e silte = não receberam acrônimos; arg = argila; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês e Zn = zinco.

A Figura 13 apresenta uma separação dos solos no experimento, onde nota-se uma tendência dos vetores (Al, H + Al, K, m%, Arg, Silte) separarem o Lad do FFc a uma profundidade de 0 - 20 cm, enquanto os descritores (Ca, Mg, SB, CTC, CTCe, v%, pH, M.O.S, C, areia e Mn) parecem está fortemente associado ao FFc na camada superficial do solo.

Figura 13 - Diagrama de ordenação (*biplot*) resumindo os resultados da aplicação da análise de componentes principais entre os descritores químicos e granulométricos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) em diferentes classes de solos contidos na matriz Y



Fonte: Arquivo pessoal. As setas representam os descritores originais (p) da matriz Y , identificadas por seus acrônimos e os ícones gráficos (n) representam as observações segregadas segundo as cultivares utilizadas no

experimento. (legenda): Lad = Latossolo Amarelo distrófico; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; P = fósforo; K^+ = potássio; S = enxofre; Na^+ = sódio; Ca^{2+} = cálcio; Mg^{2+} = magnésio; Al^{3+} = alumínio; $H^+ + Al^{3+}$ = acidez potencial do solo; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca catiônica pH_7 ; CTCe = CTC efetiva; v% = porcentagem de saturação por bases; m% = porcentagem de saturação por alumínio; pH = potencial hidrogeniônico; M.O.S = matéria orgânica; C_{org} = carbono orgânico; areia e silte = não receberam acrônimos; arg = argila; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês e Zn = zinco.

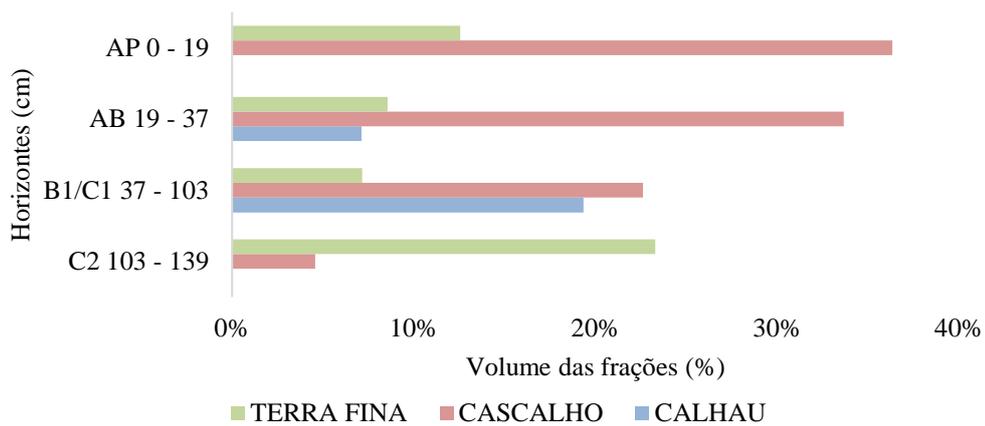
3.2 Análise físico-hídrica do solo

3.2.1 Volume das frações do solo

A Figura 14 está apresentando as proporções entre as frações do solo no FFc (calhau, cascalho e terra fina), onde é possível observar que a fração cascalho se destacou nos horizontes AP e AB, sendo volumes superiores a 34%. Também é notório que as frações do solo não seguem um padrão entre os horizontes, visto que nos horizontes AB e B1/C1 havia a presença de calhau, e essa fração do solo não esteve presente nos horizontes AP e C2. O horizonte C2 foi o único com a maior % da fração terra fina.

A comparação do esqueleto do solo (calhau + cascalho) e terra fina demonstra que em Plintossolos, o volume ocupado pelas frações mais grosseiras (calhau + cascalho) podem chegar a ocupar mais de 40% do seu volume total.

Figura 14 - Frações do solo (calhau, cascalho e terra fina) no Plintossolo Pétrico concrecionário

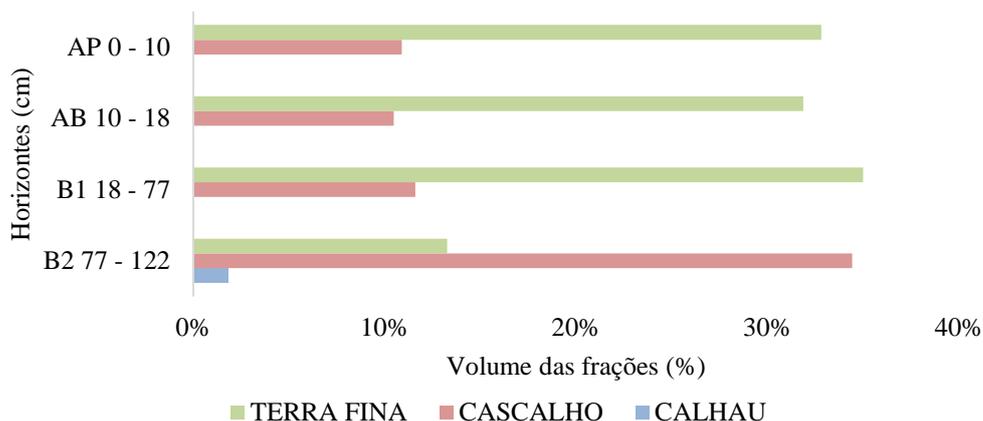


Fonte: Arquivo pessoal.

No Lad as frações do solo (calhau, cascalho e terra fina) também não seguem um padrão entre os horizontes, visto que as frações (cascalho e terra fina) diminuem e aumentam seu volume em profundidade, não seguindo um padrão. O horizonte B2 foi o único a apresentar a

fração calhau. Também é importante destacar a grande % de terra fina nos horizontes AP, AB e B1, chegando a ocupar mais de 32% do volume total desse solo (Figura 15).

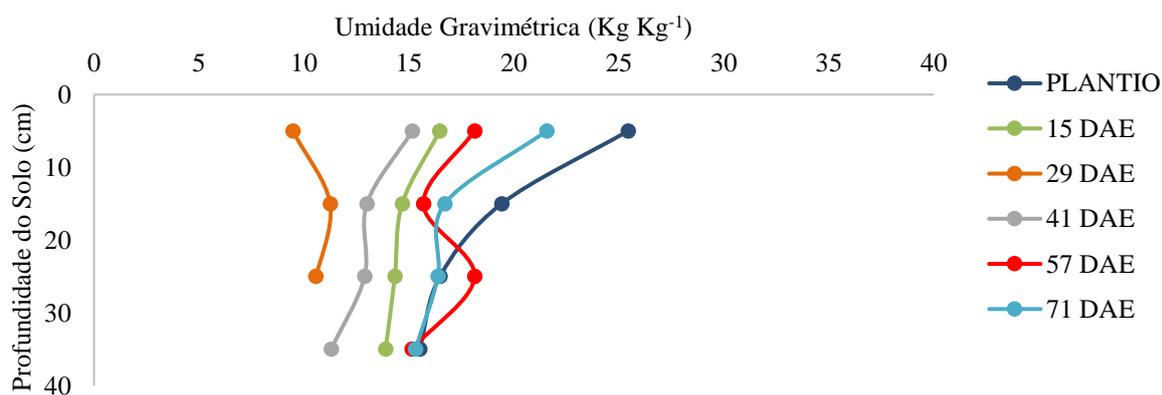
Figura 15 - Frações do solo (calhau, cascalho e terra fina) no Latossolo Amarelo distrófico



3.2.2 Umidade gravimétrica do solo

Os dados da (Figura 16) indicam que a umidade gravimétrica no FFC teve uma grande variação (9,47 a 25,44 Kg Kg⁻¹), seja ela em profundidade ou durante os dias amostrados no período da safra 2020/21. O ponto de maior umidade foi registrado no dia do plantio, na profundidade de 0 - 10 cm, enquanto o menor teor de água foi constatado aos 29 DAE também na mesma profundidade, nesse período crítico as cultivares 8473 RSF e NS 6906 estavam em R2, e a 81181 RSF e NS 7901 apresentavam-se em V8.

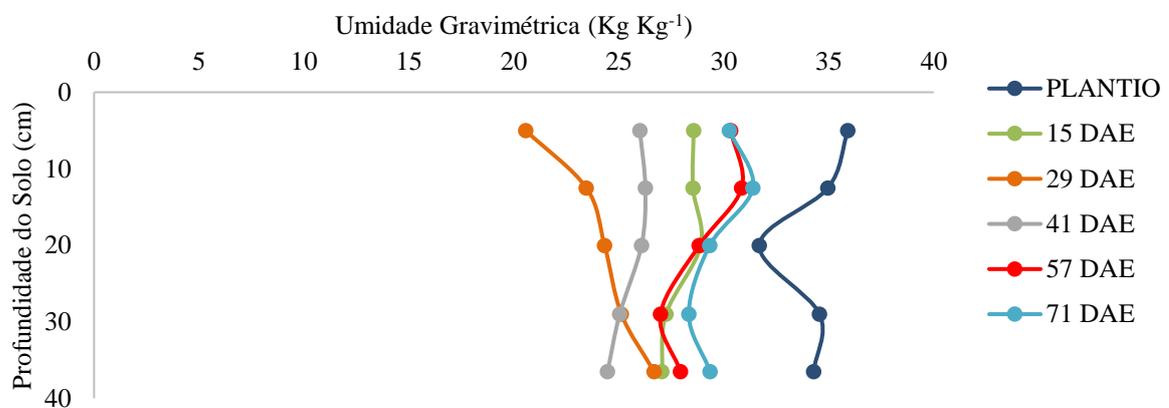
Figura 16 - Umidade gravimétrica do Plintossolo Pétrico concrecionário durante a safra 2020/21



Fonte: Arquivo pessoal.

A umidade gravimétrica no Lad durante o experimento apresentou uma variação de 20,56 a 35,91 Kg Kg⁻¹ conforme a (Figura 17). O maior valor dessa variável foi verificado na profundidade 0 - 10 cm durante o plantio e a menor umidade registrada foi aos 29 DAE também na mesma profundidade, quando as cultivares 8473 RSF e NS 6906 estavam em R2, e a 81181 RSF e NS 7901 em V8.

Figura 17 - Umidade gravimétrica do Latossolo Amarelo distrófico durante a safra 2020/21



Fonte: Arquivo pessoal.

No período crítico (29 DAE) de umidade gravimétrica dos solos a pluviosidade acumulada de 21 - 30 DAE foi de 79,5 mm (Capítulo 1 - Figura 1), sendo o período marcado por apresentar o maior intervalo de dias sem chuvas (7 dias). Aos 41 DAE também se observou baixos índices de umidade em ambas as classes de solos, sendo um dos períodos com menores índices pluviométricos acumulados (1 - 10, 31 - 40 e 103 - 107 DAE), com 51,8; 54,3 e 24,5 mm, respectivamente (Capítulo 1 - Figura 1). Com exceção do plantio, os períodos 57 e 71 DAE são marcados por apresentar as maiores umidades gravimétricas nos dois solos, e são caracterizados por apresentarem bons índices pluviométricos.

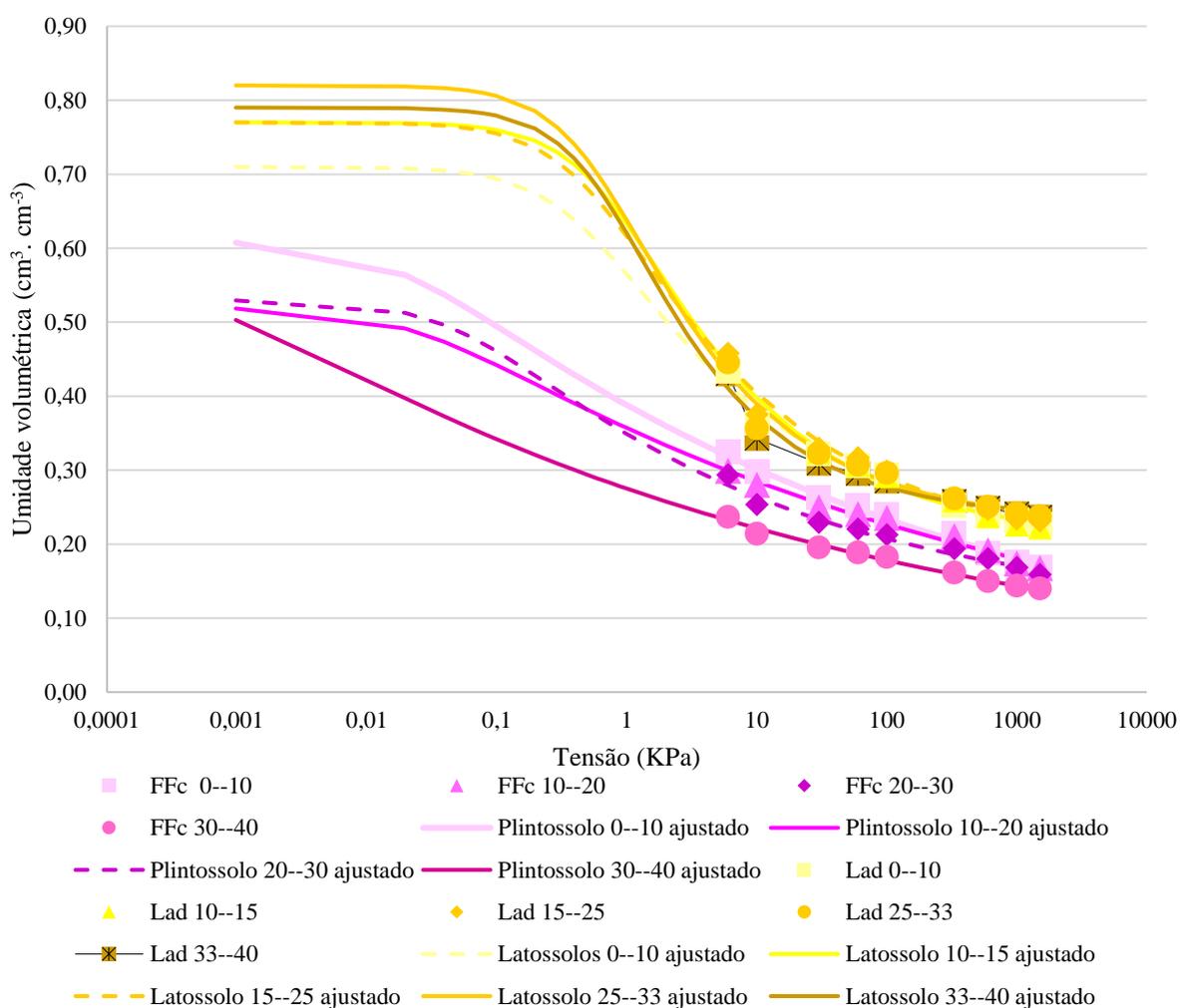
Ao comparar-se os períodos que foram verificadas as umidades gravimétricas nas duas classes de solos, percebe-se que o Lad estava mais úmido que o FFc em todas as coletas e em todas as profundidades amostradas (Figuras 16 e 17).

3.2.3 Curva de retenção de água nos solos

De acordo com a (Figura 18) durante o plantio no FFc a umidade volumétrica variou

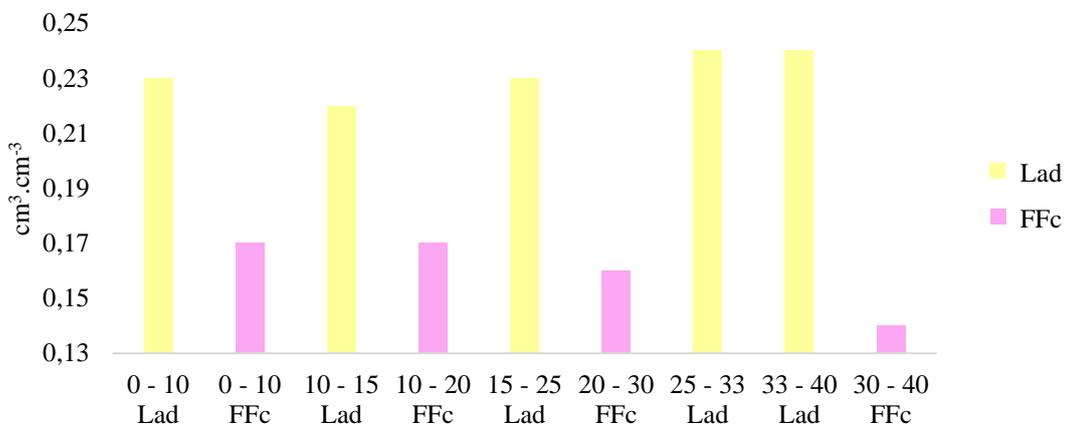
entre $0,14$ e $0,32 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e de $0,22$ a $0,46 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ no Lad. Ao observar a curva de retenção de água nos solos, verifica-se que o ponto de murcha permanente (PMP) no FFc de $0 - 10 \text{ cm}$ e $10 - 20 \text{ cm}$ foi de $0,17 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, enquanto de $20 - 30 \text{ cm}$ foi $0,16 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e entre $30 - 40 \text{ cm}$ apenas $0,14 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, com uma média de $0,16 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (Figura 19). Já a capacidade de campo (CC) desse solo nas seguintes profundidades $0 - 10$, $10 - 20$, $20 - 30$ e $30 - 40 \text{ cm}$ foi respectivamente de $0,26$; $0,25$; $0,23$ e $0,20 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, sendo uma média de $0,24 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (Figura 20).

Figura 18 - Curva de retenção de água em diferentes classes de solos entre $0 - 40 \text{ cm}$, ajustada pelo modelo de Van Genuchten



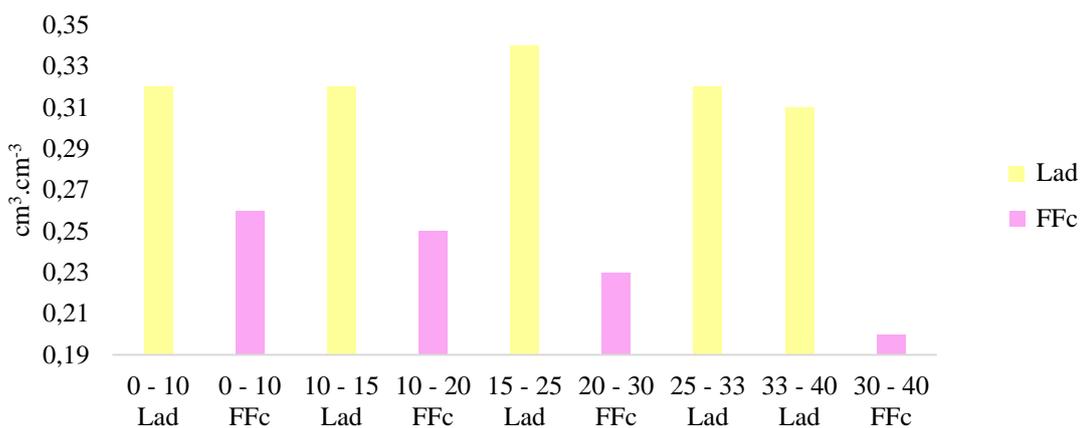
Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 19 - Ponto de murcha permanente em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm



Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): PMP = ponto de murcha permanente; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Lad = Latossolo Amarelo distrófico.

Figura 20 - Capacidade de campo em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm



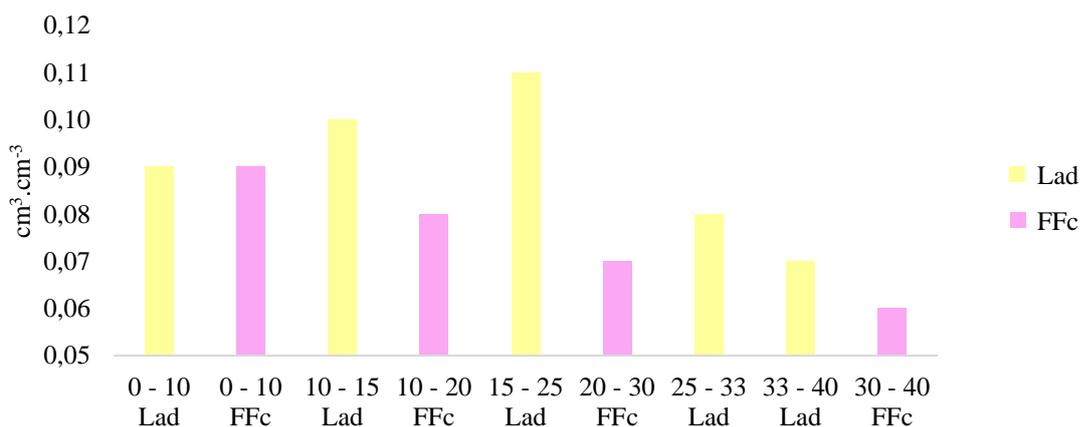
Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): CC = capacidade de campo; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Lad = Latossolo Amarelo distrófico.

O solo sem cascalho apresentou o PMP de $0,23 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ nas profundidades 0 - 10, em 10 - 15cm o PMP diminuiu para $0,22 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e de 15 - 25 cm voltou a subir para $0,23 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, finalmente nas duas últimas profundidades (25 - 33 e 33 - 40cm) esse valor foi de $0,24 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, resultando em um PMP médio total de $0,23 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (Figura 19). Enquanto a CC foi $0,32 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ nas profundidades (0 -10 e 10 - 15 cm), subiu para $0,34 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ de 15 - 25 cm, diminuiu para $0,32 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ de 25 - 33 cm e entre 33 - 40 cm foi $0,31 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, sendo uma média de $0,32 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (Figura 20).

O FFc apresentou um conteúdo de água disponível (AD) de $0,09 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ de 0 -10 cm, entre 10 - 20 cm foi $0,08 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, na profundidade de 20 - 30 cm foi $0,07 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e de 30 - 40 cm foi $0,06 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, com uma média de $0,08 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (Figura 21). Enquanto o Lad

apresentou (AD) sendo $0,09 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ de 0 - 10 cm, na profundidade de 10 - 15 cm foi $0,10 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, entre 15 - 25 cm foi $0,11 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, de 25 - 33 cm foi $0,08 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e de 33 - 40 cm foi $0,07 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, sendo uma média de $0,09 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ (Figura 21).

Figura 21 - Água disponível em diferentes classes de solos entre 0 - 40 cm



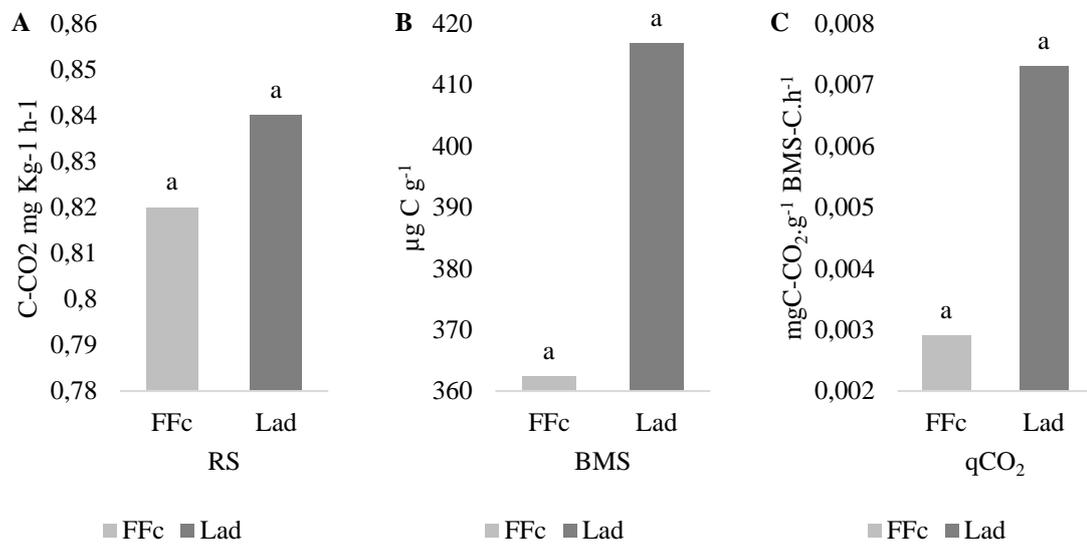
Fonte: Arquivo pessoal. (legenda): AD = água disponível; FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário; Lad = Latossolo Amarelo distrófico.

Em todas as camadas coletadas nos dois solos, o Lad apresentou maior CC, PMP e AD quando comparado ao FFc, exceto na quantidade de AD de 0 - 10 cm, onde os dois solos obtiveram a mesma quantidade de AD. É importante destacar que os dois solos se comportaram diferentemente em relação ao intervalo de disponibilidade de água em profundidade, sendo que o Lad mostrou um comportamento da umidade variável com o aumento da profundidade do solo (Figura 18), enquanto no FFc a umidade foi diminuindo com o aumento da profundidade (Figura 18).

3.3 Atributos biológicos do solo

Os resultados analisados a respeito dos atributos biológicos do solo estão presentes na (Figura 25). Onde não se obteve dessemelhança entre as duas classes de solos quando se avaliou a respiração do solo (RS) (Figura 25). Na ocasião em que se relacionou a biomassa microbiana do solo (BSM) entre os solos estudados, não constatou-se diferença significativa entre os solos com e sem cascalho, conforme mostra a (Figura 25). Diferenças também não estavam presente entre os diferentes solos para o componente $q\text{CO}_2$ (Figura 25).

Figura 22 - Atributos biológicos do solo na camada superficial (0 - 20 cm) em diferentes classes de solo



Fonte: Arquivo pessoal. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5%. (legenda): A - RS = respiração do solo; B - BMS = biomassa microbiana do solo; C - qCO₂ = quociente metabólico; Lad = Latossolo Amarelo distrófico e FFc = Plintossolo Pétrico concrecionário.

4 DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos e granulométricos do solo

No plantio o pH dos solos eram 5,90 no FFc e 5,73 no Lad entre 0 - 20 cm (Tabela 10), sendo considerados solos ácidos. Na análise química de pós-colheita (112 após o plantio) foi constatado que os solos estão levemente mais ácidos, visto que o FFc e Lad apresentam um pH médio de 5,33 e 4,82 entre 0 - 20 cm, respectivamente.

Também é importante destacar a maior quantidade de H + Al presente no Lad. Dessa forma, o potencial produtivo desse solo pode ter sido limitado pela maior acidificação. Resultado que enfatiza as informações de Meng et al., (2019), onde os autores citam que para aumentar o potencial produtivo do solo é um desafio devido à acidificação do solo.

Para mudar esse cenário nos solos avaliados, a calagem é a prática agrícola utilizada (BOSSOLANI et al., 2020), em virtude de neutralizar a acidez do solo, restaurar a capacidade produtiva, além de aumentar a concentração de nutrientes e reduzir os níveis de elementos tóxicos (BOSSOLANI et al., 2021, LI et al., 2019).

Byju; Anand; Moorthy, (2015) relatam que o solo laterítico possui uma menor porcentagem de N, P, K e Mg, portanto, menos fértil. Resultado diferente do encontrado nesse experimento, visto que na colheita da soja os FFc tendem a serem mais férteis do que o Lad, o que pode ter colaborado com a produtividade da cultura.

O FFc apresenta os maiores níveis de macronutrientes, exceto o K no pós-colheita da soja. Almeida et al., (2023) explicam que essas diferenças ocorrem pelo excesso de material inerte (cascalho) que ocupa o volume do solo, o que altera a dinâmica dos nutrientes em relação a intensidade de adsorção e mobilidade, teoricamente facilitando a absorção pelas plantas.

Solos de cerrado, como Plintossolos Pétricos, são inerentemente deficientes em micronutrientes (SOUSA; LOBATO; GOEDERT, 2008). Porém nessa pesquisa o FFc apresentou maiores concentrações de micronutrientes, e em ambas as classes de solos os teores de Fe, Cu, Zn e Mn estão ideais para a cultura da soja (SOUSA; LOBATO, 2004).

O manejo realizado pelos produtores é idêntico nas duas classes de solos, não levando em conta a menor porção de terra fina do FFc. O que pode acarretar um excesso de nutrientes, ao longo das adubações realizadas. Há interesse em sistemas de manejo de solo mais sustentáveis, incluindo a reavaliação das práticas de manejo existentes (HOLLAND et al., 2018).

A química em solos com excesso de cascalho é pouco estudada, e não há relatos na literatura sobre a dinâmica de nutrientes nestas condições, especialmente para K (ALMEIDA et al., 2023). Também é importante destacar a falta de informações sobre o manejo ideal para adotar em área de Plintossolos Pétricos concrecionários, principalmente na gestão da adubação, o que desperta várias incógnitas nos pesquisadores.

A textura do solo é uma importante característica, visto que influencia diretamente muitas propriedades físicas e químicas do solo, afetando a fertilidade e a produtividade do solo (GARCÍA-TOMILLO et al., 2017; ZEBEC et al., 2017). Dentre os atributos dos solos, a textura influencia na capacidade de retenção ou disponibilização de água nos solos, pois a ela estão associados parâmetros físicos como: densidade, porosidade e estrutura (TEIXEIRA et al., 2017).

A textura do solo é uma característica que não sofre variações com o manejo, mas é um importante atributo para as demais características do solo, sendo um indicador utilizado para auxiliar o entendimento do movimento da água no solo, a capacidade de desmobilizar os nutrientes do solo e a resistência ao manejo (SILVA et al., 2020).

4.2 Análise físico-hídrica do solo

O conhecimento do manejo da água no solo tem ganhado grande importância, uma vez que, algumas classes de solos têm maiores capacidade de transporte de água, sendo necessário o controle e monitoramento da umidade para cada tipo de solo (SILVA et al., 2020; FILHO et al., 2020).

Os solos têm capacidade de reter água durante certo período, a depender de seus atributos e propriedades diferenciais que caracterizam as diversas classes pedológicas (WEIL; BRADY, 2019). A umidade do solo corresponde à quantidade de água presente em um dado instante no perfil, que está disponível para as plantas e atmosfera. Essa característica é dependente das condições climáticas, da textura e da estrutura das partículas no solo (MOHANTY et al., 2017). Desse modo, a umidade do solo varia também em função da diversidade de classes pedológicas (RIBEIRO et al., 2021).

A densidade das frações do solo é influenciada pelo material de origem e pela M.O.S presente no solo. É também de fundamental importância para os cálculos como porosidade total, velocidade de sedimentação de partículas em água. Uma alta densidade de partículas irá interferir na infiltração de água e no crescimento de raízes.

No solo com cascalho há uma tendência de redução no teor de umidade, à medida que aumenta a profundidade, possivelmente influenciada pelo predomínio de mesoporos, que perdem água drenável com maior facilidade, tornando a água disponível menos acessível as plantas.

Todavia, no solo sem cascalho não é possível observar um padrão claro da umidade em relação a profundidade do solo. Porém, em todas as avaliações de monitoramento da umidade gravimétrica, o Lad apresentou um maior conteúdo de água do que o FFc. Dessa forma, pode-se afirmar que em anos com menores precipitações, as cultivares plantadas em FFc podem sofrer mais restrições hídricas que as cultivadas em Lad.

Trabalhos conduzidos por Nikkel; Lima (2019) mostram que a presença de concreções no solo afeta o desenvolvimento da soja. Os autores atribuem este efeito a possíveis limitações ao crescimento radicular causado pelas concreções, e a um menor armazenamento de água, quando comparados a um solo sem a presença de concreções em seu volume total.

A curva de retenção de água nos solos foi analisada somente com a terra fina em ambas as classes de solos, e apesar de ambos serem argilosos, o tipo de mineral presente na fração argila é que pode estar determinando diferenças na retenção de água desses solos. Pôde-se verificar que o solo com cascalho armazena menos água que o Lad. Mas vale ressaltar que os cascalhos presentes no FFc foram desconsiderados nessa análise, e que apesar de ser um material inerte, as petroplintitas também retêm umidade (PARAJULI et al., (2015); TETEGAN et al., (2015); NASERI et al., (2022) que foi negligenciada.

Tetegan et al., (2015) relataram que o teor de água disponível foi subestimado em 15% quando as características hidráulicas das pedras não foram contabilizadas e enfatizaram que os fragmentos de pedra podem armazenar água para absorção de água pelas raízes. Parajuli et al., (2015) também afirmam que em comparação com a matriz do solo, os cascalhos normalmente têm menor capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica, dependendo de seus processos de formação. Naseri et al., (2022) citam que não é apenas só o volume de cascalho que tem um impacto considerável na curva de retenção de água nos solos, mas também seu conteúdo de umidade, deve ser considerado.

Nas análises laboratoriais de rotina, todo o volume superior a 2 mm é desprezado por não ser reativo, sendo somente a terra fina (material reativo) utilizada para as análises. Por consequência, as recomendações agronômicas para os Plintossolos são, em sua maioria, superestimadas.

No entanto, poucos estudos se concentram principalmente nas propriedades hidráulicas das petroplintitas e seu impacto na retenção de água de solos pedregosos (TETEGAN et al.,

2015). O que levanta a hipótese do solo com cascalho não apresentar menor capacidade de retenção de água e nem menos umidade gravimétrica do que o Lad, visto que nessas análises foram desconsiderados os cascalhos presentes no solo, e que os mesmos apresentam a capacidade de reter água e umidade. Apesar que esse resultado não influencia muito no período que a soja está em campo, visto que nesse período ocorre muitas precipitações e só afetaria a cultura em caso de veranicos. Porém um cenário diferente pode ser esperado no cultivo de milho safrinha, já que nessa época ocorre baixas precipitações, o que pode vir influenciar na produtividade da cultura.

4.3 Atributos biológicos do solo

O entendimento dos sistemas agrícolas na qualidade dos ambientes produtivos é de suma importância para a definição de manejos adequados. O sistema de PD tem o potencial de contribuir não apenas para a sustentabilidade agrícola, mas também para o sequestro de carbono (C) (SARTO et al., 2020).

Sua adoção promove o acúmulo dos resíduos vegetais na superfície do solo, causando o contínuo aporte de M.O.S na camada superficial e melhorias nos seus atributos físicos e químicos (GHIMIRE et al., 2018). Para avaliar os efeitos do manejo do solo e da cultura na atividade dos microrganismos, os atributos RS, BMS e o qCO_2 foram utilizados. Vale ressaltar que os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza (física, química, biológica e/ou as condições climáticas) o que podem afetar a RS e o balanço de C.

A RS é um atributo que sofre influência dos fatores biológicos e edafoclimáticos e tem relação com M.O.S e a BMS. Além de quantificar o consumo de oxigênio (O_2) ou a taxa do dióxido de carbono (CO_2) liberado na respiração das raízes, na decomposição da M.O.S e na fauna edáfica. Uma alta taxa de respiração pode ser uma característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para a planta.

Os solos expressam uma comunidade microbiana com baixa atividade respiratória dos microrganismos, o que evidencia a pequena taxa de carbono na forma de CO_2 perdida do solo pela RS, o que estaria estreitamente relacionada à lenta ciclagem dos resíduos culturais, dessa forma, a M.O.S se torna menos exposta aos processos microbianos, reduzindo a sua mineralização, levando um maior período para os nutrientes se tornarem disponíveis para a planta, neste caso o milho (cultura subsequente). Esse resultado foi promovido pelo não revolvimento do solo.

Nessa perspectiva, quanto mais C for armazenado no solo na forma de M.O.S, mais vida haverá no solo, maior será a retenção de umidade e mais nutrientes estarão disponíveis para as plantas. Vale salientar que a eficiência do uso de carbono microbiano varia entre os tipos de solo devido a vários fatores, como: qualidade e quantidade do substrato, fatores edáficos e biodiversidade do solo (SINSABAUGH et al., 2016).

A BMS é a principal responsável pela decomposição da M.O.S além de agir como intermediária controlando o tipo e a quantidade de C que é liberado para a atmosfera, e o que fica estocado no solo (RASID; CHOWDHURY; OSMAN, 2016). Portanto, não é apenas um agente de transformação e ciclagem da M.O.S, mas também um dreno e/ou fonte de nutrientes para as plantas (ZHANG et al., 2017). Além disso, este atributo responde rapidamente a mudanças nas práticas de manejo, sendo um indicador sensível.

É importante salientar que a abundância e a estrutura da comunidade microbiana são altamente reguladas pelas propriedades do solo como pH, relação C/N, aeração (YANG et al., 2017), e temperatura do solo e teor de água (MUHAMMAD et al., 2019).

As classes de solos mostraram valores biomassa microbiana semelhantes, o que pode estar relacionado a semelhança entre: a cultura, o manejo, o clima, amostragem, validando as afirmações de Balota, (2017), onde o autor cita que as variações da BMS são atribuídas às condições de clima, tipo de solo, manejo, condições de coleta das amostras, camada amostrada, armazenamento e metodologias utilizadas nas análises.

Mendes et al., (2019) afirmam que os valores adequados para BMS situam-se acima de 416 miligrama de carbono por quilograma (mg C kg^{-1}), dessa forma, somente a microbiota do Lad estaria adequada. Enquanto Balota, (2017) em seu levantamento constatou que a variação da BMS no PD no Brasil está entre 209 e 1090 mg C kg^{-1} (equivalente a micrograma de carbono por grama - $\mu\text{g C g}^{-1}$). Desse modo, os valores verificados nos dois solos estão dentro do intervalo indicado pelo autor.

A taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana ($q\text{CO}_2$), apresenta-se como uma boa variável para o entendimento da qualidade do manejo do solo. Visto que analisa o impacto que os microrganismos do solo sofrem em decorrência das condições do solo e do meio ambiente.

Valores mais baixos de $q\text{CO}_2$ como expressos por ambas as classes de solos, apontam uma maior eficiência da BMS, ou seja, menos C é perdido na forma de CO_2 e maior proporção de C é incorporada em células microbianas. Outra explicação para este resultado pode estar associada a baixa qualidade nutricional da M.O.S, impossibilitando a BMS de utilizar o carbono orgânico (PÓRTELA, LEITE, BARBOSA, 2021). Em geral, esses valores de $q\text{CO}_2$ indicam

economia na utilização de energia e supostamente refletem em ambientes mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio.

AMORIM et al., (2020) estudando o qCO_2 em diferentes cultivos de leguminosas (mucuna preta com 0,81; *crotalaria ochroleuca* 0,70; *crotalaria spectabilise* 0,92; guandu fava larga 1,82 e guandu anão 6,19 $mgC-CO_2.g^{-1}BMS-C.h^{-1}$) encontraram valores consideravelmente superiores aos resultados de todos os materiais utilizados neste ensaio.

Em geral, os solos têm comportamento idênticos em relação aos atributos biológicos do solo, porém a uma tendência dos maiores valores dessas variáveis no solo sem cascalho. Apontando que a microbiota acaba emitindo maior quantidade de CO_2 do solo para a atmosfera, o que pode ter ligação com a umidade do solo, confirmando o estudo de Ribeiro et al., (2016), os autores afirmam que a umidade no solo potencializa a difusão de oxigênio no solo. A maior quantidade de biomassa microbiana também pode ser relacionada a umidade do solo (Figura 17) e a maior presença de biomassa da parte aérea (Capítulo 1 - Figura 5), que pode ter favorecido o desenvolvimento da microbiota nesse solo, além de indicar que os nutrientes poderão ficar imobilizados temporariamente, o que irá resultar em menores perdas dos nutrientes no sistema solo-planta. Enquanto o maior valor de qCO_2 pode estar associado a comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento e com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos.

5 CONCLUSÃO

Com base nesse estudo observa-se que ambos os solos apresentam potencial agrícola.

Na avaliação dos atributos químicos fica evidente que as diferentes classes de solos são distintas.

Os atributos físico-hídricos apontam que durante toda a safra o solo com cascalho apresentou menor umidade gravimétrica e um menor conteúdo de água disponível a cultura.

Por meio da avaliação dos atributos biológicos observou-se um equilíbrio da comunidade microbiana sob sistema de plantio direto em ambas as classes de solos.

REFERÊNCIAS

- ALEF, Kassem. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic, 1995. p. 464-470.
- ALMEIDA, Rodrigo Estevam Munhoz de et al. Expansão agrícola em áreas de difícil manejo: cultivo em solos com cascalho. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**, Campinas, v. 6, p. 71 - 75, jul., 2020.
- ALMEIDA, Rodrigo Estevam Munhoz et al. Recommendation of soil fertilization with copper and zinc for soybean crops grown in Petric Plinthosol. **Ciência Rural**, v. 53, n. 4, 2023.
- AMORIM, Sarah Priscilla do Nascimento et al. MICROBIAL RESPONSES TO DOSES OF COVER PLANT STRAW IN CERRADO PIAUIENSE OXISOL. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 36, n. 4, p. 1146 - 1155, jul./aug., 2020.
- ANDERSON, John Phillip Evans; DOMSCH, Klaus Heinz. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 10, p. 215 - 221, 1978.
- BALOTA, Elcio Liborio. Manejo e a Qualidade Microbiana do Solo. In: BALOTA, Elcio Liborio. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Londrina: Mecenias, 2017. p. 89 - 204.
- BOSSOLANI, João William et al. Long-term lime and gypsum amendment increase nitrogen fixation and decrease nitrification and denitrification gene abundances in the rhizosphere and soil in a tropical no-till intercropping system. **Geoderma**. v. 3775, out., 2020.
- BOSSOLANI, João William et al. Long-term liming improves soil fertility and soybean root growth, reflecting improvements in leaf gas exchange and grain yield. **European Journal of Agronomy**. v. 128, ago., 2021.
- BRUM, Lucas Nascimento et al. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA ESTRUTURA DE NEOSSOLOS, APÓS A INSERÇÃO DA CULTURA DA SOJA, COM PREPARO CONVENCIONAL. In: TULLIO, Leonardo. **Características dos solos e sua interação com as plantas**. Ponta Grossa: Atena, 2019. p. 54 - 64.
- BYJU, G.; ANAND, M. Haripriya; MOORTHY, Subramony Narayana. Carbon and nitrogen mineralization and humus composition following municipal solid waste compost addition to laterite soils under continuous cassava cultivation. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 46, n. 2, p. 148 - 168, 2015.
- CAMPOS, Leonardo José Motta et al. **Produtividade de cultivares de soja em três ambientes do Tocantins**. Londrina: Embrapa Soja, 2019. 18 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 21).
- DOS SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. **Os solos do Brasil**. 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>> Acesso em: 13 de abr. de 2023.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039 - 1042, dez., 2011.

FILHO, Gilberto Saraiva TAVARES et al. Desenvolvimento de mudas de Moringa oleífera (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48671 - 48683, jan., 2020.

GARCÍA-TOMILLO, Aitor et al. Mapping Soil Texture Using Geostatistical Interpolation Combined With Electromagnetic Induction Measurements. **Soil Science**. v. 182, n. 8, p. 278 - 284, ago., 2017.

GHIMIRE, Rajan et al. Current status, opportunities, and challenges of cover cropping for sustainable dryland farming in the Southern Great Plains. **Journal of Crop Improvement**, v. 32, n. 4, p. 579 - 598, mai. 2018.

HOLLAND, Jonathan A et al. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: A review. **Science of The Total Environment**. v. 610, p. 316 - 332, jan., 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.
Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil. Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 179p. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/macrocaracterizacao/#/home>>. Acesso em: 21 de mai. de 2022.

KÖPPEN, Wladimir; GEIGER, Rudolf. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

LI, Yuan et al. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis. **Journal of Soils and Sediments**. v. 19, n. 3, p. 1393 - 1406, 2019.

LUMBRERAS, José Francisco et al. **Aptidão agrícola das terras do MATOPIBA**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 48 p. (Embrapa Solos. Documentos, 179).

MENDES, Ieda de Carvalho et al. Critical limits for microbial indicators in tropical Oxisols at post-harvest: The FERTBIO soil sample concept. **Applied Soil Ecology**, v. 139, p. 85 - 93, jul., 2019.

MENG, Cheng et al. Global soil acidification impacts on belowground processes. **Environmental Research Letters**. v. 14, n. 7, jul., 2019.

MOHANTY, Binayak P. et al. Soil moisture remote sensing: State-of-the-science. **Vadose Zone Journal**, v. 16, n. 1, jan., 2017.

MONTEIRO, Regina Teresa Rosim; FRIGHETTO, Rosa Toyoko Shiraishi. 2000.
Determinação da umidade, pH e capacidade de retenção de água do solo. In: Frighetto, R.

T. S.; Valarini, P. J. (Coords.). Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna. 198p. (Embrapa Meio Ambiente. Documento, 21).

MUHAMMAD, Ihsan et al. Regulation of soil CO₂ and N₂O emissions by cover crops: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 192, p. 103 - 112, set., 2019.

NASERI, Mahyar et al. Rock fragments influence the water retention and hydraulic conductivity of soils. **Vadose Zone Journal**, v. 22, p. 1 - 11, nov., 2022.

NIKKEL, Marico; LIMA, Saulo de Oliveira. Maize (*Zea mays*) Cultivated in Concretionary Petric Plinthosol. **Journal of Agricultural Science**, Richmond Hill, v. 11, n. 14, p. 131 - 140, ago., 2019.

PARAJULI, Kshitij; SADEGHI, Morteza; JONES, Scott B. **Rock Content Influence on Soil Hydraulic Properties**. In: American Geophysical Union, Fall Meeting. San Francisco, dez., 2015.

PIRT, S. John. **Principles of microbe and Cell cultivation**. Oxford: Blackwell Scientific, 1975. 274 p.

PÓRTELA, Mirya Grazielle Torres; LEITE, Luiz Fernando Carvalho; BARBOSA, Ranyellson Pires. Microbiological attributes of a cultivated Plinthosol with sugarcane on different levels of straw. **Acta Agronômica**, v. 69, n. 4, out., 2021.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. 2019. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RASID, Md. Mamunur, CHOWDHURY, Nasrin; OSMAN, Khan Towhid. Effects of Microbial Biomass and Activity on Carbon Sequestration in Soils under Different Planted Forests in Chittagong, Bangladesh. **International Journal of Agriculture and Forestry**, v. 6, n. 6, p. 197 - 205, 2016.

RIBEIRO, Antônio Carlos; GUIMARÃES, Paulo Tácito G.; ALVAREZ, Victor Hugo. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação. Viçosa: SBCS, 1999. 359 p.

RIBEIRO, Flavio Lopes et al. The impact of drought on soil moisture trends across Brazilian biomes. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 21, p. 879 - 892, mar., 2021.

RIBEIRO, Kelly et al. Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. **Science of the Total Environment**, v. 571, n. 15, p. 1048 - 1057, nov., 2016.

RIBEIRO, Pablo Lacerda. **Latossolo: principais características e dicas de manejo**. 2019. Disponível em: <<https://institutoagro.com.br/latossolos/>>. Acesso em: 08 de ago. de 2022.

SARTO, Marcos V. M. et al. Soil microbial community and activity in a tropical integrated crop-livestock system. **Applied Soil Ecology**, v. 145, jan., 2020.

SILVA, José Raliuson Inácio et al. D. Inter-relação de técnica de manejo de água e solo aplicadas a cultura do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1 - 21, jun., 2020.

SILVA, José Tadeu Alves da; SIMÃO, Fúlvio Rodriguez; ALVES, Jefferson Joe Moreira. Desenvolvimento vegetativo e produção do pinhão-mansão em resposta à adubação fosfatada. **Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 319 - 322, mai./jun., 2015.

SINSABAUGH, Robert L. et al. Stoichiometry of microbial carbon use efficiency in soils. **Ecological Monographs**, v. 86, p. 172 - 189, mai., 2016.

SOBRINHO, Osvaldo Roberto et al. **2ª VITRINE TECNOLÓGICA AGRÍCOLA: atualidades na pecuária de corte para Baixada Cuiabana**. Cuiabá: Uniselva, 2021. 272 p.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

SOUSA, Djalma Martinhão Gomes; LOBATO, Edson; GOEDERT, Wenceslau J. Manejo da fertilidade do solo no Cerrado. In: ALBUQUERQUE, Ana Christina Sagebin; SILVA, Aliomar Gabriel. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, p. 203 - 260.

STOTZKY, Guenther. Microbial respiration. In: BLACK, Charles Allen. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 2, p. 1550-1572.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, DF:Embrapa, 2017. 574p.

TETEGAN Marion et al. The role of pebbles in the water dynamics of a stony soil cultivated with young poplars. **Plant and Soil**, v. 391, p. 307 - 320, 2015.

VAN GENUCHTEN, Mualem. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science**, v. 44, p, 892 - 898, 1980.

WEIL, Raimond R.; BRADY, Nyle C. **The nature and properties of soils**. 15. ed. Columbus: Pearsor, 2019. 1071 p.

YANG, Zhongchen et al. Enhanced nitrogen removal using solid carbon source in constructed wetland with limited aeration. **Bioresource Technology**, v. 248, ago. 2017.

ZEBEC, Vladimir et al. Influence of physical and chemical properties of different soil types on optimal soil moisture for tillage. **Poljoprivreda**. v. 23, n. 2, p. 10 - 18, 2017.

ZHANG, Qingping et al. Effects of long-term fertilization management practices on soil microbial biomass in China's cropland: a meta-analysis. **Agronomy Journal**, v. 109, p. 1183 - 1195, jul., 2017.