

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DO SERTÃO PERNAMBUCANO
CAMPUS PETROLINA ZONA RURAL**

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

FÁBIO GONÇALVES FERREIRA DA SILVA

**PETROLINA, PE
2021**

FÁBIO GONÇALVES FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IF SERTÃO-PE, *Campus* Petrolina Zona Rural, exigido como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Manejo de Solo e Água.

**PETROLINA, PE
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586 Silva, Fábio Gonçalves Ferreira.

Avaliação da fertilidade de solos irrigados no semiárido brasileiro. / Fábio Gonçalves Ferreira Silva. - Petrolina, 2021.
41 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Manejo de Solo e Água) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Petrolina Zona Rural, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo.

1. Fertilidade do solo. 2. Disponibilidade de nutrientes. 3. Adubação em áreas irrigadas. 4. Análise de solo. I. Título.

CDD 631.422

FÁBIO GONÇALVES FERREIRA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DE SOLOS IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO
BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IF SERTÃO-PE, *Campus* Petrolina Zona Rural, exigido como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Manejo de Solo e Água.

Aprovada em: 21 de dezembro de 2021.

**Fabio Freire de
Oliveira:09613688706**

Assinado digitalmente por Fabio Freire de Oliveira:09613688706
DN: CN=Fabio Freire de Oliveira:09613688706, OU="IFSERTA OPE - Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Sertao Pernambucano", O=ICPEdu, C=BR
Razão: 'Eu sou o autor deste documento'
Localização: CPZR
Data: 2021-12-22 13:27:40
Foxit Reader Versão: 9.0.1

Prof. Dr. Fabio Freire de Oliveira
Membro da banca examinadora

Documento assinado digitalmente



ISRAEL VENISMARE CORDEIRO GONCALVES
Data: 17/07/2022 15:52:20-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Ms. Israel Venismare Cordeiro Gonçalves
Membro da banca examinadora

**Cicero Antonio de Sousa
Araujo:22296980368**

Assinado de forma digital por Cicero Antonio de Sousa Araujo:22296980368
DN: cn=Cicero Antonio de Sousa Araujo:22296980368, ou=IFSERTA OPE - Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Sertao Pernambucano, o=ICPEdu, c=BR
Dados: 2021.12.21 20:56:22 -03'00'
Versão do Adobe Acrobat Reader: 2021.007.20099

Orientador: Prof. Dr. Cícero Antônio de Sousa Araújo
IF Sertão-PE campus Petrolina Zona Rural

RESUMO

O manejo dos fertilizantes minerais e orgânicos, promovem alterações das classes de fertilidade nas áreas irrigadas do semiárido brasileiro. Com o objetivo de avaliar a situação atual da fertilidade dos solos das áreas irrigadas no semiárido, foram analisadas 1.634 amostras de solos, sendo 970 amostras advindas de perímetros de irrigação e 664, de áreas irrigadas fora de perímetros irrigados. Foram analisadas as variáveis: pH, C.E., teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , percentual de sódio trocável (PST), K^+ , CTC a pH 7, Al^{3+} , teor de P e saturação por bases ($V^0\%$), cujas frequências absoluta e relativa foram determinadas por classes de fertilidade. O cálcio, magnésio e potássio, apresentaram, respectivamente, frequência relativa de 81,57%, 69,95% e 64,14%, em classes de fertilidade iguais ou superiores aos níveis críticos desses nutrientes no solo. 88% das amostras de solo obtiveram valores das concentrações superiores a 40 mg.dm^{-3} de fósforo, colocando os solos na classificação da fertilidade muito bom, para qualquer que seja a textura do solo avaliado. Verificou-se reduzida frequência de solos afetados por sais, tendo em vista que cerca de 88% dos solos apresentam C.E. com valores inferiores a 1 dS.m^{-1} e apenas 0,31% dos solos analisados estão salinizados. A maioria das áreas apresentaram risco de alcalinização ou alcalinizados, quando 65,12% das amostras analisadas apresentaram pH maior que 6,5.

Palavras-chave: Disponibilidade de nutrientes; adubação em áreas irrigadas; análise de solo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Distribuição de frequência absoluta e relativa do pH em solos irrigados do semiárido.....	18
Figura 2	Distribuição de frequência absoluta e relativa do pH em solos irrigados no semiárido, dentro dos perímetros irrigados.....	20
Figura 3	Distribuição de frequência absoluta e relativa do pH em solos irrigados, dentro de perímetro (DP) e fora de perímetros (FP) no semiárido brasileiro.....	21
Figura 4	Distribuição de frequência absoluta e relativa da condutividade elétrica ($dS.m^{-1}$) em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	22
Figura 5	Número de amostras e suas respectivas faixas de classificação quanto ao PST em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	23
Figura 6	Distribuição de frequência absoluta e relativa da concentração de Ca^{2+}, $cmol_c.dm^{-3}$, em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	24
Figura 7	Distribuição de frequência absoluta e relativa da concentração de Mg^{2+}, $cmol_c.dm^{-3}$, em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.....	26
Figura 8	Distribuição de frequência absoluta e relativa do teor de K^+, $cmol_c.dm^{-3}$, em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	28
Figura 9	Distribuição de frequência absoluta e relativa da saturação por K^+ perante a $CTC_{pH\ 7,0}$, em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	29
Figura 10	Distribuição de frequência absoluta e relativa da $CTC_{pH\ 7,0}$, em solos irrigados do semiárido brasileiro.....	30
Figura 11	Distribuição de frequências absoluta e relativa do teor de Fósforo, $mg.dm^{-3}$, nas áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	34
Figura 12	Teores de Fósforo em 1.634 amostras de solos de áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	35
Figura 13	Distribuição de frequência absoluta e relativa da saturação por bases em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.....	38
Tabela 01	Classes de interpretação de fertilidade do solo para Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^+.....	12
Tabela 02	Classes de Interpretação de fertilidade do solo para saturação por Al^{3+} e CTC a pH 7.....	15
Tabela 03	Classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH).....	15
Tabela 04	Classes de interpretação para fósforo.....	17
Tabela 05	Comparação entre o pH nas áreas irrigadas do semiárido brasileiro, localizadas em perímetros irrigados e fora dos perímetros irrigados.....	21
Tabela 06	Frequência absoluta e relativa (% da saturação por Al^{3+} (m) em função das classes de fertilidade.....	32
Tabela 07	Frequência absoluta do Alumínio trocável (Al^{3+}) em função do pH.....	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	07
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	08
2.1	Principais métodos de avaliação da fertilidade.....	08
2.2	Concentração e saturação dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) no Solo.....	09
2.3	Condutividade elétrica, pH, acidez total e capacidade de troca catiônica.....	12
2.4	Fósforo no Solo.....	15
3	OBJETIVO.....	17
4	METODOLOGIA.....	17
5	RESULTADO E DISCURSSÃO.....	18
5.1	Potencial hidrogeniônico (pH).....	18
5.2	Condutividade Elétrica e Percentual do Sódio Trocável (PST).....	21
5.3	Concentrações e Saturação do Ca^{2+} e Mg^{2+}	24
5.4	CTC, concentração e saturação do potássio.....	27
5.5	Saturação do Alumínio e alumínio trocável (Al^{3+}) versus pH.....	32
5.6	Concentrações do Fósforo.....	33
5.7	Saturação por bases (V%).....	37
6	CONCLUSÃO.....	38
	REFERÊNCIAS.....	39

1.0 - INTRODUÇÃO

As primeiras metodologias para análises de solos e interpretação dos resultados são datadas de 1889 em relatórios da então Estação Agronômica de Campinas, hoje IAC. Na época alguns métodos foram criados para colaborar nas recomendações de adubação aos cafeicultores, inicialmente era restrito a análise de Nitrogênio, contudo, em anos posteriores novos métodos foram utilizados para análises de outros elementos essenciais, (IAC, 2017).

Hoje, mais de 125 anos após as primeiras tentativas de monitoramento de alguns fatores que interferem na produtividade das culturas, ainda temos a análise química do solo como uma das principais ferramentas para diagnóstico, correção e manejo adequado dos solos.

Conhecer a disponibilidade e a correlação dos elementos essenciais presentes nas camadas agricultáveis são fatores de fundamental importância para o alcance do potencial máximo econômico das culturas, SENGIK (2007).

É notório que áreas cultivadas de forma intensiva, assim como acontece nas unidades produtivas com advento da irrigação no semiárido brasileiro, requerem um acompanhamento periódico das variáveis químicas do solo, pois as mudanças que ocorrem nas concentrações e relações entre os íons, podem acontecer de forma rápida a depender do manejo do solo e da água, transformações essas que devem prejudicar não apenas a produtividade de momento, mas principalmente a longevidade quanto ao uso dos solos.

Nesse contexto a análise do solo não é apenas uma ferramenta para definir manejo dos fertilizantes, é antes de tudo, uma forma de evitarmos a contaminação dos solos e mananciais hídricos pelo uso excessivo dos fertilizantes.

No cenário atual, com sucessivos aumentos nos preços dos fertilizantes minerais, bem como o risco eminente quanto ao fornecimento dos sais para nutrição das plantas, identificar através das análises de solos, quais os elementos essenciais presentes e em que concentrações, fará toda diferença quanto ao sucesso econômico de qualquer empreendimento agrícola.

Segundo (NPCT, 2021), O consumo dos fertilizantes (N-P-K) tem aumentado no país, em 2007 foi de $11,8519 \times 10^6$ toneladas em 2017 esse número foi para $15,9816 \times 10^6$. Quanto a produção desses fertilizantes, em 2007 o Brasil produzia 9,81 milhões de toneladas e em 2017 passou a produzir 8,184 milhões de toneladas, (Cenárioagro, 2021), ou seja, crescimento da demanda, destoando com a redução na capacidade de produção dos fertilizantes no país no mesmo período.

É sabido que solos antropizados durante anos podem apresentar alterações em sua fertilidade, haja vista, a utilização constante de fertilizantes minerais e orgânicos podem criar condições que venham a alterar as classes da fertilidade dos solos.

Provavelmente é o que vem ocorrendo nos solos cultivados sob irrigação no semiárido brasileiro, cultivos intensivos com uso constante de fertilizantes alterando as classes de fertilidades, e assim, resíduos dos elementos essenciais devem estar presentes nesses solos, criando uma possibilidade de menor consumo de fertilizantes sem afetar a produtividade.

A confirmação da existência de solos com altos teores dos elementos essenciais presentes nas áreas irrigadas do semiárido brasileiro, deverá trazer mudanças quanto ao manejo dos fertilizantes, pois atualmente, mesmo conhecendo os altos níveis dos elementos no solo, muitos profissionais da agricultura e produtores rurais, em geral, fazem uso de fertilizantes minerais em altas doses.

A redução do uso dos fertilizantes minerais em áreas com classe de fertilidade alta ou muito alta, não deve produzir efeitos negativos nas produtividades, podendo inclusive trazer incrementos na produção, haja vista, altos níveis de sais na solução do solo provoca estresse salino nas plantas, GHEYI (2016).

Podendo ser um entendimento defendido pelas empresas que comercializam os fertilizantes minerais, tendo em vista que a sustentabilidade das unidades rurais produtivas fortalece a comercialização dos insumos de forma segura e duradoura.

Redução do uso de fertilizantes nessas áreas antropizadas, trará benefícios ao meio ambiente, tendo em vista que níveis adequados dos íons no solo reduzira, consideravelmente, os riscos de acidificação, ou alcalinização, ou ainda de salinização dos solos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade de solos irrigados em diferentes perímetros de irrigação e em outras áreas irrigadas do semiárido brasileiro.

2.0 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Principais métodos de avaliação da fertilidade.

Sintomas visuais de deficiência, o método consiste na observação sobre o aspecto visual das plantas quanto a deficiência encontrada. Entretanto, algumas cultivares apresentam de forma mais expressiva aos sintomas relacionados à deficiência nutricional em detrimento de outras, além de poder ser confundida com alguma toxidez ou doença, (EMBRAPA – 1982).

O profissional deve conhecer a mobilidade dos nutrientes na planta para que possa realizar uma diagnose mais assertiva.

Outro aspecto importante é que após surgimento dos sintomas de deficiência a produtividade máxima da cultura não poderá ser alcançada.

Experimento de campo, excelente método para avaliação da disponibilidade dos nutrientes no solo. Faz o uso de diferentes níveis de nutrientes e observa-se os efeitos isolados de cada nutriente, no entanto, tem como limitações a necessidade de profissionais especializados para realizar a supervisão, e ainda as informações coletadas são válidas apenas para as condições de manejo e climáticas adotadas no momento da avaliação, (EMBRAPA – 1982).

Análise de tecido, é uma forma indireta de avaliar a fertilidade do solo, sendo a própria planta a solução extratora, existem três premissas que devem ser respeitadas para o uso da diagnose foliar, são elas: Suprimento do nutriente pelo solo e produção, suprimento do nutriente pelo solo versus teor foliar e teor foliar versus produção, (Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco, 2 ed – 2008).

Análises química do solo, é o método mais utilizado para avaliar a fertilidade do solo e realizar recomendações de adubação, ele consiste em métodos químicos padronizados na extração dos nutrientes do solo, as informações químicas das análises servirão de base para recomendação de adubação, sendo necessário a realização das seguintes fases: 1 – Amostragem do solo, 2 - Extração e determinação dos nutrientes, 3 - Interpretação dos resultados e 4 - Recomendação de adubação, (EMBRAPA – 1982).

Para a realização de análises químicas do solo é necessário a escolha de extratores que tenha boa correlação com os solos analisados, para região do semiárido brasileiro os extratores mais utilizados pelos laboratórios da região são: Mehlich - 1 para determinação de fósforo, potássio, sódio e micronutrientes catiônicos, cloreto de potássio para determinação do cálcio, magnésio e alumínio, e o acetato de cálcio para determinação da acidez total.

2.2 Concentração e saturação dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) no Solo.

Sobre a concentração dos elementos de cargas positivas presentes no complexo sortivo do solo, uma análise química simples de solo apresenta os seguintes cátions: Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K^+), Sódio (Na^+), e Alumínio (Al^{3+}) com teores em $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

O potássio, sódio, cálcio e magnésio, na solução do solo, reagem por processo de hidrólise salina, onde o resultado da reação é a disponibilização de hidroxilas (OH^-) no meio, tornando a solução mais alcalina. Com alumínio, também acontece o processo de hidrólise salina, no entanto, após ruptura das ligações na molécula da água ($\text{HO} - \text{H}$), o grupo (OH^-) fica retido no Al^{3+} enquanto o próton (H^+) fica disponível na solução do solo, reduzindo assim o pH.

A importância de conhecermos as concentrações e as relações desses íons na fase sólida e líquida do solo deve-se ao fato que: O Cálcio, Magnésio e o Potássio, fazem parte da lista dos 17 elementos essenciais, conforme descrito por Malavolta (1980); Marschner (1995); Fernandes (2006) ou ainda a lista dos 19 nutrientes propostos por EPSTEIN (1972 e 1999, apud TAIZ L. et al., 2009, p. 120).

Conhecer a disponibilidade de Cálcio e Magnésio no solo é de fundamental importância para o manejo correto dos fertilizantes e corretivos de solos, haja vista, o Cálcio na planta possui funções fundamentais ao desenvolvimento das cultivares, entre eles destacamos: Ser constituinte da lamela média das paredes celulares e ser requerido como cofator por algumas enzimas envolvidas na hidrólise de ATP e de fosfolípidios, o Magnésio por sua vez, é requerido por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfatos e constituinte da molécula da clorofila, conforme De Evans e Sorger, e Mengel e Kirkby, (1966 e 2001, apud TAIZ L. et al., 2009, p. 121).

Lembrando que os principais corretivos de acidez do solo são as fontes de calcário em suas três formas disponíveis no mercado: Dolomítica, calcítica e magnésiana, e em todas as três fontes, temos como os principais agentes de correção da acidez os carbonatos de cálcio e magnésio, desta forma, o uso de calcários, além de retirar os hidrogênios livres na solução e os retidos nas partículas minerais e orgânicas dos solos, esses corretivos melhoram a saturação dos solos pela adição de cálcio e magnésio na camada agricultável (Lopes, 1998).

No entanto, qual o nível satisfatório de Cálcio e Magnésio disponíveis no complexo de troca para garantir o bom desenvolvimento para as culturas? Bem como, qual a relação Ca^{2+}/Mg^{2+} que melhor favorece a disponibilização e posterior absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas?

Segundo LOPES (1998, p 09, grifo do autor):

“Porcentagem de saturação por bases...a porcentagem da CTC a pH 7,0 ocupada pelos principais cátions...foi usada no passado para desenvolver programas de adubação. A ideia é que certas relações de nutrientes ou “balanços” são necessários para assegurar absorção adequada e atingir altas produções. As pesquisas têm demonstrado, entretanto, que as amplitudes ou relações de saturação por cátions têm pouca ou nenhuma utilidade na grande maioria dos solos. Sob condições de campo, as amplitudes dessas relações podem apresentar grandes variações sem efeitos deletérios, desde que os níveis dos nutrientes individuais presentes no solo sejam suficientes para atingir o ótimo crescimento das plantas.”

Para Lopes(1995), o equilíbrio entre os cátions no complexo de troca não deve influenciar na melhor disponibilidade dos nutrientes e conseqüentemente não deve interferir na produtividade nos solos com aporte satisfatório desses cátions.

Mas, isso ainda é um tema controverso, pois existem citações que indicam a inibição de um íon por uma competição existente entre cátions na solução do solo / coloides, e também nos sítios de absorção das raízes, refletindo nas concentrações no interior da planta.

Para Rosolem (2005, apud Silva Maria. L. S. e Trevisan Anderson. R., p.13), a interação mais conhecida no meio científico é entre potássio, cálcio e magnésio, onde o aumento do teor de potássio na solução do solo provoca diminuição dos teores dos outros dois nutrientes nas plantas.

Em relação as concentrações na planta, Reis et al (2019), apresenta resultados confirmando a maior incidência de dessecamento da ráquis na cultura da uva, quando a relação K/Mg na folha foi entorno de 18, não tendo incidência desse distúrbio quando a relação foi de 15, o mesmo ocorreu quando a relação Ca/Mg foi de 19, não houve incidência do ressecamento, mas, para valores entorno de 26, foram encontradas plantas com e sem ressecamento da ráquis, nas comparações feitas ao analisar as mesmas relações (K/Mg e Ca/Mg) nos pecíolos, os resultados não apresentaram a mesma tendência.

De acordo com Vale (1988, apud Neto et al, 2001, p. 11), “...o amônio é um potente inibidor da absorção do potássio”.

O autor está se referindo a competição quanto aos sítios de absorção radiculares, onde teremos um ambiente adverso as condições gerais do solo, pois nas rizosferas as condições de pH e concentração dos íons difere dos demais ambientes do solo, inclusive pelo balanço eletroquímico que ocorre tanto no citoplasma da raiz, quanto na solução do solo, desta forma, quando a raiz absorve um cátion será liberado um próton (H^+), o mesmo ocorre quando absorve um ânion, liberando uma hidroxila (OH^-) na rizosfera (Neto et al, 2001).

Ainda segundo (Neto et al, 2001), “A disponibilidade de cálcio, com enfoque de sua absorção, é muito afetada por outros cátions normalmente presentes na solução do solo, tais como Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ e Al^{3+} ...”.

Vejam que de forma enfática o autor atribui a indisponibilidade do cálcio pela presença de outros íons com cargas elétricas positivas, no entanto, sem indicar as proporções, os teores de cada íon para assim afetar a disponibilidade do cálcio, salientando que em relação ao alumínio o autor concedeu a baixa disponibilidade do Ca^{2+} pelo efeito indireto, quando o Al^{3+} danifica as raízes dificultando assim a absorção do nutriente.

Embora exista alguma discordância sobre a interferência do percentual na saturação dos cátions, Cálcio, Magnésio e Potássio na CTC em relação as produtividades, temos consenso quanto aos níveis ou faixas adequadas dos três nutrientes em conteúdo.

Segundo Alvarez V. et al. (1999, apud FERNANDES F. A. et al, 2009), cálcio, magnésio e potássio trocáveis em níveis desejáveis no solo é classificado nas seguintes faixas, ver tabela abaixo:

Tabela – 01: Classes de interpretação de fertilidade do solo para Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

Característica	Unidade	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio ¹	Bom	Muito bom
² Ca ²⁺	cmolc.dm ⁻³	≤0,4	0,41 – 1,20	1,21 – 2,40	2,41 – 4,0	> 4,0
² Mg ²⁺	cmolc.dm ⁻³	≤0,15	0,16 – 0,45	0,46 – 0,90	0,91 – 1,50	>1,50
K ⁺	cmolc.dm ⁻³	≤0,08	0,08 – 0,15	0,16 – 0,25	0,26 – 0,40	>0,40

¹ O limite superior desta classe indica o nível crítico; ² Método KCl 1 mol/L. Fonte: Alvarez V. et al. (1999).

São parâmetros que muito corroboram para identificação dos níveis de fertilidade em relação aos três nutrientes, sendo um ponto de partida inicial para estudos mais detalhados em determinadas regiões, para determinados tipos de solos e cultura a ser manejada.

2.3 Condutividade elétrica, pH, acidez total e capacidade de troca catiônica.

A condutividade elétrica (C.E.) é um parâmetro de fundamental importância nas tomadas de decisões quando nos referimos ao manejo dos solos, pois a grande maioria das culturas agrícolas são susceptíveis aos índices salinos mais elevados.

Considerando que a salinização dos solos é algo típico das regiões áridas e semiáridas onde o aumento da concentração dos sais, está diretamente ligado a irrigação realizada sem o manejo apropriado das águas utilizadas para este fim, é algo inadmissível a implantação de área a ser cultivada fazendo uso de irrigação sem conhecimento prévio das condições químicas do solo e da água a serem utilizados na futura unidade produtiva, lembrando que a qualidade da água de irrigação é um fator preponderante para acelerar o processo de salinização, haja vista, “as águas de irrigação podem conter de 0,1 a 4,0 toneladas de sais por mil metros cúbicos e, como geralmente, se aplicam ao solo anualmente de 10 a 15 mil metros cúbicos por hectare, são aportados ao solo de 1,0 a 60,0 toneladas de sais por hectare”, (Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010).

Podemos então aferir a concentração dos cátions e ânions em uma solução do solo utilizando unicamente esse atributo, pois, considerando que a condutividade elétrica é a capacidade da água de conduzir uma corrente elétrica em função da concentração dos íons presentes na solução (EMBRAPA, 2001), podemos assim, de uma forma indireta, aferir a concentração dos sais solúveis tendo em mãos o valor da condutividade elétrica (C.E.), mas, conhecer a concentração total dos sais na solução do solo e na água de irrigação sem identificar os íons presentes, pouco ou nada ajudará no manejo da fertilidade dos solos.

No caso dos perímetros irrigados no vale do São Francisco, temos uma água de excelente qualidade para irrigação, do tipo C1S1, onde C1 é a classificação para águas com teor de sais inferior a 0,25 dS.m⁻¹, já S1 possui relação com a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) que terá valores inferiores a $\left(\frac{C}{C_0}\right)^{0,5}$, Richards (1954).

Se considerarmos uma condutividade elétrica de $0,25 \text{ dS.m}^{-1}$, limite da classificação C1, em condições do semiárido no Vale do São Francisco e utilizarmos uma lâmina de irrigação média de 7 mm/dia teremos uma quantidade de 11,2 kg de sais em cada irrigação em um único hectare, ou seja, ao final de um ano, serão adicionados ao solo cerca de 4.088 kg/ha de sais, isso considerando apenas a utilização da água de boa qualidade para irrigação. Temos ainda, outros fatores que contribuem para acelerar o processo de salinização, como por exemplo: Utilização desenfreada dos fertilizantes, manejo inadequado da irrigação, ausência de drenagem nas unidades produtivas e a alta evaporação inerente as regiões de climas áridos e semiáridos.

Sabendo que a salinização é um processo natural de degradação dos solos e um fenômeno prioritário das regiões áridas e semiáridas, e tendo os fatores que aceleram o processo depreciativo dos solos presentes nos perímetros irrigados localizados na região de abrangência do polo Juazeiro-BA / Petrolina-PE e em grande parte das unidades produtivas localizadas as margens do rio São Francisco nos estados da Bahia e Pernambuco, enxergamos como ponto primordial o monitoramento periódico dos solos através das análises químicas do solo, visando possíveis intervenções sobre manejo das irrigações e melhor utilização dos fertilizantes minerais, bem como, possíveis intervenções estruturais, como implantação de drenos subterrâneos, por exemplo.

Salientamos que: “Em todo mundo, mais de 10 milhões de hectares de áreas irrigadas são abandonadas anualmente devido aos problemas como a salinização e sodificação dos solos.” SZABOLCS (1989, apud Cerqueira P. et al, 2021, p. 90).

Quanto ao infortúnio financeiro causado pelo fenômeno da salinização, em função da degradação induzida em áreas irrigadas, podemos ter um prejuízo anual e global de cerca de US\$ 27,3 bilhões, (CODEVASF, 2021).

Quanto a disponibilidade dos nutrientes na solução do solo temos o exemplo clássico do pH, onde o equilíbrio das concentrações dos íons de hidrogênio (H^+) versus a concentração das hidroxilas (OH^-) interferem diretamente na solubilidade dos elementos essenciais e conseqüentemente a formação de íons disponíveis para absorção das raízes em meio aquoso.

Segundo Malavota (2006), a disponibilidade equilibrada para maioria dos nutrientes no solo ocorre no intervalo de pH em água, entre 6,0 e 6,5.

Além da disponibilidade, devemos levar em conta a concentração dos íons essenciais as plantas encontradas no solo, cuja característica eletrostática é implícita a toda e qualquer espécie química carregada eletricamente (íons).

Quanto a acidez total ou potencial ($\text{H} + \text{Al}^{3+}$), temos um parâmetro de extrema relevância quando tratamos da fertilidade e nutrição de plantas, pois além do fator intensidade, que defini os hidrogênios protonados em meio aquoso, e cuja disponibilidade na solução do solo define a intensidade da acidez ativa, que por sua vez, nos leva aos valores do potencial hidrogeniônico (pH)

de uma determinada amostra do solo, esse parâmetro ($H + Al^{3+}$), possui ainda uma relação direta com o fator quantidade, pois os hidrogênios ligados covalentemente aos coloides minerais e a matéria orgânica podem voltar a fase líquida do solo.

Quanto ao Alumínio, um íon trivalente, cuja forma química em solução aquosa (Al^{3+}), age de forma a disponibilizar na solução 6 íons de hidrogênio através da hidrólise da água, pois a quebra heterolítica da ligação de uma molécula da água ($H-O-H$ ou H_2O), desprende um íon H^+ e um ânion OH^- , logo o grupo OH^- , é atraído pelo metal (Al^{3+}) e o próton (H^+), fica disponível na solução do solo.

Desta forma, considerando que o Alumínio (Al^{3+}) é um metal trivalente, e para sua total inativação, tornando-o insolúvel em água, ele reage através da hidrólise com 3 moléculas de água (H_2O), disponibilizando 6 (seis) íons de hidrogênio (H^+) na solução do solo, ficando então, após as reações, uma base insolúvel em água o $Al(OH)_3$ e 6 hidrônios (H_3O^+), após os hidrogênios (H^+) serem atraídos por 6 moléculas de água, concedendo ao Alumínio a evidência de ser um poderoso agente acidificante nos solos.

No vale do São Francisco, mais especificamente nas cidades de Juazeiro-BA e Petrolina-PE, temos uma grande diversidade de classes de solos, onde temos solos essencialmente quartzosos, praticamente inertes, contendo uma quantidade mínima de partículas carregadas eletricamente a exemplo dos Neossolos Quartzarênicos, contrastando drasticamente com solos de caráter vértico a exemplo dos vertissolos existentes no lado baiano, onde um dos pré-requisitos para enquadramento dessa classe de solo é ter no mínimo 300 g.kg^{-1} de argila, nos primeiros 20 cm de solo após ser misturado e homogenizado, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) 5ª edição, (EMBRAPA-2018).

São diferenças significativas do ponto de vista químico e físico dos solos, não é possível ter o mesmo manejo para solos tão distintos, um possui basicamente material inerte (areia), o outro, alto teor de argila tipo expansiva, dotando esta classe de solo alta capacidade de troca catiônica – CTC.

Conhecer a capacidade de troca de um solo é algo básico para quem quer realizar um manejo dos fertilizantes minerais de forma a adquirir altas produtividades sem ocasionar desequilíbrio químico aos solos e conseqüentemente danos ambientais, considerando que a utilização de sais em quantidades superiores a capacidade de retenção das partículas minerais e orgânicas do solo, e associado a um manejo inadequado da irrigação, fatalmente teremos contaminação de lençóis freáticos, rios e lagos, bem como aceleração do processo de salinização do solo, tornando a área imprópria para novos cultivos.

Desta forma, além dos prejuízos financeiros ocasionados por este processo, a salinização traz danos ambientais vultosos, a exemplo da desertificação dos ambientes agrícolas.

Tabela – 02: Classes de interpretação de fertilidade do solo para saturação por Al^{3+} e CTC pH 7.

Característica	Unidade	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio ¹	Bom	Muito bom
² CTC pH 7 (T)	cmolc.dm ⁻³	<=1,60	1,61 – 4,30	4,31 – 8,60	8,61 – 15,00	>15,00
³ Saturação por Al^{3+} (m)	%	<=15	15,1 – 30,0	30,1 – 50,0	50,1 – 75,0 ⁴	>75,0 ⁴

¹ Limite superior desta classe indica o nível crítico. ² T = SB + (H + Al); ³ m = 100 Al^{3+}/t ; ⁴ A interpretação dessas características nessas classes deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom. Fonte: Alvarez V. et al. (1999).

Tabela – 03: Classes de interpretação para acidez ativa do solo (pH).

Classificação química ¹						
Acidez muito elevada	Acidez elevada	Acidez média	Acidez fraca	Neutra	Alcalinidade fraca	Alcalinidade elevada
< 4,5	4,5 – 5,0	5,1 – 6,0	6,1 – 6,9	7,0	7,1 – 7,8	> 7,8
Classificação Agrônômica ²						
Muito Baixo	Baixo	Bom	Alto	Muito alto		
< 4,5	4,5 – 5,4	5,5 – 6,0	6,1 – 7,0	> 7,0		

¹ pH em H₂O, relação 1:2,5, TFSA: H₂O; ² A qualificação indica adequado (bom) ou inadequado (muito baixo e baixo ou alto e muito alto). Fonte: Alvarez V. et al. (1999).

2.4 Fósforo no Solo.

E o que mencionar sobre o elemento fósforo, uma das principais fontes energéticas nos processos metabólicos das plantas, tendo em vista que o nucleotídeo adenosina trifosfato (ATP) é utilizado para criar açúcares, aos quais, as plantas utilizarão para seu crescimento e sua sobrevivência, (Khan Academy, 2021), conhecer seus teores no solo é indispensável para escolha do fertilizante solúvel e quantidade a serem aplicados para o desenvolvimento das plantas e assim alcançar bons níveis de produtividade.

Originalmente os solos da região semiárida do nordeste brasileiro, possuem baixos teores de fosfatos em sua grande maioria insuficientes para fornecimento adequado de fósforo durante o ciclo reprodutivo para maioria das culturas.

Para PEREIRA e FARIA (1997): “Os solos da região semiárida brasileira contêm baixos teores de P, um dos elementos que mais limita a produtividade das culturas nessa região. Consequentemente, para obtenção de produtividades elevadas, torna se necessária a adição de fertilizantes fosfatados.”

Mas os fosfatos possuem dinâmica peculiar quando comparado aos demais íons essenciais disponíveis no solo, pois além de possuir três formas iônicas passíveis de serem assimiladas pelas plantas, são elas: di-hidrogênio fosfato $H_2PO_4^-$, monohidrogênio fosfato HPO_4^{2-} e fosfato PO_4^{3-} ,

sendo apenas as duas primeiras possíveis de serem encontradas em solos agricultáveis em função do pH do solo, tendo em vista que a forma desprovida de prótons (PO_4^{3-}), só deve ser encontrada em condições de alcalinidade elevada, pH entorno de 12, NETO et al (2001), totalmente inviável sob o ponto de vista agrônomo.

Os fosfatos possuem uma forte afinidade com solos altamente intemperizados a exemplo dos latossolos onde existe o predomínio de óxidos de ferro e de alumínio na fração argila, tal solo, condiciona o estabelecimento de ligações covalentes e irreversíveis, ou seja, uma vez adsorvido o íon de fósforo nos coloides de hidróxido de ferro e alumínio, este ânion não retornará à solução do solo.

Quanto a concentração do fósforo no solo e na solução, segundo (Neto et al, 2001, p. 151): “Os solos podem apresentar de 100 a 2500 kg/ha de fósforo total, na camada arável. Todavia, qualquer que seja a natureza do solo, a concentração de fósforo em solução é extremamente baixa, normalmente entre 0,1 e 1,0 kg/ha...”

Vejam que ao correlacionarmos a concentração do fósforo encontrado no solo, versus quantidade de fósforo na solução do solo, teremos níveis de aproximados de 0,10% no limite inferior e 0,04% para o patamar superior, ou seja, o fator quantidade é algo entre 1000 até 2.500 vezes superior ao fator intensidade, sendo assim, para cada grama de fósforo na solução do solo teremos entre 1 kg até 2,5 kg de fósforo adsorvidos aos coloides.

Então, como podemos criar parâmetros de fertilidade do solo para o fósforo conhecendo apenas os teores na solução do solo?

Conhecer os valores na solução do solo, deve cumprir seu papel de monitoramento para ajustes em doses de adubação de momento, mas sem conhecer as reservas existentes no solo poderemos exaurir todo seu estoque, seguido de redução nos valores encontrados anteriormente na solução, sendo necessário nessa condição, um aporte bem mais expressivo de fósforo para suprir não apenas o pequeno teor de fósforo disponível na solução do solo, mas, todo o estoque dos íons fosfatos antes presentes em suas reservas (fator quantidade).

Quanto ao manejo da fertilidade dos solos, no Estado de Pernambuco, por exemplo, existem orientações do Manual de Recomendação de Adubação do referido Estado, em sua segunda aproximação para cultura da videira, os valores de P superiores a 40 mg.dm^{-3} e 80 mg.dm^{-3} , em solos argilosos e arenosos, respectivamente, seja para produtividades mais baixas ou acima de 35 toneladas por hectare, não é recomendado o uso de qualquer fonte de fósforo para manutenção do ciclo produtivo, ou seja, solos com 80 kg de fósforo em solos argilosos e ou 160 kg de P em solos arenosos, podem alcançar altas produtividades sem aplicação de um único quilograma de fosfatos.

Tabela – 04: Classes de interpretação para fósforo.

Níveis	P – Solo arenoso	P – Solo argiloso
--------	------------------	-------------------

Muito baixo	mg.dm⁻³ < 6	mg.dm⁻³ -
Baixo	6 – 10	< 6
Médio	11 – 20	6 – 10
Alto	21 – 40	11 – 20
Muito alto	> 40	> 20

3.0 OBJETIVO

- Avaliar as classes da fertilidade atual dos solos irrigadas no semiárido brasileiro.

4.0 METODOLOGIA

Foram utilizados dados disponibilizados pela SOLOAGRI, empresa de análise de solos da região, participante de programa coordenado pela EMBRAPA, o Programa de Análise de Qualidade de Laboratórios de Fertilidade (PAQLF), contendo resultados de 1.634 amostras de solo protocolados nos meses de abril e maio de 2021, sendo essas amostras coletadas em diversas propriedades da região, boa parte delas foram coletadas em lotes inseridos em perímetros irrigados, sendo a grande maioria localizados nos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, contendo a seguinte quantitativo por região (Perímetros Irrigados): Projeto Bebedouro – 74 amostras, Projeto Curaçá – 28 amostras, Projeto Maniçoba – 52 amostras, Projeto Salitre – 21 amostras, Projeto Pontal – 3 amostras, Projeto Maria Tereza – 243 amostras, Projeto Senador Nilo Coelho – 517 amostras, Projeto Pedra Branca – 13 amostras, Projeto Fulgêncio - 13 amostras, Projeto Tourão - 3 amostras, Projeto Brígida - 2 amostras, Projeto Ponto Novo – 2 amostras e Projeto Itamotinga – 1 amostra. Totalizando um número de 970 amostras localizados em perímetros irrigados e 664 amostras em unidades produtivas localizadas fora de qualquer perímetro irrigado e de micronutrientes.

O laboratório utilizou, Mehlich - 1 para determinação de fósforo, potássio, sódio e micronutrientes catiônicos, cloreto de potássio para determinação do cálcio, magnésio e alumínio, e o acetato de cálcio para determinação da acidez total.

Nas amostras foram determinadas as variáveis: Potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (C.E.), concentrações das bases: Cálcio, Magnésio, Sódio e Potássio, soma das bases, acidez potencial (H + Al), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), concentração do Alumínio trocável (Al³⁺), saturação por bases e concentração do fósforo.

Não foram usados neste estudo os dados de matéria orgânica e micronutrientes.

Os resultados foram tabulados e submetidos a estatística descritiva, por meio de distribuição de frequências, absoluta e relativa, por classes de solo.

5.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Potencial hidrogeniônico(pH).

Na figura 1 é apresentado as frequências absolutas e relativas de pH em função das classes agronômicas para todas as amostras avaliadas.

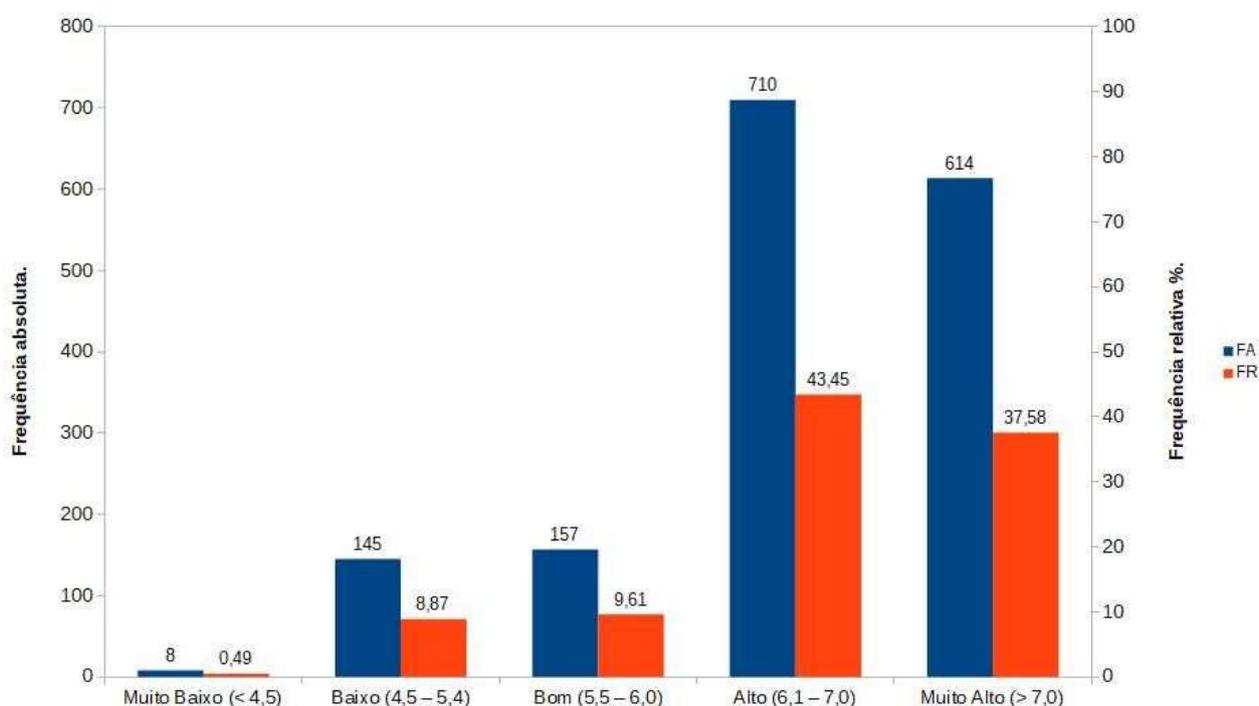


Figura 1 – distribuição de frequência absoluta e relativa do pH em solos irrigados no semiárido.

Na classificação apresentada por Alvarez (1995), devemos ter a seguinte interpretação: A qualificação indica adequado (bom) ou inadequado (muito baixo e baixo ou alto e muito alto), EMBRAPA (2009).

Ou seja, conforme a classificação atribuída por Alvarez et al (1995), dos 1.634 solos analisados, apenas 157 são bons sobre o ponto de vista agrônômico, quando os valores do pH estão entre 5,5 e 6,0, e os 1.324 solos classificados como inadequados, por apresentarem pH mais elevado 6,1 – 7,0 e maior que 7,0, e ainda 153 solos classificados como inadequados por possuírem pH inferiores ($\leq 5,4$).

Considerando que originalmente os solos da região do semiárido nordestino possuem pH mais baixo, como podemos atribuir o número de aproximadamente 87% dos solos possuírem pH mais elevados? E por tanto inadequados, segundo Alvarez et al(1995). Provavelmente em função do manejo dos fertilizantes utilizados pelos irrigantes.

Existem outras formas de ocorrência das alterações eletroquímicas existentes nos solos, a diminuição dos valores do pH por exemplo, podem ocorrer em condições de solos que possuem má drenagem, favorecendo as condições de um ambiente redutor, onde os íons H^+ tendem a receber um elétron voltando assim a sua forma elementar de H ou de gás hidrogênio (H_2). Desta forma, com a saída dos hidrogênios protonados livres na solução, bem como parte dos prótons (H^+) encontrados na fase sólida do solo (coloides minerais e orgânicos) o pH tende a se elevar.

Embora as manchas de solos aqui analisadas estejam em região de clima semiárido, onde as baixas precipitações e a alta evapotranspiração não favorecem ao encharcamento dos solos, o advento de manejo inadequado da irrigação em solos de baixa drenabilidade podem favorecer a criação de ambientes redutores em solos submetidos a essas condições.

Com isso, abrimos um leque para discursões sobre manejo da água e dos fertilizantes a serem utilizados em áreas irrigadas no semiárido nordestino, no entanto, tais argumentações e hipóteses, visando a melhoria na qualidade do manejo do solo e da água em áreas irrigadas, só poderão ser iniciadas através do monitoramento periódico das áreas através das análises químicas dos solos.

Segundo Malavolta (2006), em um pH de 6,5 temos o limite de uma melhor absorção dos macronutrientes e micronutrientes, sem, no entanto, ficarmos numa situação limítrofe para ultrapassar a “barreira” do pH 7,0.

Solos ácidos podem ser facilmente corrigidos de forma gradual sem grande impacto sobre a microbiota dos solos, entretanto, reduzir o pH de um solo, requer o uso de ácidos, a exemplo do ácido fosfórico, acontece que diferentemente dos calcários que possuem granulometria apropriada e baixa solubilidade, favorecendo assim a existência de reações químicas de forma gradual, podendo essas ocorrerem durante meses ou até alguns anos, a depender do PRNT do corretivo, as substâncias ácidas, por sua vez, possuem alto poder de ionização liberando um grande número de íons hidrogênio no momento da aplicação, desta forma, teremos uma brusca mudança de pH, cujas transformações impactam diretamente nos microrganismos benéficos existentes no solo.

Assim, mesmo considerando o limite de $pH=6,5$, vão existir no universo de 1.634 amostras um valor de 69,16% dos solos com valores de pH igual ou superior a 6,5, ou seja, condições próximas da alcalinidade, ou até mesmo alcalinos, situação que poderia ter sido evitada pelo monitoramento do pH realizado através de análises de solos de forma periódica, o que possibilitaria definir tecnicamente o tipo e quantidades de fertilizante e/ou corretivos de solos.

Ao fazermos um recorte das áreas irrigadas dentro dos perímetros públicos constatamos a seguinte situação, ver gráfico abaixo:

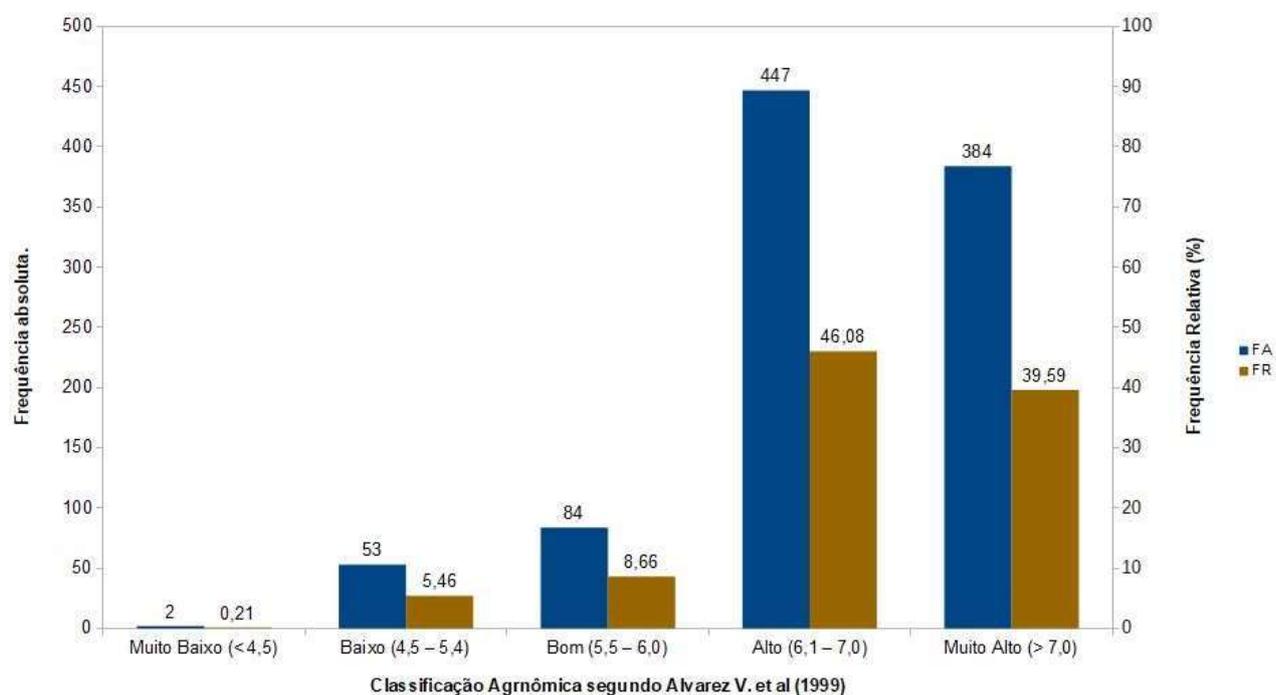


Figura 2 – Distribuição de frequência absoluta e relativa do pH em solos irrigados no semiárido, dentro dos perímetros irrigados.

Podemos observar que cerca de 85,67% dos solos dos perímetros irrigados analisados, apresentaram pH com padrão alto e muito alto, conforme classificação agrônômica de Alvarez et al(1995), ou seja, bem próximo dos 81,03% quando foram analisados o conjunto de amostras coletadas dentro e fora dos perímetros irrigados (PI), quanto ao número de amostras com valores iguais ou superiores ao pH de 6,5 apenas nas áreas dos perímetros irrigados chegamos a valor de 73,40% das amostras nessa condição.

E quando separamos apenas as amostras coletadas em áreas irrigadas, mas fora dos PI's, chegamos a um percentual de aproximadamente 62,95% dos solos com pH alto e/o muito alto, ver figura abaixo:

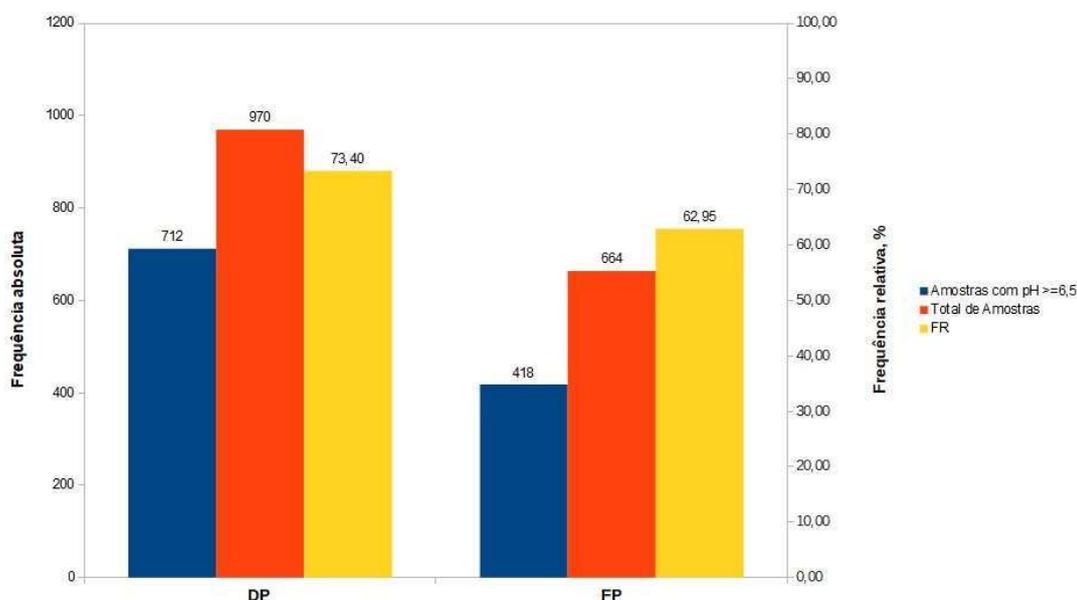


Figura 3 – Distribuição de frequência absoluta e relativa do pH em solos irrigados, dentro de perímetro (DP) e fora de perímetros (FP) no semiárido brasileiro.

Para melhor compreensão quanto aos valores de pH em áreas dentro e fora dos perímetros irrigados objetos da avaliação, segue tabela 5:

Tabela – 05: Comparação entre o pH nas áreas irrigadas do semiárido brasileiro, localizadas em perímetros irrigados e fora dos perímetros irrigados.

A - Solos com classificação do pH alto e/ou muito alto nos PI's / 970 amostras (%)	B - Solos com classificação do pH alto e/ou muito alto - áreas fora dos PI's / 664 amostras (%)	A+B / 1.634 amostras (%)
pH > = 6,5: 73,40	pH > = 6,5: 62,95	pH > = 6,5: 69,16
pH > 6,0*: 85,67	pH > 6,0*: 74,25	pH > 6,0*: 81,03

*Condição para classificação agrônômica para pH alto e muito alto, segundo Alvarez et al(1995).

Podemos observar que mesmo considerando o limite mais alto de pH (6,5), temos mais de 69% dos solos com pH próximo da alcalinidade.

5.2 Condutividade Elétrica e Percentual do Sódio Trocável (PST).

Na figura 4 é apresentado as frequências absolutas e relativas quanto a condutividade elétrica (C.E.):

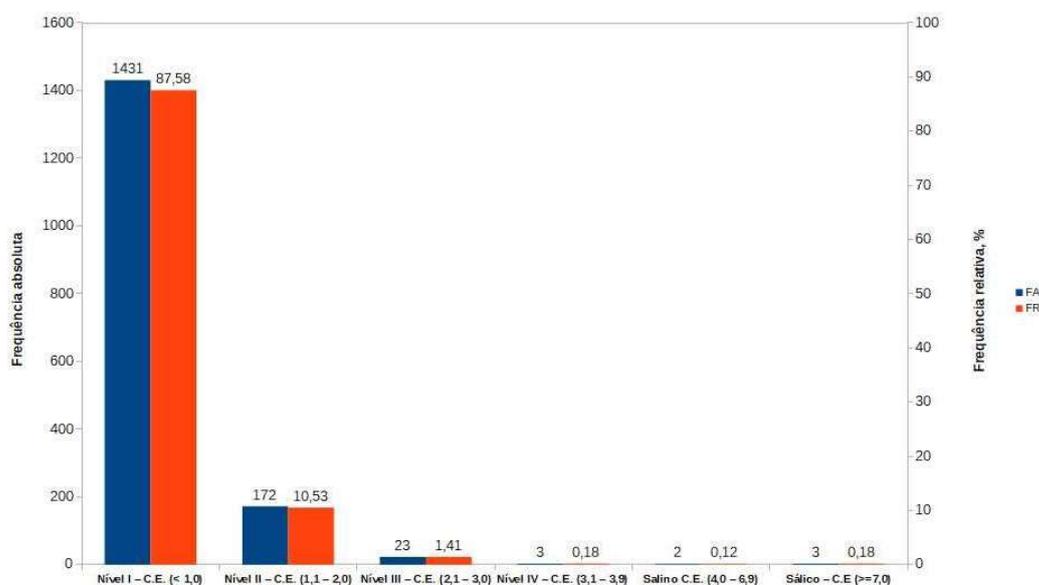


Figura 4 – Distribuição de frequência absoluta e relativa da condutividade elétrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.

Todas as amostras de solos, as quais foram apresentadas ao laboratório de solos nos meses de abril e maio de 2021, embora sob períodos distintos quando ao uso de água para irrigação, algumas áreas possuem mais de 30 anos sob o uso da irrigação para cultivos.

Qual o impacto disso quanto ao grau de salinização? Em processos mais avançados de acúmulo de sais no perfil e na superfície dos solos, logo temos perdas significativas na produtividade, tendo em vista que a grande maioria das culturas desenvolvidas na região com irrigação do semiárido brasileiro são sensíveis ou pouco tolerantes aos altos índices salinos dos solos.

Uma forma de prevenção visando a tomada de decisão quanto ao manejo da irrigação, é o monitoramento dos níveis de sais no solo, devendo ser realizado amostragens periódicas ao fim de cada ciclo produtivo.

Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) em sua 5ª edição, (EMBRAPA-2018), é classificado como salino, todos os solos que possuem condutividade elétrica com valores entre 4,0 e 6,9 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, a 25°C ou sálco para as áreas com C.E. maior ou igual a 7,0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, a 25°C.

Com base na literatura supramencionada, de todos os lotes irrigados dentro do campo amostral, apenas 5 desses estão em condição salino ou sálco, ou seja, apenas 0,31% das amostras analisadas, o que nos leva a crer num bom manejo da água de irrigação e quanto ao uso dos fertilizantes nas áreas analisadas.

Entretanto, apesar do pequeno percentual quanto as condições que habilitam os solos a serem classificados como salinos ou ainda sálcos, não podemos deixar de fazer algumas ponderações quanto aos solos que apresentaram teores da C.E. superior a 1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, a 25°C.

Segundo GHEYI. R. H. et al (2016), fruteiras como videiras e goiabeiras tem redução na sua produção máxima econômica em 10% quando submetidas a condições de estresse salino da ordem de 1,7 dS.m⁻¹, a 25°C, o mesmo autor indica justamente os mesmos 10% de perdas na produtividade para cultura da banana em solos com C.E. em água de 1,1 dS.m⁻¹, a 25°C.

Considerando que apenas 198 amostras apresentaram condutividade elétrica com valores superiores a 1,0 dS.m⁻¹, em outras palavras, pouco mais de 12% das áreas podem estar levando as cultivares a algum nível de estresse salino, devendo os irrigantes através de orientações agrônomicas feitas por profissional habilitado, aprimorar seu manejo de solo e água e assim evitar maiores perdas na produtividade ocasionadas pelo estresse salino, bem como, estancar o crescimento da C.E. a níveis que classifique a área como, imprópria para cultivos das principais espécies cultivadas no Nordeste brasileiro.

Na **figura 5**, é apresentado o número de amostras que possuem resultados de PST nas classificações, normal, caráter solódico e caráter sódico.

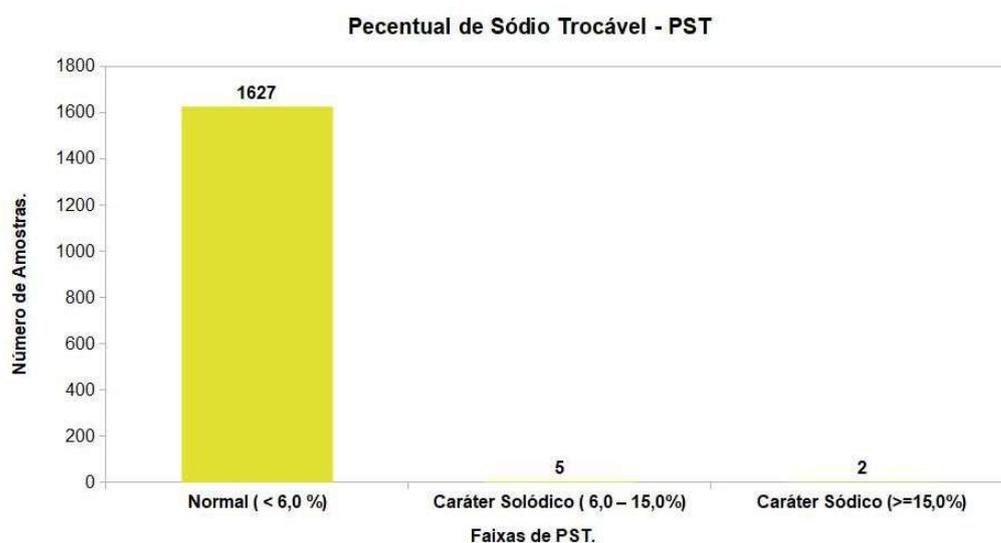


Figura 5 – Número de amostras e suas respectivas faixas de classificação quanto ao PST em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.

Sobre o Percentual de Saturação de Sódio - PST, onde nada mais é que a quantidade de sódio existente no solo dividido pela CTC a pH 7,0 podemos afirmar que praticamente não temos qualquer problema com relação ao excesso de sódio nos solos avaliados.

Pois, das 1.634 amostras analisadas, apenas 7 apresentaram valores que classificam os solos como de caráter solódico (6,0 > PST < 15,0 %) ou sódico (PST >=15,0%).

Considerando que os valores de PST são definidos para níveis de classificação dos solos, o que não nos permite realizarmos maiores inferências sobre a resposta das plantas quando aos teores de Na⁺ em um PST inferior a 6,0%.

5.3 Concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Na **figura 6** é apresentado as frequências absolutas e relativas de quanto as concentrações de cálcio e magnésio, em função das classes agronômicas para todas as amostras avaliadas

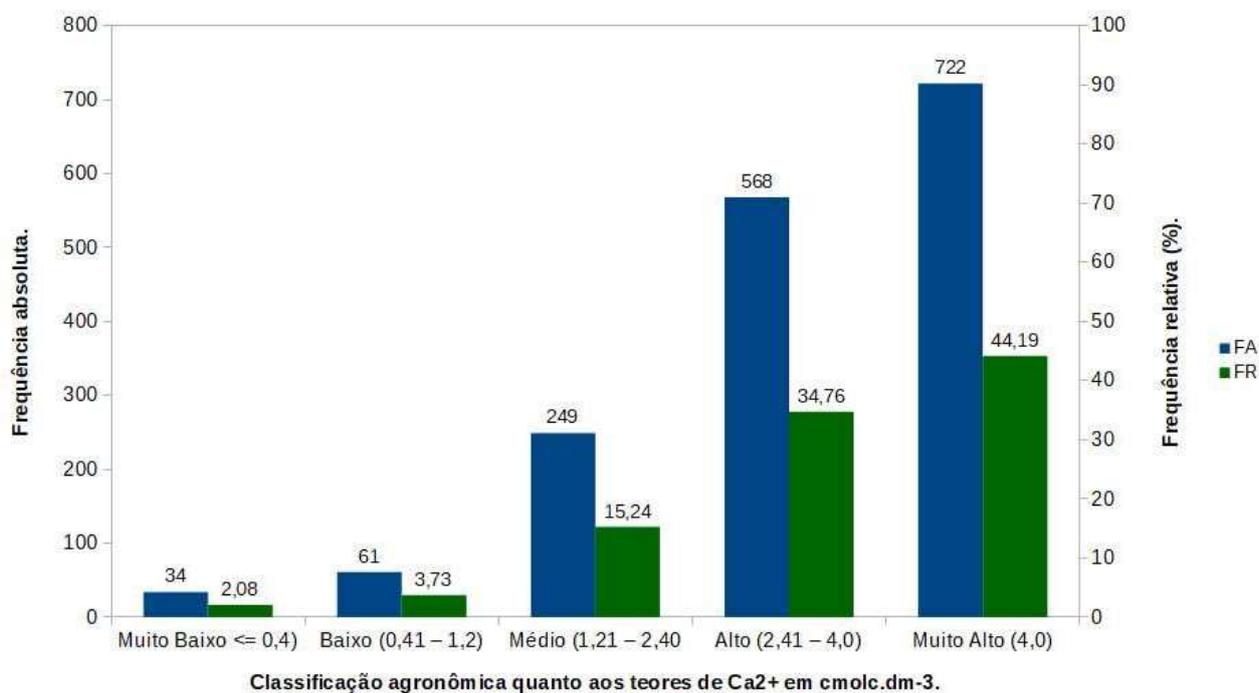


Figura 6 – Distribuição de frequência absoluta e relativa da concentração de Ca^{2+} , cmolc.dm^{-3} , em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.

Quanto aos teores de Cálcio, a grande maioria das áreas apresentam quantidades suficientes de cálcio para manutenção das culturas manejadas no semiárido brasileiro, pois das 1.634 amostras analisadas, 1.539 tinham valores de cálcio nas três classificações, a saber: Médio com 15,24%, Alto com 34,76% e Muito Alto com 44,19% do universo amostral.

Conforme classificação agronômica de Alvarez V. et al. (1999), o limite superior da classificação médio representa o nível crítico do nutriente no solo, EMBRAPA (2009), ou seja, para valores iguais ou superiores a $2,40 \text{ cmolc.dm}^{-3}$, sendo o Ca^{2+} o fator limitante, é possível alcançar a produtividade máxima econômica em cerca de 81,58% das áreas analisadas, sem levar em conta a saturação do nutriente em relação a CTC.

Em 1.290 resultados, cerca de 79% das amostras, possuem valores superiores ao nível crítico do nutriente no solo, e ainda foram encontradas 28 análises com valores de cálcio superior a 10 cmolc.dm^{-3} , sendo o maior valor de $44,61 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ em uma CTC de $47,61 \text{ cmolc.dm}^{-3}$.

Sem um maior aprofundamento dos dados, podemos afirmar que boa parte dos solos cultivados com uso de irrigação na região semiárida, não precisam de reposição imediata de cálcio para alcançar boas produtividades, devendo apenas realizar monitoramentos quanto aos níveis do nutriente através das análises de solo e folha, por exemplo.

Lembrando que o cálcio apesar de ser um elemento essencial constituinte da lamela média das paredes celulares (Lincon Taiz et al, 2017), ou seja, faz parte da estrutura do vegetal, seus valores exportados pelos frutos de algumas cultivares não é tão expressivo, a exemplo da cultura da uva, onde cerca de 1kg de Ca^{2+} é encontrado nos frutos a cada 10 t colhidas, FAQUIN, V. (2001).

Entretanto, não podemos nos ater apenas aos valores exportados pelos frutos, tendo em vista que, raízes, folhas e ramos, podem apresentar uma demanda superior as quantidades exportadas pelos frutos, colocando o tomateiro como exemplo, a cada 41 toneladas de frutos colhidos, 7,0 kg vão para os frutos, já as raízes e parte aérea, contabilizam 24 kg de Ca^{2+} exportados um total de 31 kg exportados (F. Valdemar, Nutrição Mineral de Plantas, p.75 – 2001).

Mas, podemos afirmar que o valor de $2,4 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (nível crítico) podemos suprir os 31 kg exportados pelo tomateiro?

Aplicando conceitos básicos da química, podemos chegar ao seguinte resultado:

1) 1 mol de Cálcio equivale a 40,08 g, logo 1 cmol que é a centésima parte de um mol, o qual terá 0,4008 g ou 400,8 mg;

2) Sabendo que 1 centimol de carga (cmol_c) de um íon é calculado dividindo a massa de 1 cmol dessa espécie química pela sua respectiva valência, chegamos ao valor de 1 cmol_c de cálcio da seguinte forma:

$$1 \text{ cmol de cálcio} = 400,8 \text{ mg} / 2 \text{ (valência do } \text{Ca}^{2+}) = 200,4 \text{ mg.}$$

Desta forma, se 1 cmol_c tem 200,4 mg, logo $2,4 \text{ cmol}_c$ terá 480,96 mg.

Considerando 0,2 m de profundidade da área agricultável, podemos afirmar que em 1ha (10.000 m^2), temos 2.000 m^3 de solo.

Então se $2,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^{-3}$ tem $480,96 \text{ mg}.\text{dm}^{-3}$, em 2.000 m^3 ($2,0 \times 10^6 \text{ dm}^3$) teremos $9,6192 \times 10^8 \text{ mg}$ ou $961,92 \text{ kg/ha}$ de cálcio (Ca^{2+}).

Ora, considerando que cerca de 79% das amostras apresentaram valores superiores a $2,4 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, temos “disponíveis” nos solos, quantidades iguais ou superiores a $961,92 \text{ kg/ha}$ de Cálcio, quando a necessidade em um ciclo na cultura do tomate, por exemplo, é de aproximadamente $31 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}$.

É bem verdade que fatores como as interações entre os cátions, proporções dos cátions perante a CTC, valores dos parâmetros cinéticos, velocidade máxima de absorção (V_{max}), constante de Michaelis-Mentes (K_m) e concentração mínima para absorção (C_{min}), textura dos solos e manejo da água de irrigação, são alguns fatores que interferem diretamente na disponibilidade e absorção dos nutrientes, **mas não podemos deixar de destacar que a existência do nutriente nos solos analisados apresentou em cerca de 79% deles, teores de Ca^{2+} maior que $2,4 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, ou seja, temos uma quantidade de cálcio 31 vezes maior do que o exportado pela cultura do tomate em um único ciclo, por exemplo.**

Acreditamos que através do monitoramento da fertilidade, bem como realização de estudos mais específicos quanto aos teores de cálcio no solo, poderemos refinar melhor as doses de cálcio a serem aplicados associado aos fatores de interferência na absorção do íon, como manejo da irrigação por exemplo.

Na **figura 7** é apresentado as frequências absolutas e relativas das concentrações do magnésio em função das classes agronômicas para todas as amostras avaliadas.

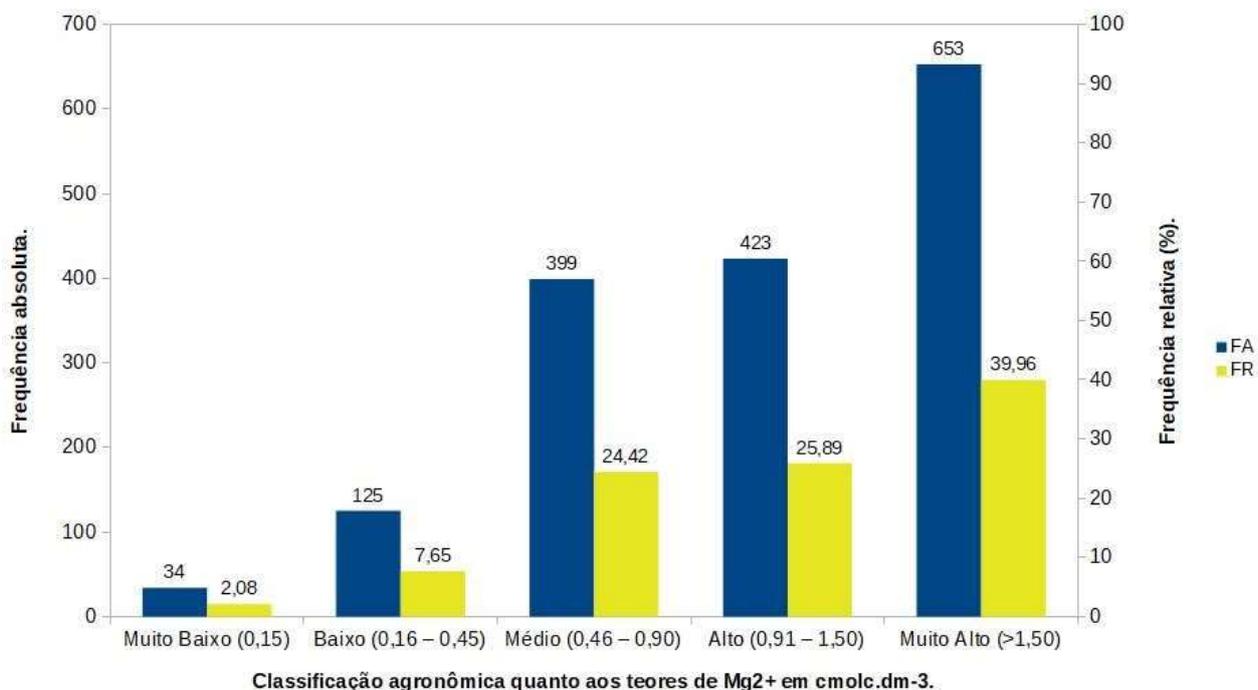


Figura 7 – Distribuição de frequência absoluta e relativa da concentração de Mg^{2+} , $cmolc.dm^{-3}$, em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.

Os teores de magnésio encontrados nas amostras, cerca de 66% dos resultados apresentaram valores iguais ou superiores a $0,9 cmolc.dm^{-3}$ do magnésio (nível crítico do elemento no solo).

Desta forma, assim como foi observado para o elemento cálcio, podemos realizar manejo nessas áreas com redução ou até não utilização de fontes de magnésio por alguns ciclos produtivos, sendo imprescindível para tal mudança no manejo dos fertilizantes, a realização de monitoramento através de análise química do solo e análise de tecido.

O magnésio possui ao menos três fontes mais utilizadas pelos agricultores, a saber: Sulfato de magnésio, óxido de magnésio e os calcários.

No entanto, alguns fatores devem ser levados em consideração, primeiramente a fonte oxidada possui baixa solubilidade, além disso, o óxido de magnésio, quando solubilizado apresenta reações alcalinas, cujo reflexo é o aumento do pH a níveis indesejáveis, a depender é claro da dose aplicada, sendo mais indicado em solos com pH mais ácido e que não foi feito o uso de corretivos em época própria.

Quanto aos calcários, em suas três formas, dolomítico, calcítico e magnesiano, além de termos a limitação onde só deve ser utilizado em solos com certo grau de acidez, devemos ainda,

estar antenados ao percentual do magnésio e do cálcio no corretivo escolhido, pois a escolha errada do tipo de calcário, pode levar ao desequilíbrio entre os cátions (Ca^{+2} , Mg^{2+} e K^{+}) no complexo sortivo do solo, restando ao agricultor a sulfato de magnésio, sal formado pelo cátion Mg^{2+} e pelo ânion SO_4^{-2} , sendo o magnésio advindo de uma base fraca $\text{Mg}(\text{OH})_2$, e o sulfato advindo de um ácido forte H_2SO_4 , e após neutralização, que nada mais é que a formação do sal (MgSO_4) espécie química essa, que promove uma solução ácida quando o sal em questão é diluído em água, pois sua base conjugada que é íon SO_4^{-2} (Base fraca, originada de um ácido forte), e o ácido conjugado por sua vez é o magnésio (Mg^{2+}) que foi originado de uma base fraca, o hidróxido de magnésio - $\text{Mg}(\text{OH})_2$, assim no momento da hidrólise, o cátion de Mg^{2+} , tende a atrair as hidroxilas (OH^-) disponíveis no momento da hidrólise, mantendo sua forma original $\text{Mg}(\text{OH})_2$, não ficando grupos (OH^-) livres na solução do solo, o que fatalmente levaria a um acréscimo no pH, já o íon sulfato (SO_4^{2-}), tende a não a atrair o próton (H^+) para sua eletrosfera, deixando os dois hidrogênios (H^+) existentes em uma molécula de água (H_2O ou H-O-H), disponíveis na solução do solo, conseqüentemente reduzindo os níveis do pH na solução do solo.

Então o efeito acidificante do sulfato de magnésio pode ser interessante em alguns casos, quanto ao manejo do pH durante o uso dos fertilizantes.

Mas, sua baixa concentração de magnésio, cerca de 9%, pode levar a recomendações de adubações com doses muito elevadas interferindo sobremaneira na tentativa de termos um pH mais equilibrado com valores entre 6,0 – 6,5.

5.4 - CTC, concentração e saturação do potássio.

Na **figura 8** é apresentado as frequências absolutas e relativas das concentrações do potássio em função das classes agronômicas para todas as amostras avaliadas.

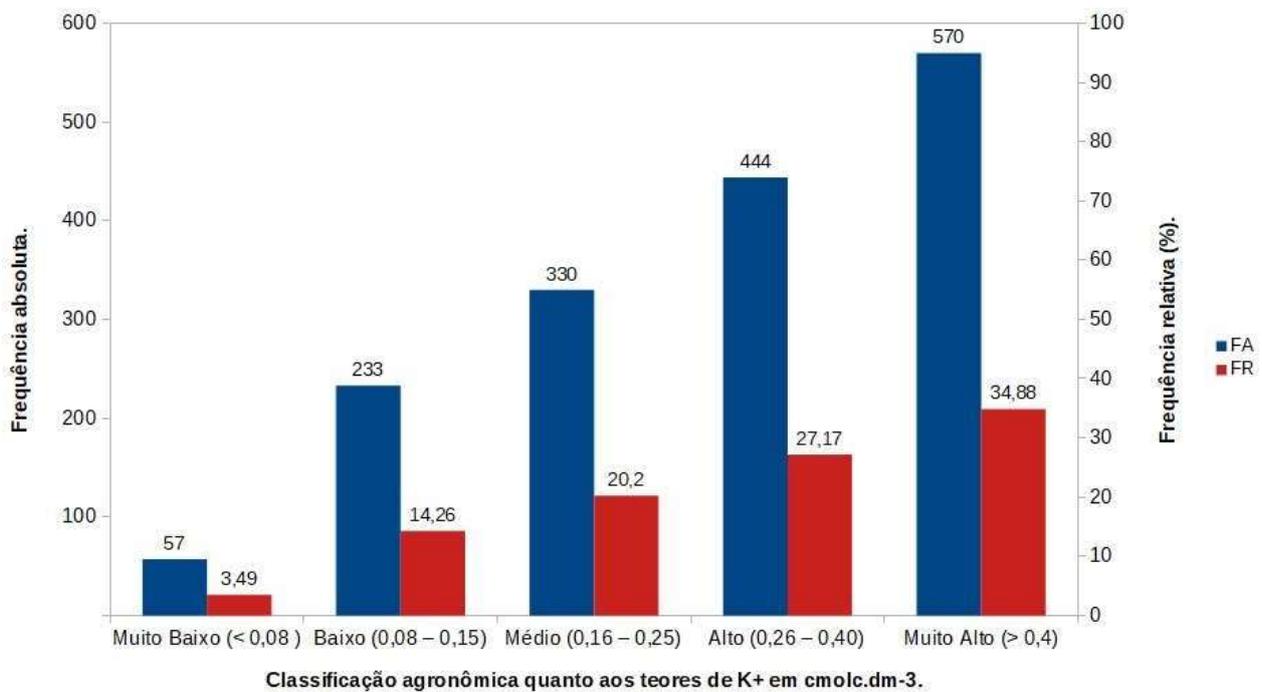


Figura 8 - Distribuição de frequência absoluta e relativa do teor de K^+ , $cmolc.dm^{-3}$, em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.

Para todas as amostras analisadas em solos irrigados no semiárido, cerca de 82,25% delas, estão classificadas como médio, alto e muito alto, quanto ao teor de potássio no solo.

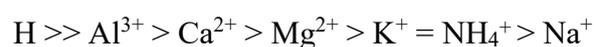
Para grande maioria das plantas, depois do oxigênio, carbono, hidrogênio e nitrogênio, o potássio é quinto o elemento mais requerido pelos vegetais, os três primeiros são fornecidos basicamente pela absorção de água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2), contendo uma concentração na matéria seca de 6, 45 e 45%, respectivamente, o nitrogênio por sua vez, chega a compor 1,5% da MS e logo em seguida, temos o potássio com média de 1% de toda matéria seca das plantas, Epstein (1999, apud Lincon Taiz et al, 2017, p. 120).

O Potássio conhecido como o “nutriente da qualidade”, também é consumido em grandes quantidades, sendo para algumas espécies seu consumo chega a ser bem superior ao do nitrogênio, a exemplo da banana e da batata. (Neto et al, 2001, p.177).

Além de ser um macronutriente, onde seu consumo é definido em kg/ha, boa parte do potássio chega as raízes pelo processo de difusão, cuja movimentação é lenta e requer umidade no solo, e a concentração do íon na solução do solo em quantidade adequada para maior movimentação do potássio (K^+) e assim ocorrer a absorção do nutriente em níveis adequados.

Possivelmente a concentração do cátion (k^+) na solução do solo, possui uma relação direta com a concentração de algum outro íon portador da mesma carga positiva, a exemplo do Ca^{2+} e do Mg^{2+} .

Ora se considerarmos a série liotrópica dos cátions essenciais as plantas, podemos afirmar que a força de atração entre os íons e os coloides são diferenciadas, vejamos:



Podemos observar que o potássio possui praticamente a mesma força de atração sobre os coloides, quando comparado ao amônio, uma força superior ao sódio e menor capacidade de atração quando comparado aos demais, (Neto et al, 2001, p.32).

Assim, considerando essa premissa, podemos afirmar que em solos com altas concentrações de cálcio e magnésio, teremos grande parte do potássio deslocado para solução do solo e por sua vez estará susceptível a lixiviação pelas águas de irrigação ou chuvas.

Certamente por isso, alguns autores relatam que além da concentração mínima do potássio no solo para o suprimento adequado desse nutriente nas plantas, devemos levar em conta o percentual do potássio em relação a CTC.

Na **figura 9** é apresentado as frequências absolutas e relativas das saturações do potássio em função da CTC pH 7.

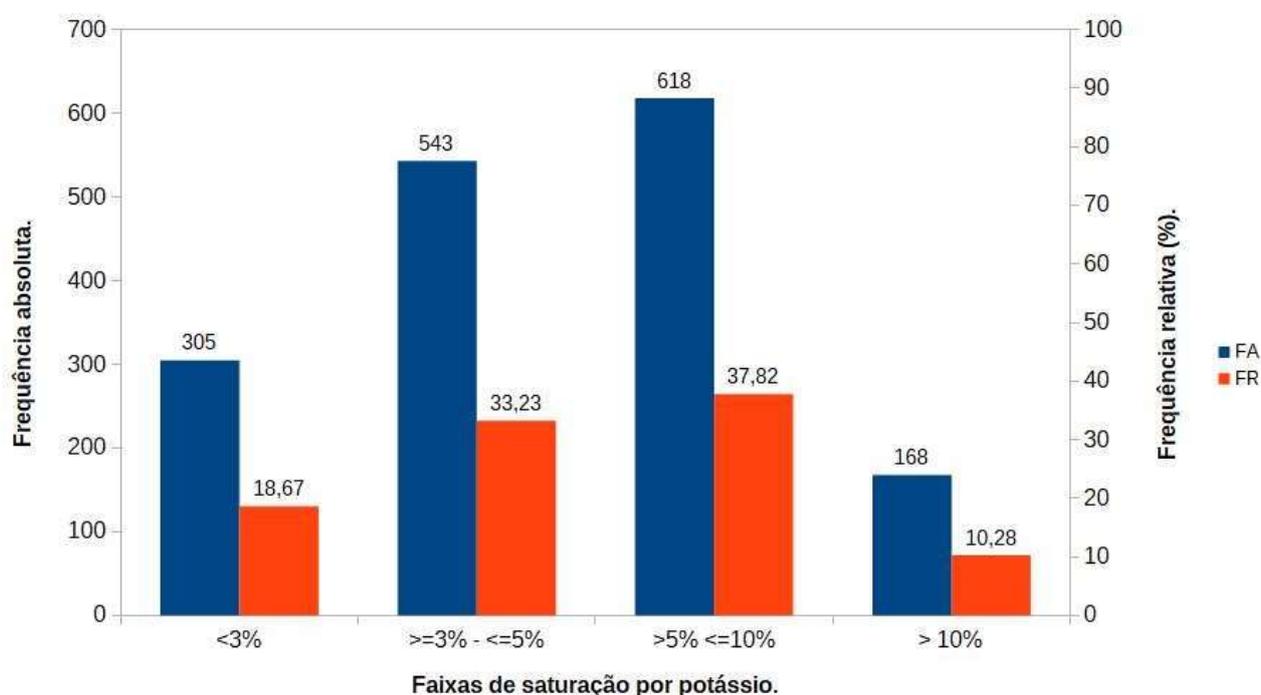


Figura 9 - Distribuição de frequência absoluta e relativa da saturação por K^+ perante a CTC pH 7,0, em áreas irrigadas no semiárido brasileiro.

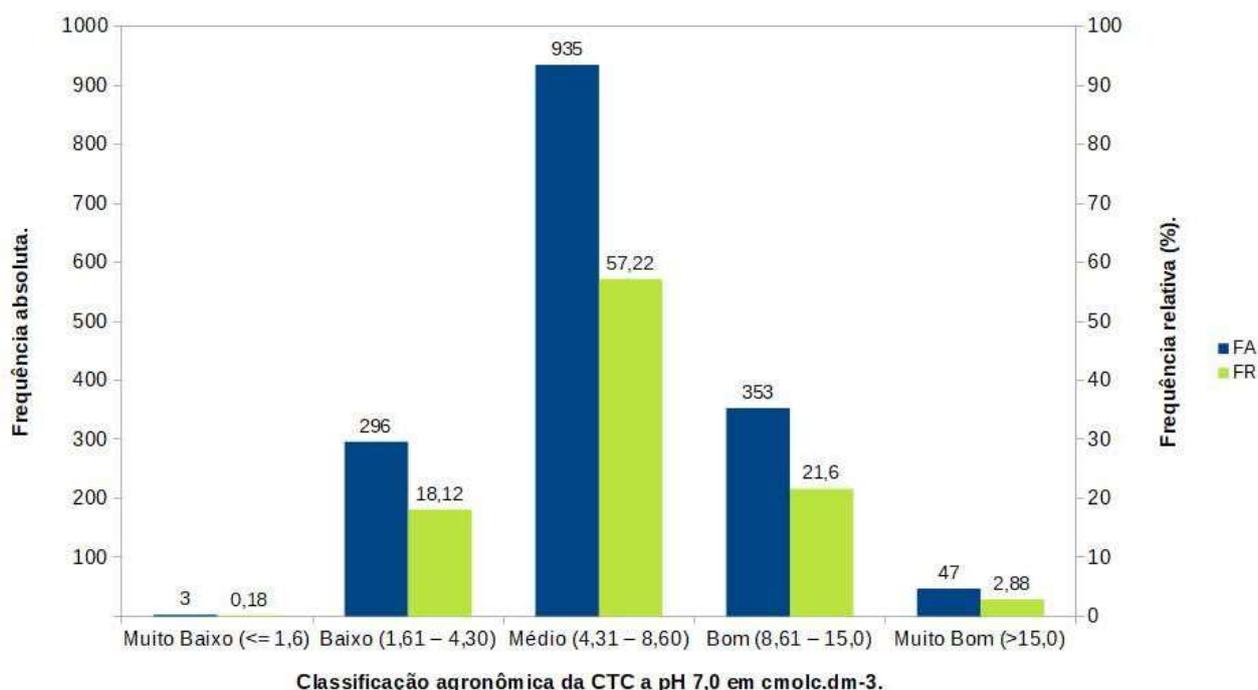
Avaliando os resultados com valores maiores ou iguais ao nível crítico do potássio conforme classificação agrônômica de Alvarez V. et al (1999), constatamos um valor de cerca 64,14% das áreas nessa situação, ou seja, a cada 10 lotes avaliados, 6 (seis) já tinham quantidade suficiente de potássio para manter um ciclo produtivo, análise linear sem relacionarmos a relação do potássio quanto aos demais cátions ou simplesmente sua proporção perante a CTC a pH 7,0.

Podemos observar que 549 resultados apresentaram teores de potássio entre 3 e 5% em relação a CTC, isso significa que temos 32,83% na faixa ideal na busca do equilíbrio entre o potássio e demais cátions (principalmente cálcio e magnésio), conforme (Neto et al, 2001, p.32): “Uma saturação de potássio entre 3 a 5% da CTC a pH 7,0 tem sido tomada como ideal para o crescimento da maioria das espécies em nossas condições.”

Mas, a nível de campo em regiões com práticas de cultivo intensivo sempre na busca de altas produtividades, alguns profissionais tem utilizados valores da saturação do potássio na ordem de 5 até 10% da CTC.

Se pegarmos como exemplo a cultura da uva, mais especificamente a variedade Itália, conhecida como Itália Melhorada, seja em cima de um porta enxerto de vigor intermediário tipo IAC 313, ou porta enxertos mais vigorosos, tipo IAC 766 ou IAC 572, onde em ambos os casos a dose de nitrogênio pode chegar aos 150 kg por hectare, e que a depender da fonte escolhida (nitríca ou amoniacal), bem como as condições ambientais do solo no favorecimento ou não no processo de nitrificação bacteriano, podemos ter uma competição direta nos sítios de adsorção entre o amônio (NH_4^+) e o íon potássio (K^+), podendo reduzir sobremaneira a absorção do potássio, situação facilmente identificada a nível de campo, quando temos ramos das videiras que não alcançam um bom estágio de maturação, mesmo fazendo o manejo correto da irrigação, no entanto, sem uma saturação do potássio em níveis mais elevados quando comparados com os níveis propostas por algumas literaturas, não é possível alcançar bons níveis de maturação dos ramos conforme inúmeras ocorrências a nível de campo.

Todavia, vemos como imperioso a realização de campos experimentais visando a confirmação ou não dos relatos e análises visuais, confrontadas com as análises de solos demonstrando a relação direta entre V% do potássio versus maturação dos ramos na cultura da videira, entretanto, são resultados sem respaldo científico, servindo apenas como indicação para futuros trabalhos experimentais a serem desenvolvidos.



Na **figura 10** estão apresentadas as frequências absolutas e relativas da CTC $\text{pH } 7$. apesar da grande variação das classes de solos, bem como das granulometrias nelas encontradas, podemos

constatar que 81,70% dos solos avaliados apresentaram classificação médio, bom e muito bom, com os percentuais 57,22%, 21,60% e 2,88%, respectivamente. **Figura 10 - Distribuição de frequência absoluta e relativa da CTC_{pH 7,0}, em solos irrigados do semiárido brasileiro.**

Embora a classificação agrônômica, classifique um solo com CTC maior que 15,0 cmol_c.dm⁻³ como muito bom, o que é inteiramente compreensivo, haja vista, solos com alta capacidade de troca catiônica, possuem menores perdas por lixiviação dos elementos essenciais carregados eletricamente com cargas positivas, possuem maior capacidade de manterem os solos úmidos por mais tempo e possuem mais resistência a erosão, sendo vistos de uma forma geral como solos mais férteis, em função dos adjetivos aqui apresentados.

Porém, não podemos deixar de frisar que uma adubação equilibrada, deve além de observar os níveis críticos dos nutrientes no solo, precisa procurar manter uma boa proporção entre os cátions, bem como, bons teores da saturação desses elementos.

A título de exemplo, se compararmos dois solos com as seguintes características:

Solo X: 0,25 cmol_c.dm⁻³ de K⁺ e T= 5,5 cmol_c.dm⁻³.

Solo Y: 0,50 cmol_c.dm⁻³ de K⁺ e T= 20 cmol_c.dm⁻³.

Conforme classificação agrônômica atribuída por Alvarez V. et al (1999), o nível crítico do potássio é de 0,25 cmol_c.dm⁻³, logo, ambos os solos tomados como exemplo, devem atender a demanda da grande maioria das culturas durante seu ciclo produtivo, sendo o solo X classificado como médio quanto ao valor da CTC e o solo Y tem classificação muito bom quanto ao mesmo critério.

Devemos então acreditar que o solo Y deva apresentar respostas mais robustas quanto a absorção do potássio pelas raízes.

Entretanto, todo solo possui uma dinâmica própria, onde o elemento não deve ser analisado de forma linear, pois, vários fatores interferem direta ou indiretamente até a devida absorção do nutriente pelas raízes das plantas.

O próprio volume de raízes existentes com um grande número de tricomas radiculares pode ser determinante, quando o principal meio de movimentação do elemento essencial é por difusão.

Quanto ao exemplo posto, o solo X possui 4,55% de participação do potássio em relação a sua CTC, o solo Y por sua vez, tem apenas 2,50% do potássio em relação a CTC a pH 7,0.

Ora, devemos além de manter os teores do íon no solo em faixa adequada, próximo ao nível crítico, devemos ainda elevar a participação potássio adsorvido nos coloides (fator quantidade), evitando assim a descontinuidade do fornecimento do elemento no momento da troca entre fase sólida e fase líquida e absorção do nutriente pelas raízes, em função de uma reserva em níveis não adequados (fator quantidade), lembrando que os percentuais não devem ser muito elevados, pois

elevadas saturações do potássio, por exemplo, podem levar a inibição e conseqüentemente dificuldade na absorção dos cátions como cálcio e magnésio.

Concordando com essa premissa, quanto de sulfato de potássio devem ser aplicados em toda superfície do solo via fertirrigação em 1ha para levar os dois solos (X e Y), a uma saturação de potássio de 7% em relação a CTC?

Considerando que os fertilizantes apresentam informação quanto a concentração do nutriente na forma de óxido, para o exemplo em questão, temos o sulfato de potássio como uma concentração entorno de 50% de óxido de potássio (K_2O).

Assim, para elevarmos a concentração de potássio em $1\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ na camada arável do solo (0-0,20m), devemos acrescentar cerca de 940 quilogramas de K_2O /ha.

Utilizando a seguinte fórmula: $(V\% \text{ de } K^+ \text{ desejado} \times T - \text{Teor de } K^+ \text{ no solo}) \times 940$, chegamos aos seguintes resultados: Solo X, vai requerer uma quantidade de 254 kg de sulfato de potássio/ha, enquanto o solo Y vai precisar de 1.692 kg de sulfato de potássio para manter a mesma saturação do potássio em relação a CTC, ou seja, para mesma resposta quanto a saturação do potássio, o solo Y deve utilizar 1.438 kg a mais que o solo X.

Considerando que o preço do kg do fertilizante (Sulfato de Potássio) para o agricultor, gira em torno de R\$ 5,40 (1 Dolar = R\$ 5,60 em 23/11/21) teremos um custo de R\$ 9.136,80 para o solo Y, contra um valor de R\$ 1.371,60 no solo X.

Podemos ainda ter uma situação inversa, onde o baixo ou muito baixo valor da CTC pode levar ao profissional de ciências agrárias a acreditar que apenas o bom nível da saturação dos cátions perante a CTC do solo será suficiente para manutenção das culturas, onde na realidade, para uma baixa capacidade de troca de um solo, devemos elevar essa condição, principalmente através do uso de substratos orgânicos de qualidade.

Após esse incremento quanto a capacidade de troca catiônica, faz-se necessário o aumento gradativo dos nutrientes nos solos, até alcançar níveis que proporcionem a capacidade máxima de produção econômica.

Contudo, mesmo colocando a variável saturação do potássio perante a CTC, como método de avaliação da fertilidade e uso para recomendação de adubação, a redução quanto ao uso dos fertilizantes minerais mostra se possível, considerando que 82,25% das áreas possuem concentração de potássio nas classes de fertilidade, médio, alto e muito alto, contra 24,48% dos resultados possuem CTC maior que $8,6\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

5.5 Saturação do Alumínio e alumínio trocável (Al^{3+}) versus pH.

Foram tabulados os dados referentes a concentração e saturação do alumínio em todas as amostras coletadas, onde foi possível constatar que a grande maioria das áreas manejadas, não possuem qualquer problema quanto a existência do alumínio solubilizado e disponível no solo (Al^{3+}), tendo em vista que 94,74% das amostras tem classificação muito baixa, quanto a saturação do Alumínio, ver tabela abaixo:

Tabela – 06: Frequência absoluta e relativa (%) da saturação por Al^{3+} (m) em função das classes de fertilidade.

Variável	Classes	Intervalos	Frequência	
			Absoluta - FA	Relativa - FR
Percentual da Saturação por Al^{3+} (m) *	Muito Baixo	$\leq 15,0\%$	1.548	94,74%
	Baixo	15,0 – 30,0%	38	2,33%
	Médio	30,1 – 50,0%	21	1,29%
	Alto	50,1 – 70,0%	19	1,16%
	Muito Alto	$> 70,0\%$	8	0,49%
	Total		1.634	100%

* $m = (Al^{3+} / t) \times 100$.

Com intuito de verificar a existência de Alumínio ativo Al^{3+} em solução aquosa em pH com valores superiores ou iguais a 5,6, realizamos a seguinte tabulação:

Tabela – 07: Frequência absoluta do Alumínio trocável (Al^{3+}) em função do pH:

Variável	Intervalos de	Frequência	Intervalos de	Frequência
	pH	Absoluta – pH.	Al^{3+}	Absoluta – Al^{3+}
pH versus Al^{3+}	$\leq 5,5$	175	> 0	175
	$> 5,6$	1.459	zero	1.459
	Total	1.634	Total	1.634

Segundo LOPES (1995), solos com valores de pH igual ou maior a 5,6, não possui Alumínio carregado eletricamente (Al^{3+}), pois com o aumento progressivo do pH o número de oxídrias (OH^-) vão aumentando na solução do solo, assim, sendo o Alumínio Al^{3+} um metal trivalente com cargas elétricas positivas, tende a receber elétrons dos grupos OH^- , com isso o Alumínio apresenta a seguinte sequência até ficar totalmente insolúvel: $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)_2^+$ e por último $Al(OH)_3$, forma insolúvel do Alumínio.

Após verificação das 1.634 amostras, podemos constatar que 175 resultados apresentaram valores de pH igual ou inferior a 5,5 e em todas as 175 amostras foram encontrados valores de alumínio na ordem de 0,1 até 2,0 $cmol_c \cdot dm^{-3}$, no limite mais alto, o pH encontrado foi de 4,3.

Por outro lado, o restante das 1.459 amostras que tiveram pH maior ou igual a 5,6, não encontraram alumínio solúvel no solo, confirmando assim, a relação positiva entre as afirmações teóricas versus constatações práticas a nível de campo.

5.6 Concentrações do Fósforo.

Na **figura 11** estão apresentadas as distribuições de frequência absoluta e relativa dos teores de fósforo, em função dos níveis críticos no solo.

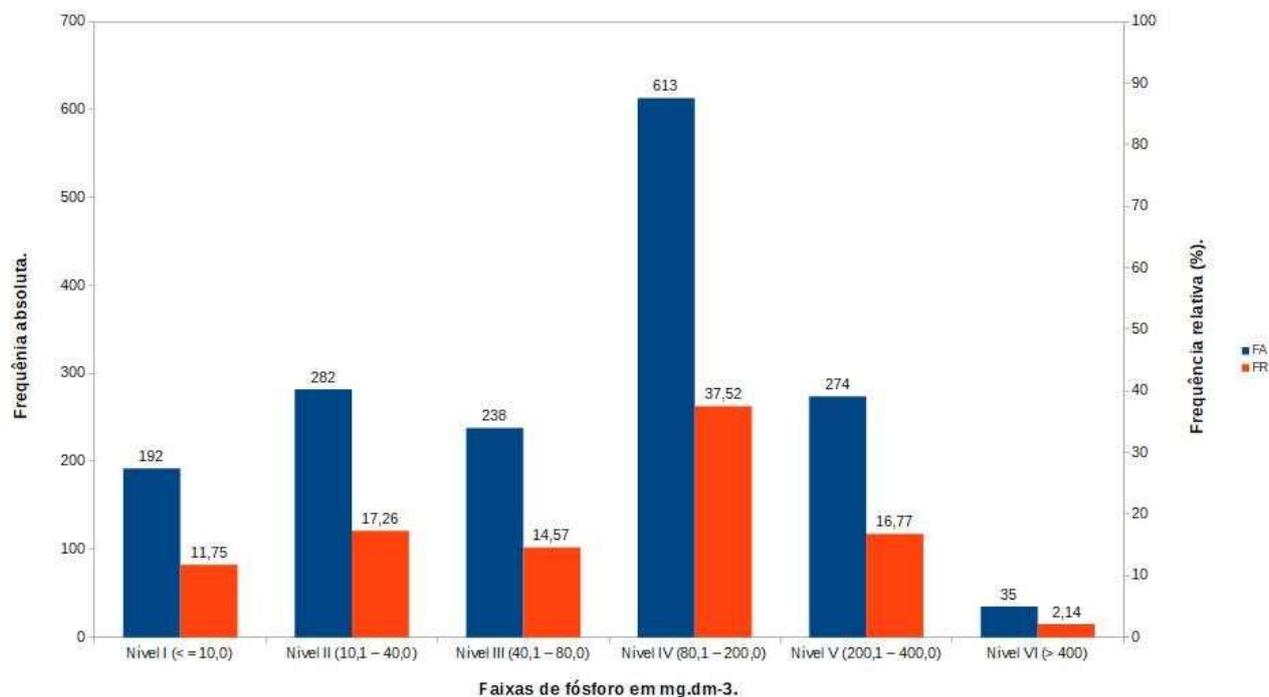


Figura 11 - Distribuição de frequências absoluta e relativa do teor de Fósforo, mg.dm⁻³, nas áreas irrigadas do semiárido brasileiro.

Não foi possível estipularmos intervalos dos teores de fósforo no solo em plena afinidade ao disposto na literatura, pois para tanto, seria necessário o acesso as análises granulométricas dos solos avaliados, assim, em função do número reduzido de amostras disponíveis quanto aos resultados das análises físicas, foi feita uma tabulação dos dados contendo alguma similaridade com os dados encontrados no Manual de Recomendação de Adubação do Estado de Pernambuco 2º aproximação (2008), mais especificamente para as culturas de manga e uva.

Segundo Manual de Recomendação de Adubação do estado de Pernambuco (2º aproximação), para valores de fósforo no solo superior a 40 mg.dm⁻³ não é recomendado o uso de fósforo para cultura da manga (*Mangifera indica L.*), mesmo em condições de altas produtividades (> 50 t.ha⁻¹).

Contabilizando o número de amostras que apresentaram valores superiores a 40 mg.dm⁻³, chegamos ao número de 1.162 amostras, o que corresponde a um percentual de 71,03% do total de amostras analisadas (1.634 amostras), das quais, conforme Manual de Recomendação do Estado de Pernambuco, não existe necessidade de aplicação de qualquer quantidade de fósforo, em, pelo menos, um ciclo produtivo.

Se fizermos uma mesma análise para a cultura da uva (*Vitis vinifera L.*), o mesmo manual, apresenta as faixas de adequação com suas respectivas doses de recomendação separando os níveis

para solos arenosos e solos argilosos, tendo como limite as concentrações para não utilização dos fosfatos de 80 e 40 mg.dm⁻³, respectivamente.

Fazendo uma extrapolação pela concentração mais elevada (80 mg.dm⁻³), referente aos solos de textura arenosa, chegamos ao número de 924 amostras, representando um valor de 56,48% das amostras que também não precisariam de qualquer aporte com adubações fosfatadas, podendo esse número ser ainda maior, considerando que o limite estabelecido pelo manual para solos argilosos é de 40 mg.dm⁻³ para cultura da uva.

Um outro dado interessante é quando analisamos a média aritmética quanto aos teores das 1.634 amostras analisadas, pois, apesar de termos um número de 11,74% das amostras com valores inferiores ou iguais a 10 mg.dm⁻³, a média para o universo amostral das foi de 118 mg.dm⁻³, ver figura 12.

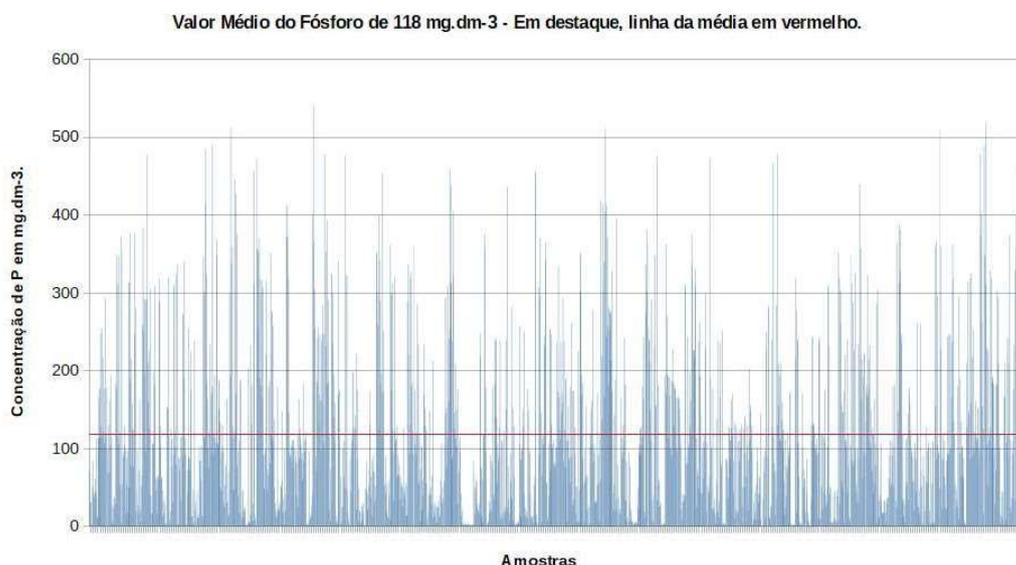


Figura 12 - Teores de Fósforo em 1.634 amostras de solos de áreas irrigadas do semiárido brasileiro.

Vejamos que o valor de 118 mg.dm⁻³, atribuído aos solos uma quantidade de 336 kg.ha⁻¹, não sendo a média a melhor condição para uma análise mais acurada, tendo em vista que dentre os 400 menores teores de fósforo chegam no máximo aos 30,5 mg.dm⁻³ de fósforo.

Mas, fazendo uma estratificação dos valores com concentração superior a 200 mg.dm⁻³, encontramos um rol de 309 amostras, ou seja, 18,91% do total de solos analisados, possuem valores acima de 400 kg.ha⁻¹ de fósforo, e tendo o maior resultado a concentração de 540,89 mg.dm⁻³, ou seja, o incrível valor de 1.081,78 kg.ha⁻¹ de fósforo.

Considerando a indicação na literatura de uma concentração média de 0,2% de fósforo em relação a toda sua matéria seca, Epstein (1999, apud Lincon Taiz et al, 2017, p. 120).

Considerando ainda que a cultura do tomate exporta apenas 21 kg de fósforo quando alcança uma produtividade de 41 toneladas, sendo 18 kg de fósforo encontrado em toda matéria seca dos frutos e 3 kg divididos entre raízes, ramos e folhas FAQUIN (2001).

Podemos inferir para o caso prático, a existência de uma relação entre fósforo encontrado no solo através do extrator Mehlich-1, versus quantidade de fósforo exportado pela cultura do tomateiro na ordem de aproximadamente 51 unidades, ou seja, o “fósforo disponível”, poderá fornecer o nutriente por mais de 50 ciclos produtivos, para o exemplo apresentado.

Mas, todo fósforo determinado pelo método de Mehlich-1, está prontamente disponíveis para as plantas?

O método utilizado para extração do elemento P foi o Mehlich-1 “(HCl 0,05 mol.L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol.L⁻¹)”, RAIJ, B. V. et al (2001).

Método de extração utilizado (Mehlich-1), apresenta uma boa correlação aos valores de P acumulados nas plantas, bem como boa calibração quanto aos parâmetros de níveis críticos utilizados pelo manual de recomendação do estado de Pernambuco (2° aproximação).

Entretanto, é confirmado pela literatura que o extrator Mehlich-1, deve superestimar a concentração do P disponível, quando o agricultor faz uso de fosfato natural, principalmente os de baixa reatividade, Novais F. R. et al (2007).

Isso acontece porque o fósforo encontrado nos fosfatos naturais a exemplo da Flúor-apatita Ca₁₀(PO₄)₆F₂ em meio ácido, realizam a seguinte reação: $Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 12H^+ \rightleftharpoons 10 Ca^{2+} + 6H_2O + 6H_2PO_4^- + 2F^-$, tornado o cálcio e o fósforo prontamente disponíveis para as plantas, Novais F. R. et al (2007).

Acontece que a concentração de H⁺ é o componente necessário para a ativação da reação apresentada, mas em solos com pH=6,8, como no caso prático apresentado (onde revelou um teor de fósforo de 540,89 mg.dm⁻³), temos uma concentração de íons hidrogênio na ordem de 1,58 x 10⁻⁷ mol.L⁻¹, ou seja, cerca de 158 vezes menos concentrado quando comparamos com o H₂SO₄ e cerca de 316 menos concentrado que o HCl nas concentrações encontradas no Mehlich-1, assim, o fósforo desnudado na análise deve ser bem superior ao fósforo realmente disponível a nível de campo caso o agricultor tenha feito uso de algum tipo de fosfato natural.

Mas, certamente carecemos de maiores informações quanto aos níveis de fósforo encontrado em áreas irrigadas no Vale do São Francisco, principalmente sobre o contexto apresentado neste ano de 2020 e nos próximos anos, onde uma crise de fornecimento e de valores postos ao consumidor final (agricultores) sobre fertilizantes minerais, podem causar impactos diretos na produtividade das culturas, caso não encontrarmos alternativas de manejo na busca da viabilização dos altos teores de elementos essenciais encontrados nessas áreas irrigadas.

Apenas como forma de ilustração ao contido, e considerando os baixos níveis de fósforo encontrados nas áreas virgens do semiárido nordestino, destacamos que para alcançar uma concentração de fósforo no solo na ordem 400 mg.dm^{-3} e escolhendo como fonte de fornecimento de P do Fosfato Monoamônico (MAP) Cristal, cuja concentração conforme IN n° 39 MAPA/2018 é de no mínimo 60% de P_2O_5 , seria necessário a aplicação de aproximadamente 3.053 kg de MAP Cristal, considerando que o preço do kg do MAP Cristal é hoje de aproximadamente R\$ 8,60, faz se necessário um investimento na ordem de R\$ 26.255,80 para alcançar o patamar de 400 mg.dm^{-3} de fósforo no solo.

Contudo, considerando que a grande maioria dos solos irrigados do semiárido brasileiro não são fixadores de fósforo, temos cerca de 71% das áreas irrigadas com teores de fósforo acima do nível crítico, sendo possível o cultivo das principais culturas manejadas no semiárido sem o uso de fontes de fósforo no ciclo produtivo, bem como redução das quantidades aplicadas nos ciclos seguintes.

5.7 Saturação por bases (V%)

Na **figura 15** é apresentado as frequências absolutas e relativas das concentrações do potássio em função das classes agronômicas para todas as amostras avaliadas.

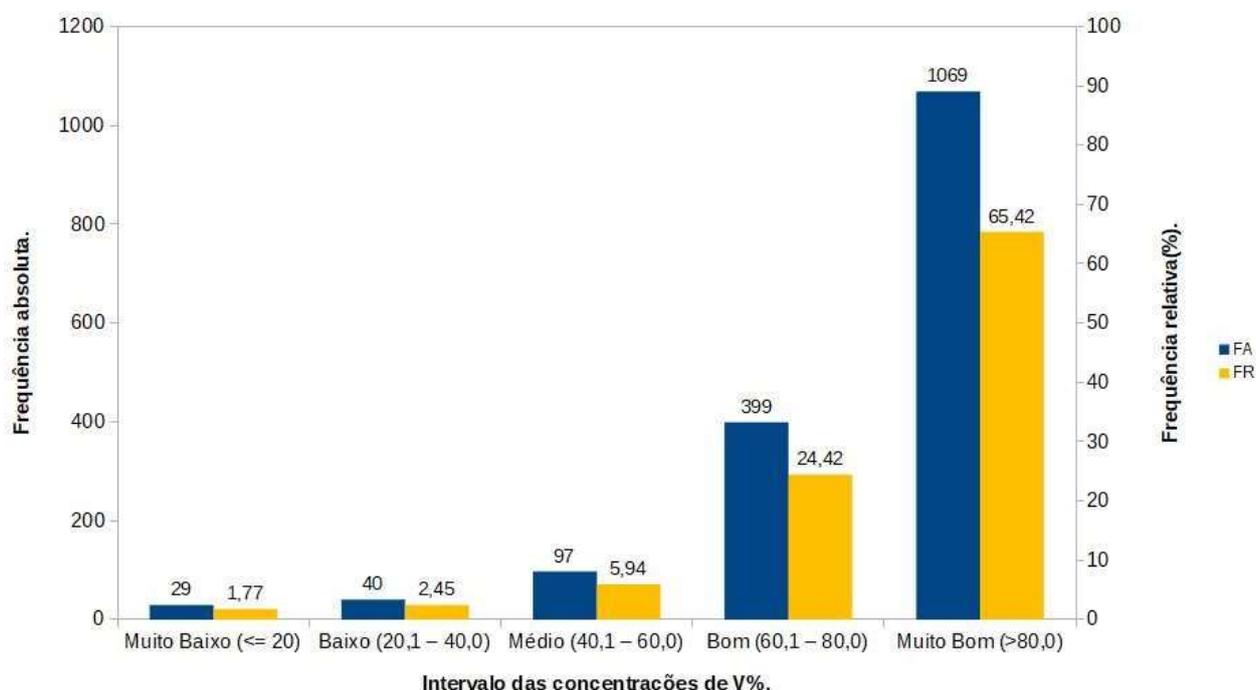


Figura 13 - Distribuição de frequência absoluta e relativa da saturação por bases em áreas irrigadas do semiárido brasileiro.

Existe um percentual bem elevado quanto a classificação Bom ou Muito Bom, na ordem de 24,4% e 65,42%, respectivamente, ou seja, um total de 89,84% das duas classificações no total de 1.634 amostras analisadas.

Embora a nomenclatura atribuída aos valores de $V\% > 80$, seja classificada como Muito Bom, devemos lembrar da tênue relação existente entre o potencial hidrogeniônico (pH) e a saturação por bases, ora, se na saturação por bases temos uma relação inversamente proporcional à acidez total ($H + Al^{3+}$), quando menor for o valor de ($H + Al^{3+}$), maior será o $V\%$.

Desta forma, podemos arguir que para termos saturação por bases elevadas deveremos ter pH mais elevados, o que em linhas gerais, não é interessante sobre o ponto de vista da fertilidade do solo, haja vista, em solos com pH acima de 7,0 teremos sérios problemas na absorção pelas raízes de elementos como, Fósforo, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco, pois a grande maioria desses elementos estarão em sua forma insolúvel.

6.0 CONCLUSÃO

Nas condições de realização deste trabalho, conclui-se que:

1 – Os teores de cálcio, de magnésio, de potássio e da saturação por bases (%), indicaram que 82,47%, 67,94%, 67,11% e 94,95%, respectivamente, dos solos irrigados dentro de perímetro estão nas classes de fertilidade de bom ou muito bom, e 73,80%, 62,80%, 54,67% e 82,38%, respectivamente, fora de perímetro irrigado, apresentaram classificação bom ou muito bom.

2 – Os teores de fósforo, indicaram que 88,14% dos solos irrigados dentro e perímetro, e 71,39% fora de perímetro irrigado, estão nas classes de fertilidade de bom ou muito bom.

3 - Uma pequena parcela dos solos carece de melhorias quanto a classificação da fertilidade, devendo para tanto, potencializar o manejo dos fertilizantes visando a maior disponibilidade dos nutrientes, não esquecendo dos cuidados técnicos necessários para que essa parcela dos solos não venha a sofrer com as alterações expressivas quanto ao aumento do pH, assim como ocorreu na grande maioria das áreas avaliadas.

– O uso de fertilizantes fontes de Ca, Mg e K pode ser evitado e ou minimizado em mais de 67% e 54% nos solos irrigados em perímetro e fora desses, respectivamente.

REFERÊNCIAS

TAIZ L. et al. *Fisiologia Vegetal*. 04 ed. Porto Alegre: ARTMED EDITORA S.A., 2009, p. 120-121.

GHEYI H. R. et al. *Desenvolvimento de Métodos de análises de solo: Impactos na agricultura brasileira* Heitor Cantarella e José A. Quaggio. Disponível em: < <http://oagronomico.iac.sp.gov.br/?p=999>>. Acessado em 03/11/21.

Condutividade. Embrapa Meio Ambiente, c2001. Disponível em: < <https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>>. Acessado em:04/11/2021.

RAIJ B. V. Et al. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados*. 02 ed. Fortaleza: INCTSal, 2016.

CAVALCANTI A. J. F. et al. *Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco*. 2 ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008.

ALMEIDA O. A. *Qualidade da Água de Irrigação*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, p. 08.

CERQUEIRA P. et al. *Agricultura irrigada em ambientes salinos*, Brasília: CODEVASF, 2021. Disponível também em: <<https://www.codevasf.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/agricultura-irrigada-em-ambientes-salinos.pdf>>. Acessado em: 05/11/2021.

OLIVEIRA M. E. L. UFLA. *Temas em Fisiologia Vegetal*. Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/nutricao-e-metabolismo-mineral/elementos-minerais-essencias/>>. Acessado em 05/11/2021.

LOPES S. A. *Manual Internacional de Fertilidade do Solo*. 2 ed., rev. e ampl. - Piracicaba: POTAFOS, 1998, P. 09. SILVIA M. L. S. e Trevisan Anderson R. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Disponível em: <<http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/8C2796BCB76E0F9B83257E20006560E2/%24FILE/Page10-16-149.pdf>>. Acessado em: 06/11/2021.

MIRANDA L. N. *Métodos de Avaliação da Fertilidade*. Planaltina: EMBRAPA, 1982. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/98807/1/cirtec-10.pdf>>. Acessado em: 04/11/2021.

REIS F. et al. *Relação de K, Mg e Ca na Ocorrência de Dessecamento de Raquis em Uva Itália sob Solo Calcário*. Disponível em: <<https://periodicos.ifsertao-pe.edu.br/ojs2/index.php/jince/article/view/727/353>>. Acessado em 27/11/2020.

FERNANDES F. A. et al. *Análise de Solos: Finalidade e Procedimentos de Amostragem*. Corumbá: EMBRAPA, 2009. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/807342/1/COT79.pdf>>. Acessado em: 03/11/2021.

ALMEIDA O. A. *Qualidade da água de irrigação*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>>. Acessado em: 08/11/2021.

Khan Academy Revisão sobre Fotossíntese. (S.I) (2021?) Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/x324d1dcc:metabolism/x324d1dcc:untitled-932/a/hs-photosynthesis-review>>. Acesso em: 18 de nov. de 2021

PEREIRA J. R.; FARIA C. M. B. Sorção de Fósforo em Alguns Solos do Semiárido do Nordeste Brasileiro. EMBRAPA, 1997. Disponível em: <http://www.cpatia.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1142.pdf>. Acessado em: 06/10/2021.

SANTOS H. G. et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107206/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>>. Acessado em: 20/10/2021.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 285p. 2001.

NOVAIS, R.F.[et al.] *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

NETO A. E. F. et al. *Fertilidade do Solo*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. 261 p.

VALDEMAR F. *Nutrição Mineral de Plantas*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.

Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT). *Evolução do consumo aparente de N, P, K e Total de NPK no Brasil*. Disponível em:

<<https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3132>>. Acessado em: 20/10/2021.

SENGIK, E. S. Os Macronutrientes e os Micronutrientes das Plantas. Universidade Estadual de Maringá, 2003. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/nutrientes-2003.pdf>>. Acessado em: 19/10/2021.