

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS MORRINHOS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM OLERICULTURA

QUALIDADE DE SOLOS CULTIVADOS COM
HORTALIÇAS NO DISTRITO FEDERAL

Autor: Daniel Otávio Moreira de Assenção
Orientador: Dr. Juscimar da Silva

MORRINHOS - GO
2020

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS MORRINHOS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM OLERICULTURA

QUALIDADE DE SOLOS CULTIVADOS COM
HORTALIÇAS NO DISTRITO FEDERAL

Autor: Daniel Otávio Moreira de Assenção
Orientador: Dr. Juscimar da Silva

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM OLERICULTURA, ao Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos - Área de Concentração: Olericultura

MORRINHOS - GO
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

A845q Assenção, Daniel Otávio Moreira de.

Qualidade de solos cultivados com hortaliças no Distrito Federal. /
Daniel Otávio Moreira de Assenção. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2020.
69 f. : il. color.

Orientador: Dr. Juscimar da Silva
Dissertação (mestrado) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos,
Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Olericultura, 2020.

1. Saúde do Solo. 2. Hortaliças. 3. Qualidade do solo I. Silva, Juscimar
da. II. Instituto Federal Goiano. III. Título.

CDU 633

Fonte: Elaborado pela Bibliotecária-documentalista Poliana Ribeiro, CRB1/3346

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Daniel Otávio Moreira de Assenção
 Matrícula: 264677-3
 Título do Trabalho: Qualidade de solos cultivados com hortaliças no Distrito Federal

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: ___/___/___

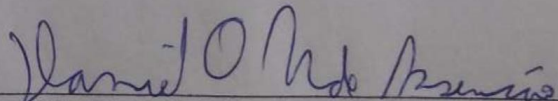
- O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
 O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

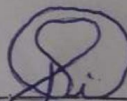
- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Brasília, 01/12/2020.



 Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



 Assinatura do(a) orientador(a)
JUSCIMAR DA SILVA:03572179696



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Formulário 2/2020 - CCEPG-MO/NEPG-MO/GPGPI-MO/DGC-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM OLERICULTURA**

QUALIDADE DE SOLOS CULTIVADOS COM HORTALIÇAS NO DISTRITO FEDERAL

**Autor: Daniel Otávio Moreira de Assenção
Orientador: Juscimar da Silva**

**TITULAÇÃO: Mestre em Olericultura-Área de Concentração em Sistema de
Produção em Olerícolas.**

APROVADO em 30 de julho de 2020

Dr. Juscimar da Silva

Presidente da banca
Embrapa Hortaliças
Professor Membro Programa

Dr. Ítalo Moraes Rocha Guedes

Avaliador Externo
Embrapa Hortaliças

Dr. Carlos Eduardo Pacheco de Lima

Avaliador Externo
Embrapa Hortaliças

Documento assinado eletronicamente por:

- Ítalo Moraes Rocha Guedes, Ítalo Moraes Rocha Guedes - Professor Avaliador de Banca - Embrapa (00348003000110), em 25/11/2020 21:04:46.
- Carlos Eduardo Pacheco de Lima, Carlos Eduardo Pacheco de Lima - Professor Avaliador de Banca - Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças-Cnph- Embrapa (00348003005503), em 26/08/2020 12:47:57.
- Juscimar da Silva, Juscimar da Silva - 2030 - PESQUISADORES DAS CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças-Cnph- Embrapa (00348003005503), em 19/08/2020 10:37:51.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/08/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 169890
Código de Autenticação: 83857ea0ad



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Morrinhos
Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, None, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000
(64) 3413-7900

AGRADECIMENTOS

A Deus, eu agradeço pela vida e por todos os caminhos percorridos, principalmente por não me deixar desistir no momento em que as pedras surgiram nesse caminho, dificuldades que construíram meu desenvolvimento.

Aos meus pais, pelo exemplo e valores passados e por proporcionarem as condições de estudo e formação profissional.

A minha esposa, pelo apoio e compreensão durante os momentos em que estive ausente e pelo incentivo aos estudos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Juscimar da Silva, por ter proporcionado as condições para realização deste trabalho, pela contribuição, paciência e exemplo de dedicação.

Agradeço ao Instituto Brasília Ambiental e aos colegas de trabalho, por me proporcionarem o afastamento para dedicação integral aos estudos e à pesquisa; com certeza, retornarei mais capacitado e motivado ao trabalho

Aos professores e funcionários do Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, pela acolhida, apoio, e ensinamentos das disciplinas cursadas.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Daniel Otavio Moreira de Assenção nasceu em 07 de dezembro de 1981, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Filho de José Gonçalo de Assenção e Maria Lúcia Moreira de Assenção. Em janeiro 2005, concluiu o curso de Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MinasGerais. Iniciou sua vida profissional no Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito e desde fevereiro de 2013 é analista do Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal. Iniciou no Curso de Mestrado Profissional em Olericultura em março de 2018.

ÍNDICE

Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xii
Abstract.....	xiv
1. Introdução Geral	1
2. Revisão de Literatura	3
2.1. Referência Bibliográfica	10
3. CAPÍTULO 1 - Utilização de índices de qualidade de solos para diagnóstico cultivados com olerícolas no Distrito Federal	13
3.1. Introdução	13
3.2. Materiais e métodos	16
3.2.1. Caracterização da área de estudo	17
3.2.2. Seleção das unidades de amostragem e coleta de solos.....	18
3.2.3. Indicadores Químicos	18
3.2.4. Indicador Físico	20
3.2.5. Indicadores Biológicos	21
3.2.6. Pontuação dos Indicadores para estimar o Índice de Qualidade de Solo (IQS)	25
3.3. Resultados e Discussão.....	28
3.3.1. Indicadores Químicos do Solo.....	28
3.3.1.1. Atributos químicos	28
3.3.1.2. Condutividade elétrica.....	32
3.3.1.3. Valor de Referência de Qualidade (VRQ) para elementos traço.....	33

3.3.2.	Indicador Físico dos Solos	41
3.3.2.1.	Grau de Flocculação.....	41
3.3.3.	Indicadores Biológicos dos Solos	42
3.3.3.1.	Carbono Ativo	42
3.3.3.2.	Respiração Microbiana do Solo	42
3.3.3.3.	Proteína do Solo	43
3.3.4.	Índices de Qualidades Solos.....	44
3.3.4.1.	IQS médio dos solos.....	44
3.3.4.2.	IQS das propriedade	45
3.4.	Conclusões	48
3.5.	Referências Bibliográfica	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Distrito Federal, dividido em suas Regiões Administrativas. Pontos vermelhos indicando a localização das áreas produtoras de hortaliças onde foram realizadas as coletas de amostras de solo; Pontos verdes mostram a distribuição das coletas das amostras naturais.	17
Figura 2. Gráfico para interpretação de resultados carbono ativo.....	22
Figura 3. Gráfico para interpretação de resultados da análise de respiração microbiana do solo.....	23
Figura 4. Gráfico para interpretação de resultados da análise de proteína do solo.....	24
Figura 5: Correlação de Pearson entre atributos do solo e os elementos traço, determinados nas amostras de solos naturais do DF.....	34
Figura 6a: Distribuição dos elementos traços em todo o território do DF. Valores médios (n = 3) obtidos pelo método USEPA 3051a	36
Figura 6b : Distribuição dos elementos traços em todo o território do DF. Valores médios (n = 3) obtidos pelo método USEPA 3051a.....	37
Figura 7: Gráfico apresentando a dispersão das amostras por faixas de grau de floculação.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Indicadores de qualidade utilizados no estudo e metodologia.	16
Tabela 2: Condição operacional do ICP-OES.....	20
Tabela 3: Classes e pontuação dos indicadores (<i>scores</i>) utilizados para o diagnóstico dos solos de áreas de produção de hortaliças do DF.....	27
Tabela 4: Estatística descritiva dos atributos de fertilidade dos solos cultivados.....	29
Tabela 5: Estatística descritiva dos resultados de micronutrientes nos solos	32
Tabela 6: Tolerância relativa das hortaliças a salinidade.....	33
Tabela 7: Estatística descritiva dos teores de elementos-traço em solos do Distrito Federal, coletados na profundidade de 0 – 20 cm (n=119).....	39
Tabela 8: Valores médios e da mediana dos teores de elementos traço nos solos de área produtoras de hortaliças e número de propriedades cujos teores ultrapassaram os VRQ do DF, considerando Q-90.....	40

RESUMO

ASSENÇÃO, DANIEL OTÁVIO MOREIRA DE. Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. Julho de 2020. **Diagnóstico da qualidade de solos cultivados com hortaliças no Distrito Federal.** Orientador: Juscimar Silva

A produção de hortaliças está entre as mais importantes atividades agrícolas no Distrito Federal, e em diversas regiões do mundo. Se desenvolve principalmente nos arredores das grandes cidades, próximas ao mercado consumidor, para reduzir custos e as perdas causadas pelo transporte devido a sua perecibilidade. A degradação do solo é, muitas vezes, associada com a intensificação da agricultura. No cultivo convencional de hortaliças é frequentemente realizado preparo intensivo do solo, com uso de maquinários e implementos pesados. Considerando os ciclos anuais de cultivo, sendo possível até vários ciclos por ano, para alguns grupos, o uso de doses altas de fertilizantes para atender a alta demanda por nutrientes das hortaliças, e a necessidade de tratos culturais para controle de pragas e doenças, este uso intensivo do solo pode causar distúrbios nos atributos químicos e físicos, com reflexos diretos na sua biologia. Assim, torna-se essencial o monitoramento periódico da qualidade do solo e a adoção de práticas de manejo sustentáveis que proporcionem a produção de alimentos saudáveis, com altas produtividades, sem comprometer as demais funções do solo e sua qualidade. O objetivo deste trabalho foi realizar um diagnóstico da qualidade do solo sob produção de hortaliças no Distrito Federal. Para isso foram coletadas amostras de solo em 29 unidades de amostragens, em diferentes propriedades rurais, com tradição de cultivo de hortaliças. Paralelamente a este estudo foram coletadas 120 amostras de solo em áreas

de vegetação nativa, sem ou com o mínimo de intervenção antrópica, com o objetivo de estabelecer Valores de Referência de Qualidade (VRQ) para elementos traço de importância ambiental, bem como servir de referências para interpretação dos resultados das análises de áreas sob produção agrícola. As amostras foram retiradas na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando trado tipo holandês, e lavadas ao laboratório de solos da Embrapa Hortaliças. Além da análise química de rotina de solos, foram selecionados mais seis indicadores para compor o estudo de diagnóstico, a saber: condutividade elétrica do solo, elementos traço, grau de floculação, carbono ativo (Lábil), proteínas do solo, respiração microbiana do solo. Os resultados obtidos foram ranqueados por meio de índices de qualidade para categorizar as áreas agrícolas quanto sua função principal de produzir alimentos. Para tanto foi estimado o índice de qualidade médio (IQSm) considerando as medianas das variáveis de todas as áreas amostradas. Os resultados indicaram melhoria da fertilidade do solo com correção da acidez, entretanto as adubações muitas vezes são desequilibradas, com excesso de potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes e adubação fosfatada e de boro insuficientes. Adubações excessivas apresentaram efeitos a condutividade elétrica da e limitam a produtividade, chegando a inviabilizar o cultivo de algumas espécies em algumas glebas. Foram observados incrementos nos teores de elementos traço (metais pesados) apenas para aqueles que tem função de micronutriente. O preparo intensivo do solo e o excesso de cátions promoveram um aumento considerável da argila dispersa do solo nas áreas cultivadas em relação a áreas nativas. Os teores de carbono ativo e proteína do solo encontrados também foram insuficientes, em consequência do manejo inadequado da MOS, com pouca diversidade de plantas cultivadas, preparo excessivo do solo e adubação desequilibrada. O IQS médio estimado para as áreas agrícolas apresentou pontuação (*score*) 63. Os valores excessivos de potássio e de alguns micronutrientes disponíveis, seguido pela baixa qualidade biológica dos solos respondem pelo baixo escore obtido. A melhoria da qualidade desses solos analisados passa pela mudança de manejo para as variáveis que receberam menores pontuações, em especial aquelas associadas as funções biológicas do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Saúde do solo, hortaliças, qualidade do solo

ABSTRACT

ASSENÇÃO, Daniel Otávio Moreira de. Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos. July 2020. **Diagnosis of soil quality cultivated with vegetables in the Distrito Federal, Brazil.** Advisor: Juscimar da Silva

Vegetable production is among the most important agricultural activities in the Distrito Federal, Brazil, and in many regions all over the world. Due to its perishability and to reduce costs and losses during transportation, growing areas develop mainly around large cities and close to consumer market. Soil quality degradation is often associated with the intensification of agriculture. Growing vegetables under conventional system is related to intensive soil preparation often performed using machinery and heavy implements and application of high fertilizer doses. Such intensive land use can give rise to imbalance in chemical and physical soil attributes, with direct effects on its biology. Thus, monitoring soil quality and adopting sustainable management practices are essential to provide safe food production, with high yield, without compromising the other soil functions and its quality. The objective of this work was to diagnose the soil quality cultivated with vegetables. Soil samples were collected in 29 sites traditionally cultivated with vegetables, at 0 to 20 cm depth. 120 soil samples were also collected in areas of native vegetation or with minor anthropic intervention to establish Quality Reference Values (VRQ) for trace elements of environmental relevance, as well as to use as references for interpreting the results of analysis of areas under agricultural production. In addition to soil chemical analysis, six

more indicators were selected to compose the diagnostic study, namely: soil electrical conductivity, VRQ, degree of flocculation, active carbon (Labile), soil proteins, soil microbial respiration. The results obtained were ranked by means of quality indexes to categorize agricultural areas according to main soil function, that is to produce food. For this purpose, the average quality index (IQSm) was estimated considering the average of the variables of all sampled areas. The results indicated an improvement in soil fertility with acidity correction, however the fertilizer contents were often unbalanced, with excess of potassium, calcium, magnesium and micronutrients, except for boron that showed different pattern, as does phosphate, were the soil content were below critical level. Excessive fertilization had direct effects on the electrical conductivity and that could be a major constraint for some group of vegetables. Increases on trace element (heavy metals) levels were observed only for those with micronutrient function. The intensive tillage and the excess of cations promoted a considerable increase on dispersed clay of cultivated soils in relation to native areas. The content of active carbon and proteins were also lower, as a result of inadequate management of soil organic matter, with little diversity of cultivated plants, excessive soil preparation and unbalanced fertilization. The estimated average IQS for agricultural areas scored 63. The excessive content of potassium and some available micronutrients followed by poor biological quality of the soils account for such low score. Improving the soil quality of the studied areas involve some changes on the management of the variables that received lower scores, especially the ones associated with biological activity of the soil.

Keywords: Soil health, soil quality, horticulture

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de hortaliças está entre as mais importantes atividades agrícolas no Distrito Federal e em diversas regiões do mundo. Tal produção ocorre principalmente nos arredores das grandes cidades, próximas ao mercado consumidor, por se tratar de produto perecível e reduzindo custos e perdas.

No Distrito Federal, o segmento da olericultura possui mais de 2.550 empreendedores que geram mais de 30 mil empregos diretos e que, em sua maioria (83%), são classificados como agricultores familiares (EMATER, 2018). Em 2019, foram cultivados 8.065 hectares com produção de 239.151 toneladas de alimentos. Os cultivos mais relevantes foram de alface, milho verde, tomate, repolho, beterraba, morango, pimentão, cenoura e batata. As regiões de Brazlândia (24%), Paranoá (18%), Planaltina (17,5%) Ceilândia (13%) e Gama (12%) foram as maiores produtoras. (EMATER, 2020).

No cultivo convencional de hortaliças é frequentemente realizado um manejo intensivo do solo, com a adição de doses elevadas de fertilizantes, uma vez que as apresentam absorvem e exportam grande quantidade de nutrientes e possibilitam vários ciclos por ano.

Em geral, diferente de outros grupos de cultura, as hortaliças são mais vulneráveis a estresses abióticos, como excesso de temperatura, secas, salinidade, alagamentos, deficiência ou excesso de nutrientes e mudanças no pH do solo (Chinnusamy et al., 2005), por isso demandam mais tratamentos culturais.

A compactação do solo é um dos principais problemas físicos do solo e causa redução da produtividade em áreas agrícolas, uma vez que afeta o crescimento radicular,

aeração do solo, retenção de água, resistência a penetração de raízes e susceptibilidade do solo à erosão. (SA; SANTOS JUNIOR, 2005). Problemas relacionados a compactação do solo são frequentemente observados em áreas com cultivo convencional de hortaliças, devido ao preparo do solo convencional e ao alto tráfego de pessoas e máquinas nas lavouras para execução dos tratos culturais e colheita.

De acordo com Santos et al. (2010), a argila dispersa em água (ADA) é um atributo que reflete diretamente sobre a compactação dos solos e o grau de floculação das argilas (GFA) influencia na agregação das partículas do solo, assim estes indicadores são importantes para os estudos de conservação dos solos. Maiores valores de GF correspondem a maior estabilidade estrutural, refletindo na união entre as partículas e na resistência contra à ação dos agentes erosivos.

Solos bem estruturados com agregados estáveis e poros com tamanho diversos, são requeridos para boa atividade microbiana, retenção de água e penetração das raízes, resultando em boa qualidade do solo. (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006)

Enfim, o grande desafio que se apresenta para os produtores de hortaliças é adotar técnicas de manejo que sejam ambientalmente saudáveis e que garantam a manutenção da produtividade e a sustentabilidade do solo, tendo em mente que ele é o principal componente relacionado à produção de hortaliças, sendo responsável pelo suprimento de água e de nutrientes para as plantas. Dessa maneira, a sustentabilidade da atividade hortícola está diretamente relacionada à conservação da qualidade do solo, a qual se torna imperativa ao atendimento dos objetivos econômicos da cadeia produtiva e, também, das exigências da legislação ambiental.

O objetivo deste trabalho foi realizar um diagnóstico da qualidade do solo sob produção de hortaliças no Distrito Federal, para isso foram compilados e aplicados diferentes indicadores de qualidade química, física e microbiológica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Um conceito de qualidade do solo (QS) amplamente utilizado é o de Doran e Parkin (1994), em que os autores definem que a QS é a capacidade do solo em exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana. A QS é, portanto, dinâmica e pode mudar em função do uso do solo, ações antrópicas e em função de eventos climáticos.

De acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), o grande desafio em relação à qualidade do solo não está na identificação de um indicador ou na sua avaliação, mas no planejamento de agroecossistemas complexos que privilegiem o cultivo diversificado e contínuo de plantas.

McBratney et al. (2014) ressaltam que o solo tem papel fundamental nos desafios globais de sustentabilidade ambiental de segurança alimentar, segurança hídrica, segurança energética, estabilidade climática, biodiversidade e serviços ecossistêmicos e, por isso, é fundamental o manejo dos solos visando a manutenção da sua qualidade.

As hortaliças costumam apresentar altas produtividades, com grande quantidade de nutrientes sendo exportados do solo com a produção, assim são consideradas plantas de alta demanda nutricional. Segundo Fernandes et al. (2001), para as cultivares de batata Mondial e Asterix, com produtividade média de 40 t/ha, as quantidades médias de extração de nutrientes do solo (em kg/ha), foram de 116 de N, 18 de P, 243 de K, 50 de Ca e 13 de Mg. Grangeiro et al.(2016) avaliando a extração de nutrientes do solo em 3 cultivares de alface no semiárido, com população de 250.000

plantas/ha, obtiveram os valores médios (em kg/ha) de 62 de N, 33 de P, 94 de K, 14 de Ca e 29 de Mg.

Para atender essa demanda não é raro o uso indiscriminado de fertilizantes, muitas vezes de forma empírica e sem recorrer a análise química do solo. O problema do uso indiscriminado de fertilizantes vai muito além do excesso de nutrientes que causam desequilíbrio nutricional e alta concentração de sais. O uso de insumos com finalidade corretiva ou nutricional pode representar uma provável fonte de contaminação, em especial os fertilizantes fosfatados e seus derivados que, em geral, contêm diversos elementos-traço (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Ni), fluoretos e elementos tóxicos (As, Al, Cd, Pb e Hg), conforme a origem do material (CAMPOS et al., 2005; ABDEL-HALEEM, et al., 2001; AMARAL SOBRINHO et al., 1992). Por exemplo, Amaral Sobrinho et al. (1992), trabalhando com o resíduo de calcário de Paracatu (MG), encontraram teores preocupantes de cádmio, chumbo e zinco, em quantidade extremamente elevada (aproximadamente 1 dag/kg).

Os metais traço no solo se originam da intemperização dos materiais de origem e de fontes antropogênicas como pesticidas e fertilizantes, rejeitos orgânicos e industriais, mineração e queima de combustíveis, irrigação e deposição atmosférica. E se encontram no solo em diversas formas, como: solúveis em água, retidos nos sítios de troca, adsorvidos ou complexados aos coloides orgânicos e inorgânicos, insolúveis precipitados ou oclusos pelos óxidos de Fe e Mn, como minerais primários, e nos compostos orgânicos e inorgânicos adicionados pelos resíduos (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

Um experimento de campo conduzido na Austrália mostrou que o aumento de cloro no solo pela água de irrigação poderia aumentar o risco de produzir hortaliças com altos conteúdos de Cd (SMOLDERS et al., 1992; MCLAUGHLIN et al., 1997). Os pesquisadores explicam que o íon cloro pode combinar com Cd^{2+} formando um complexo solúvel e estável de $CdCl^+$ e $CdCl_2$, resultando em aumento na absorção do Cd. Considerando as altas doses de KCl utilizadas na adubação de hortaliças e uma possível ocorrência de Cd no solo é de se esperar a formação desses complexos e, conseqüentemente, as plantas acumularem este metal pesado nos seus tecidos.

O acúmulo de elementos tóxicos em solos pela aplicação continuada de fertilizantes fosfatados foi avaliado em experimentos de longo prazo, por Kabata-Pendias e Pendias (2001) e por Guerra et al. (2012). Os últimos autores avaliando amostras de hortaliças do estado de São Paulo, observaram que os teores de Pb e Cr

excederam os limites da legislação Brasileira em 44% das amostras. Estudo conduzido por USEPA (1992) revelou que a adição anual máxima permitida para elementos-traço ao solo, provenientes de insumos agrícolas poderia ser superada pelo uso de alguns fertilizantes fornecedores de micronutrientes e subprodutos utilizados como corretivo de acidez.

Nesse sentido, a Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, preocupada com o possível incremento nos teores de elementos traço nos solos, publicou a Instrução Normativa SDA nº 7 de 02/05/2016, que estabelece os limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em fertilizantes minerais, corretivos de acidez, substratos de plantas e fertilizantes orgânicos, para que possam ser comercializados e/ou utilizados no país. Não obstante, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, publicou a Resolução CONAMA 420/2009, que determina aos órgãos ambientais competentes dos Estados e do Distrito Federal que indiquem valores de referência de qualidade para metais pesados em solos. Esses valores por serem estimados a partir de teores de elementos traço determinados em amostras de solos de áreas preservadas, são excelentes comparativos quando se quer mensurar o incremento de tais elementos por meio de ação antrópica.

Stefanoski (2016) testou três índices de qualidade do solo em quatro fazendas no Estado do Piauí e concluiu que a qualidade do solo diminuiu com a incorporação de novas áreas nativas para agricultura no Cerrado brasileiro. Pragma (2012) também constatou a piora da qualidade física do solo, redução do carbono da biomassa microbiana e nitrogênio total com a conversão de áreas naturais em agrícolas, havendo aumento da respiração basal.

A matéria orgânica do solo é constituída por compostos de carbono em diferentes graus de associação com as fases minerais do solo originados a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. Além de ser fonte de nutrientes, a matéria orgânica apresenta cargas em sua superfície que contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e, pela sua reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, em especial os micronutrientes, e também de elementos potencialmente fitotóxicos como Al^{3+} , Mn^{2+} e outros metais pesados. Nos ambientes tropicais, caracterizados por solos ácidos e de baixa fertilidade, a matéria orgânica do solo tem importância ainda maior. E, é amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos à física e química dos solos devido a melhor agregação e retenção de água, maior CTC e disponibilidade de nutrientes. Além destes, existem os aspectos

biológicos que estão relacionados com microrganismos benéficos presentes na matéria orgânica. No cultivo de hortaliças, plantas, geralmente mais exigentes em nutrientes, a matéria orgânica e suas frações possuem papel fundamental (ZANDONADI et al., 2014).

Lima et al. (2016) avaliaram os compartimentos de carbono orgânico em um Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos e concluíram que: os sistemas de cultivo de hortaliças de plantio direto e de preparo reduzido são mais eficientes em acumular C na camada do solo de 0,00 - 0,30 m; Os teores de C orgânico particulado (fração lábil) foram passíveis de forte influência da incorporação dos resíduos das plantas de cobertura, ou seja, nas camadas superiores 0,00 - 0,05 m., o teor de COP foi maior no sistema de plantio direto, já nas camadas mais profundas foi maior nos sistemas de preparo reduzido e convencional, pela incorporação dos resíduos; e que a estabilização da matéria orgânica na forma de carbono orgânico associado a minerais (COAM) é importante para a manutenção de maiores teores de carbono orgânico total no solo.

Um ponto chave no uso sustentável do solo agrícola é aumentar o status C do solo e os processos relacionados a níveis próximos aos originais. A biomassa microbiana do solo é uma fonte de nutrientes lábeis e um agente para transformação e ciclagem de matéria orgânica e nutrientes vegetais.

De acordo com Balota et al. (2015), a redução da perturbação do solo é importante para manutenção e aumento do conteúdo de carbono e da atividade microbiana do solo, mas o controle do pH do solo e da toxicidade do alumínio também são importantes para manter a atividade microbiana do solo alta.

Segundo Sihi et al. (2017), os indicadores biológicos e físico-químicos da qualidade do solo são interdependentes, sendo a matéria orgânica o atributo mais importante para melhorar a fertilidade biológica do solo e assim a ciclagem de nutrientes.

Cherubin et al. (2015) avaliaram indicadores físicos, químicos e biológicos da Q.S. em Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes e concluíram que a matéria orgânica é o indicador mais sensível à degradação da Q.S., e que as propriedades físicas do solo são potenciais indicadores para avaliar a Q.S., verificadas pelas alterações significativas da densidade, resistência à penetração, macro porosidade e porosidade total, promovidas pelos diferentes sistemas de manejo e pelas fertilizações.

Valarini et.al. (2011) avaliaram a qualidade do solo em sistema de produção orgânico e convencional de hortaliças, em duas propriedades rurais do Estado de São Paulo, e concluíram que as práticas agrícolas utilizadas em ambos sistemas, na maioria das propriedades, tais como a preparação mecanizada e intensiva, a falta de cobertura do solo, a ausência de rotação de culturas com diferentes sistemas radiculares, e o baixo uso de adubação verde, favoreceram a degradação do solo. Além disso, acarretou na redução dos teores de MO, C na biomassa microbiana, emergência de plântulas e estabilidade de agregados nas áreas sob cultivo em relação aos controles, demonstrando a necessidade de adequar medidas de manejo do solo direcionadas para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

A resiliência do solo é a capacidade de um solo recuperar sua integridade funcional e estrutural após perturbação ou estresse. Tal capacidade é favorecida com a adição de substratos orgânicos ricos em carbono, como o esterco bovino (LARNEY et. al., 2016). Estes autores concluíram também que o monitoramento das propriedades do solo durante experimentos de longo prazo sobre o gerenciamento do solo é fundamental para fornecer informações sobre as mudanças que levam a maiores rendimentos das colheitas, com menor impacto ambiental.

Ramos et al. (2015), avaliando o efeito da produção de hortaliças em sistema orgânico nos atributos físicos do solo no município de Colombo/PR, concluíram que este sistema de produção de hortaliças apresentou melhor qualidade física do solo quando comparado ao sistema convencional, com maiores valores quanto à estabilidade dos agregados e condutividade hidráulica, e apresentou piora na qualidade física do solo quando comparado ao solo de uma Floresta Ombrófila Mista.

Para identificar os indicadores de qualidade do solo propostos com maior frequência, Bünemann et al. (2018) analisaram 62 publicações nas quais foram propostos 65 conjuntos de dados mínimos das propriedades do solo. A matéria orgânica total / carbono e pH foram os indicadores de qualidade do solo propostos com mais frequência, seguidos pelo fósforo disponível, vários indicadores de armazenamento de água e densidade aparente (todos mencionados em mais de 50% dos conjuntos de indicadores revisados). Textura, potássio disponível e nitrogênio total também são frequentemente usados, em mais de 40% dos trabalhos. Em média foram propostos 11 indicadores. Na maioria das publicações há pelo menos um indicador de cada categoria (físico, químico e biológico) incluído, entretanto, em 40% das publicações revisadas não usaram indicadores biológicos do solo.

Bünemann et al. (2018) concluíram que um indicador somente será útil se seu valor puder ser interpretado inequivocamente e se houver valores de referência disponíveis. Segundo esses autores, um índice geral de qualidade do solo (IQS) apesar de ser frequentemente desejado, não é muito significativo, uma vez que a qualidade do solo é melhor avaliada em relação a funções específicas do solo.

De acordo com o site do Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos EUA (<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/>) um dos estímulos para se preocupar com a qualidade do solo é que o solo é um recurso finito e que a sua qualidade está intimamente ligada aos outros recursos naturais - água, ar, plantas e animais. À medida que a qualidade do solo melhora, o mesmo ocorre com a qualidade dos outros recursos. Práticas de gerenciamento são necessárias para cuidar da terra de uma maneira que melhore a qualidade do solo - para filtrar melhor a água, reduzir as partículas transportadas pelo ar, manter ou melhorar a produtividade, usar menos produtos químicos e aumentar a diversidade de plantas, animais e microrganismos. Solos saudáveis e de alta qualidade garantem que as áreas agrícolas sejam mantidas para uso das gerações futuras, além de serem essenciais para produção abundante de alimentos e fibras de forma segura. A longo prazo, a NRCS da USDA ressalta que para preservar a saúde dos solos é importante localizar a produção conforme política de zoneamento agrícola e usar os solos de acordo com sua capacidade de uso.

O Carbono Ativo do solo também conhecido como Carbono Lábil, mostra porção de MOS que pode servir como fonte de alimento prontamente disponível para a microbiota do solo. Devido a essa característica, o carbono ativo está positivamente correlacionado com o percentual de matéria orgânica do solo, com a estabilidade dos agregados e com medidas de atividade biológica como a respiração do solo e biomassa microbiana. Resultados de pesquisa demonstram que o carbono ativo é um bom indicador da resposta da saúde do solo as mudanças no manejo das culturas e do solo, geralmente respondendo a degradação muito antes que o percentual total de MOS (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016).

A respiração está relacionada a atividade metabólica da comunidade microbiana do solo e, por isso, é considerada uma indicadora do status biológico da microbiota do solo, podendo fornecer informações sobre a capacidade dessa comunidade em aceitar e usar resíduos e compostos orgânicos, mineralizar e disponibilizar nutrientes para as plantas, armazenar nutrientes disponibilizando-os ao longo do tempo, desenvolver boa estrutura do solo, entre outras funções. Assim, a

atividade biológica do solo influencia os principais processos físicos, biológicos e químicos do solo e, também, é influenciada por restrições no funcionamento físico e químico do solo. Medir a respiração retendo o CO₂ evoluído fornece uma medida integradora rápida e de baixo custo do nível geral de atividade microbiana (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016).

Em condições aeróbias, a maior parte do carbono depositado é utilizada como fonte de energia primária para o crescimento microbiano, sendo oxidada bioquimicamente a CO₂, liberado para a atmosfera. Esse processo é conhecido por: respiração do solo e se relaciona de modo muito estreito com a disponibilidade de nutrientes e a atividade enzimática, sendo um bom indicador da qualidade do solo. (MOREIRA & SILVA 2006)

A proteína do solo tem sido apontada como indicadora da quantidade de substâncias análogas às proteínas presentes na matéria orgânica do solo. Este indicador está relacionado à reserva de nitrogênio orgânico, que pode ser disponibilizado para as plantas por meio da sua mineralização pela atividade de microrganismos do solo. Também tem sido associado à agregação do solo e, portanto, ao armazenamento e movimentação de água. O conteúdo de proteínas é um indicador da saúde biológica e química do solo e está muito bem associado ao estado geral de saúde do solo (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016).

2.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-HALEEM, A. S.; et al. Heavy metals and rare earth elements in phosphate fertilizer components using instrumental neutron activation analysis. *Applied Radiation and Isotopes*, v. 55, p. 569-573, 2001.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M., OLIVEIRA, C.; VELLOSO, A. C. X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.16, p.271-276, 1992.

BALOTA, Elcio Liborio et al. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 39, n. 4, p.1003-1014, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140675>.

Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G.B., de Goede, R.G.M., Flessens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L., 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105-125.

CAMPOS, M. L.; et al. Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel chumbo e zinco em fosfatos de rocha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.4, p. 361-367, 2005.

CASARINI, D. C. P. Proposta de valores de referência de qualidade e intervenção para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. In: *Seminário Internacional sobre Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas*, 2. São Paulo. Anais: CETESB, 165p. , 2000.

CHAER, G. M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001, 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. 2001

CHERUBIN, Maurício Roberto et al. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 39, n. 2, p.615-625, abr. 2015. FapUNIFESP. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140462>

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução No. 420/2009, Disponível em: www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620 . Acessado em 18 novembro de 2018.

CRUZ, C. D. Programa GENES: biometria. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 382p, 2006.

- DANTSOVA, K. M.; HAYES, C.; PENNINGTON, J.C.; PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. *Journal of environmental quality*, v. 38, n. 4, p. 1458-1465, 2009.
- DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M. Argila dispersa em água e grau de flocculação. In: Teixeira, P. C. [et al.]. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. rev. e ampliada. Brasília, D.F. Embrapa, 2017. 573 p. : il. color.
- DORAN, JW; PARKIN, TB Definindo e avaliando a qualidade do solo. In: DORAN, JW; COLEMAN, DC; BEZDICEK, DF; STEWART, BA (Eds.). Definindo a qualidade do solo para um ambiente sustentável. Madison: Sociedade de Ciências do Solo da América, 1994. p. 3-21. (Publicação especial da SSSA, 35).
- EMATER-DF (ed.). **INFORMAÇÕES AGROPECUÁRIAS DO DISTRITO FEDERAL 2019**. 2020. Disponível em: <http://www.emater.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/06/Relat%C3%B3rio-Atividades-Agropecu%C3%A1rias-2019-DF.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- EMATER-DF. **Hortalças**. 2018. Disponível em: <http://www.emater.df.gov.br/hortalicas/>. Acesso em: 10 jan. 2020.
- FERNANDES, A. M., et al. Extração e Exportação de nutrientes em cultivares de batata: I-Macronutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 35, n.6, p.2039-2056, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000600020>
- GRANGEIRO, L. C.;. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. *Horticultura Brasileira* 24: p.190-194, 2006.
- GUERRA, F., et.al.. Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. *Scientia Agricola*, v.69, n.1, p.54-60, 2012.
- KABATA-PENDIAS, A. AND PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 413p, 2001
- LARNEY, Francis J. et al. Soil quality attributes, soil resilience, and legacy effects following topsoil removal and one-time amendments. *Canadian Journal Of Soil Science*, [s.l.], v. 96, n. 2, p.177-190, 1 jun. 2016. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/cjss-2015-0089>.
- LIMA, C. E. P. et al. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortalças sob diferentes manejos. *Revista Agropecuária Brasileira*, Brasília,DF, v. 51, n. 4, p. 378-387, abr./2016.
- MCBRATNEY, A. B.; FIELD, D. J.; KOCH, A.. The dimensions of soil security. *Geoderma*, [s.l.], v. 213, p.203-213, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013>
- MCLAUGHLIN, M. J., et.al.. Cadmium in Australian potato tubers and soils. *Journal Environmental Quality*, v.26, p. 1644–1649, 1997.
- MORAIS, ELIS R.C.; et.al..Indicadores da qualidade química do solo em áreas cultivadas com mamoeiro irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19,n.6, p.587-591, 2015
- MOREIRA F. M. S.; SIQUEIRA J.O. 2006. Microbiologia e bioquímica do solo. 2.ed. atual. ampl. Lavras: UFLA. 625p.

- PRAGANA, R. B. et al. Qualidade física de latossolos amarelos sob plantio direto na região do cerrado piauiense. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1591-1600, out./2012.
- PRAGANA, Rossanna Barbosa. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do Cerrado piauiense sob sistema plantio direto. *Revista brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 851-858, mai./2012.
- RAMOS, M. R.; et.al.. Produção de hortaliças no sistema orgânico: efeito nos atributos físicos do solo. *Revista Ciências Agrárias*, v58, n.1, p.45-51, jan/mar, 2015.
- SA, Marcos Aurélio Carolino de; SANTOS JUNIOR, Joao de Deus Gomes dos. Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 25 p. Documentos 136.
- SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v.26, p.940-947, 2010
- SIHI, DEBJANI; et.al.. Evaluation of soil health in organic vs. conventional farming of basmati rice in North India. *J. Plant Nutr. Soil Science*. 000, 1–18, 2017.
- SMOLDERS, E., et. al.. Effect of soil solution chloride on cadmium availability to Swiss chard. *Journal Environmental Quality*, v. 27, p. 426–431, 1998.
- STEFANOSKI, D. C.; FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R. L.. Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1643-1651, set. 2016
- TEIXEIRA, P. C.; et.al.. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3 ed. EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPQ). Brasília/DF, 2017
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Background report on fertilizer use, contaminants and regulations. United States Environmental Protection. Agency Office of Pollution Prevention and Toxics. EPA, 747-R-98-003, 395p, 1999
- VALARINI, P.J, et. al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Rev. Hortic. Bras.*, v,29, n.4, out-dez 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000400007>
- VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 33, n. 4, p.743-755, jul/ago. 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832009000400001>..
- ZANDONADI, Daniel B et al. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, [s.l.], v. 32, n. 1, p.14-20, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-05362014000100003>.

CAPÍTULO I

Diagnóstico da saúde de solos cultivados com hortaliças no Distrito Federal por meio de índices de qualidade

3.1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças é uma das atividades agrícolas mais importantes do Distrito Federal, é desenvolvida principalmente por agricultores familiares em pequenas propriedades rurais, que totalizaram mais de 8 mil ha em 2019. As principais espécies hortícolas plantadas são de alface, milho verde, tomate, repolho, beterraba, morango, pimentão e cenoura (EMATER, 2020).

Em todo o mundo, a degradação do componente solo tem sido associada com a intensificação da agricultura (Chaer, 2001). No cultivo convencional de hortaliças é frequentemente realizado preparo intensivo do solo, com uso de maquinários e implementos pesados. Considerando os ciclos anuais de cultivo, sendo possível até vários ciclos por ano, para alguns grupos, e a necessidade de doses altas de fertilizantes para atender a alta demanda por nutrientes das hortaliças, este uso intensivo pode causar distúrbios nos atributos químicos e físicos, com reflexos diretos na biologia do solo. Tais atributos são associados com as principais funções dos solos.

Prado et al. (2018) e McBratney et al. (2014) mencionam o papel fundamental do solo como fornecedor de muitos serviços ecossistêmicos e nos desafios globais de sustentabilidade ambiental, de segurança alimentar, hídrica e energética, estabilidade climática e biodiversidade. Por isso, é fundamental o manejo dos solos visando a sua qualidade. Logo, o impacto dos sistemas de cultivo nos solos agrícolas deve ser monitorado e o uso de alguns atributos como indicadores de qualidade tem sido sugerido por vários autores (Lopes et al., 2018; Prado et al., 2016; Stefanoski et al., 2016; Lopes et al., 2013).

Nesse sentido, Bünemann et al. (2018) analisaram 62 publicações com intuito de identificar os indicadores de qualidade do solo propostos com maior frequência. A matéria orgânica/carbono total e o pH foram os mais frequentes, seguidos pelo fósforo disponível e pelos indicadores de armazenamento de água e densidade aparente (todos mencionados em mais de 50% dos conjuntos de indicadores revisados). Em média foram propostos 11 indicadores. Ainda, conforme os autores, na maioria das publicações há pelo menos um indicador de cada categoria (físico, químico e biológico) incluído, entretanto em 40% das publicações revisadas não se utilizou indicadores biológicos do solo. Os autores deste estudo concluem que um indicador somente será útil se seu valor puder ser interpretado inequivocamente e se houver valores de referência disponíveis.

Em que pese o grande número de trabalhos utilizando indicadores para categorizar a qualidade dos solos agrícolas, raros são os casos que os atributos químicos, físicos e biológicos são sistematizados e apresentados em conjunto na forma de manual de avaliação e interpretação da qualidade do solo, em especial em escala regional. Alguns países, por exemplo a Nova Zelândia (Lilburne et al., 2004) e os Estados Unidos da América (Moebius-Clune et al., 2017;), já possuem manuais para monitoramento da saúde dos solos, com faixas de valores apropriadas para cada indicador e para uso específico do solo. De maneira geral, nestes países é proposta a interpretação de curvas de repostas baseadas em produtividade e sustentabilidade ambiental (Lilburne et al., 2004; Sparling et al., 2004; Sparling and Schipper, 2004) e curvas de valores não lineares relacionados a função do solo (Moebius-Clune et al., 2017; Stott et al., 2010). No Brasil, há estudos relevantes quanto ao uso de indicadores para diagnóstico da qualidade do solo em diferentes sistemas de cultivo (Balota et al., 2015; Cherubin et al., 2015; Lopes et al. 2013; Valarini et al., 2011). Lopes et al. (2013) apresentam estudos mais avançados no que tange a obtenção de índices de qualidade em função da produtividade de culturas, focado na obtenção de níveis críticos de variáveis microbiológicas do solo.

O Carbono Ativo do solo também conhecido como Carbono Lábil, mostra porção de MOS que pode servir como fonte de energia prontamente disponível para a microbiota do solo. Devido a essa característica, o carbono ativo está positivamente correlacionado com o percentual de matéria orgânica do solo, com a estabilidade dos agregados e com medidas de atividade biológica como a respiração do solo e biomassa microbiana. Resultados de pesquisa demonstram que o carbono ativo é um bom indicador da resposta da saúde do solo as mudanças no manejo das culturas e do solo,

geralmente respondendo a degradação muito antes que o percentual total de MOS (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016).

Em condições aeróbias, a maior parte do carbono depositado é utilizada como fonte de energia primária para o crescimento microbiano, sendo oxidada bioquimicamente a CO₂, liberado para a atmosfera. Esse processo é conhecido por: respiração do solo e se relaciona de modo muito estreito com a disponibilidade de nutrientes e a atividade enzimática, sendo um bom indicador da qualidade do solo (MOREIRA & SILVA 2006). A atividade biológica do solo influencia os principais processos físicos, biológicos e químicos do solo e é influenciada também por restrições no funcionamento físico e químico do solo. Medir a respiração retendo o CO₂ evoluído fornece uma medida integradora rápida e de baixo custo do nível geral de atividade microbiana (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016).

A proteína do solo está relacionada à reserva de nitrogênio orgânico, que pode ser disponibilizado para as plantas por meio da sua mineralização pela atividade de microrganismos do solo. Também tem sido associado à agregação do solo e, portanto, ao armazenamento e movimentação de água. O conteúdo de proteínas é um indicador da saúde biológica e química do solo e está muito bem associado ao estado geral de saúde do solo (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016).

Diante do exposto, no presente trabalho, diferentes índices de qualidade química, física e microbiológica, relacionados às funções dos solos, foram compilados, agrupados e aplicados para diagnosticar a saúde de solos de áreas hortícolas do Distrito Federal.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para atingir os objetivos supracitados foi realizada compilação de diferentes indicadores de qualidade química, física e biológica do solo, bem como seus respectivos índices (classes) para servir de referência a comparação (Tabela 1). Além da análise química de rotina de solos, foram selecionados mais seis indicadores para compor o estudo de diagnóstico, a saber: condutividade elétrica do solo, valores de referência de qualidade (VRQ) para elementos traços de relevância ambiental, grau de floculação, carbono ativo (Labil), proteínas do solo, respiração microbiana do solo.

Tabela 1. Indicadores de qualidade utilizados no estudo e metodologia.

Grupo	Indicador (características e resumo do método)
Químicos	<u>Composição química do solo</u> : teores de nutrientes, soma de bases, CTC efetiva e potencial, matéria orgânica do solo obtidos a partir da análise química dos solos.
	<u>Condutividade elétrica</u> : método da pasta de saturação.
	<u>Elementos traço de relevância ambiental</u> : solubilização ácida das amostras assistida em forno de micro-ondas e dosagem por ICP/OES.
Físico	<u>Grau de Floculação</u> : Indica a proporção da fração argila que se encontra floculada, informando sobre o grau de estabilidade dos agregados. Medido pela relação entre a argila naturalmente dispersa em água e a argila total.
Biológico	<u>Carbono ativo (Lábil)</u> : medida da fração da MOS a passível de uso como fonte de energia para microrganismos do solo. Dosado espectrofometricamente após oxidação do permanganato de potássio.
	<u>Respiração Microbiana do solo</u> : medida da atividade metabólica da microbiota do solo. Dosado por meio da captura do CO ₂ em armadilha de KOH evoluído do solo úmido.
	<u>Proteína do solo</u> : medida de frações da MOS que contém nitrogênio ligado organicamente, que é passível de mineralização e disponibilização para as plantas. É medido pela extração com tampão de citrato de sódio, sob alta temperatura e pressão.

Os trabalhos foram conduzidos a campo e no laboratório de solos e nutrição de hortaliças da Embrapa Hortaliças. As amostragens dos solos foram realizadas tanto em área natural, ou com mínima intervenção antrópica, quanto em propriedades rurais de produção de hortaliças do DF e entorno (Figura 1). De posse das amostras, foram realizadas análises para o Diagnóstico da qualidade de solos em 29 áreas produtivas por meio de indicadores químicos, físicos e biológicos.

Além da comparação com os solos cultivados com hortaliças, as amostragens de solos em áreas preservadas, com vegetação natural, tiveram como objetivo também o estabelecimento de Valores de referência de Qualidade (VRQs) para elementos traço de relevância ambiental (CONAMA, 2009).

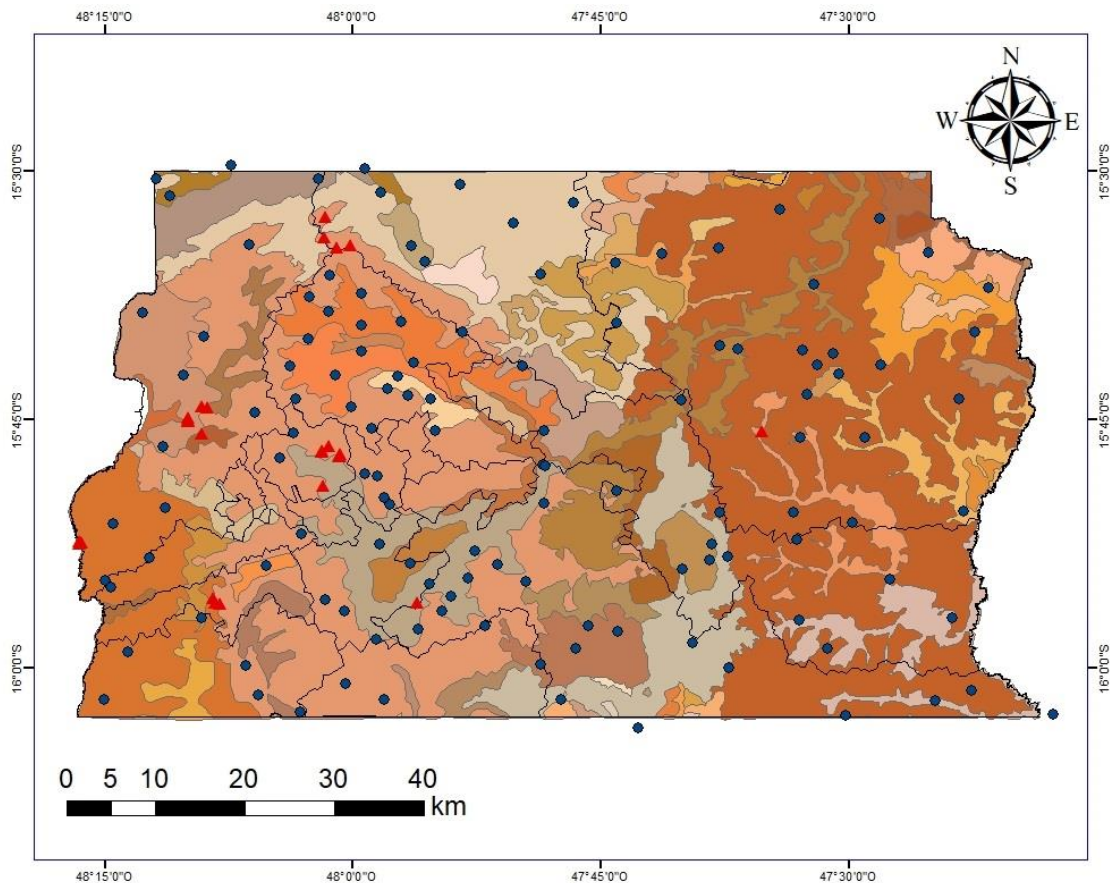


Figura 1. Distribuição dos pontos de coleta de amostras de solos naturais (pontos azuis) e em áreas de produção (triângulos vermelhos) sob as diferentes classes de solos do DF.

3.2.1. Caracterização da Área de Estudo

O Distrito Federal está situado na região Centro-Oeste, na zona intertropical e apresenta área de 5.760,783 km² e uma população estimada em 3.015 mil pessoas (IBGE, 2020). O clima é do tipo Aw, conforme classificação de Köppen-Geiger e

altitude média de 1.100 m. Possui solos típicos do Cerrado brasileiro, os quais são altamente intemperizados, ácidos, com alto teor de Alumínio e de baixa fertilidade. Predominam as classes dos Latossolos Vermelho (38,9% do território), Latossolos Vermelho-Amarelo (15,6 % do território), Cambissolos (31% do território), solos hidromórficos (4%), Argissolos (2,9%) e, em menores porções os Neossolos Quartzarênicos, Plintossolos, Nitossolos. (EMBRAPA 2004). Não possui divisão de municípios sendo o seu território é dividido em regiões administrativas.

3.2.2. Seleção das Unidades de Amostragem e Coleta de Solos

As coletas dos solos foram realizadas em áreas de produção de hortaliças no segundo semestre de 2018, sob diferentes tipos de cultivo e manejo, e em áreas sob vegetação típica de Cerrado, com mínimo ou nula intervenção antrópica, nas suas diversas fitofisionomias, para obter solos de referência local. Foram coletadas e analisadas 29 amostras de solo cultivados com hortaliças, levando-se em consideração os critérios de amostragens propostos por Alvarez V. et al. (1999). Nas áreas preservadas foram amostrados 119 solos de diferentes classes.

Para as amostragens dos solos nas áreas de vegetação nativa, as diferentes regiões administrativas foram percorridas no primeiro semestre de 2019, aproveitando-se as principais rodovias, estradas e acessos já existentes. As coletas foram realizadas aleatoriamente em unidades de conservação geridas pelo Instituto Brasília Ambiental (IBRAM), Jardim Botânico de Brasília, Instituto Chico Mendes (ICMBio) e em áreas de Reserva Legal nas propriedades rurais dentro da unidade de mapeamento, conforme o predomínio de vegetação preservada ou minimamente impactada. Foram coletadas e analisadas 119 amostras de solo em áreas naturais.

As amostras superficiais de cada solo foram retiradas na profundidade de 0 a 20 cm, utilizando trado tipo holandês, confeccionado em aço inox. Dentro de cada unidade de amostragem foram coletadas 5 amostras simples para formar uma amostra composta. Depois de coletada, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos, etiquetadas e transportadas até Embrapa Hortaliças e foram preparadas para obter a terra fina seca ao ar (TFSA) e realização de análises posteriores.

3.2.3. Indicadores Químicos

A) Composição Química do Solo

Foram realizadas análises químicas de rotina como: pH em água, teores disponíveis de P e K, teores trocáveis de Ca, Mg e Al, carbono orgânico e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn). Para todas essas determinações foram utilizados métodos descritos em EMBRAPA (2017). Para estas variáveis, foram adotadas com índice de qualidade as classes de fertilidade propostas por Alvarez V. et al. (1999).

B) Análise de Condutividade Elétrica (CEsat)

A Condutividade Elétrica foi medida na solução obtida a partir da pasta de saturação do solo, conforme Teixeira et al. (2017).

Foram pesados 150 g de solo (TFSA) e colocados em um béquer de 500 ml e, em seguida, adicionou-se, inicialmente, 40 ml de água deionizada. Com o auxílio de uma espátula de aço inoxidável a mistura foi homogeneizada até formar uma pasta e, pouco a pouco, com auxílio de uma bureta de 25 ml, foi adicionada mais água, até que a massa do solo apresentasse aspecto brilhante, quando pequena quantidade de água adicionada já não era mais absorvida pela massa do solo. Ao final, o volume de água gasto foi anotado e a pasta foi deixada em repouso até o dia seguinte, quando, a pasta saturada foi transferida para um funil de Buckner, contendo papel filtro e adaptado a um kitassato de 500 ml, que estava conectado a uma bomba de vácuo para permitir a filtração da solução. O extrato obtido foi transferido para um tubo falcon e tampado até o momento da leitura, realizada com auxílio de um medidor de condutividade elétrica (Marca Tecnal, modelo TEC-4MP). A análise de cada amostra foi realizada em duplicata.

C) Teor de Elementos Traços no Solo

Os elementos traço Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Cu e Zn, foram determinados nas amostras de solos naturais e de áreas de produção seguindo o método USEPA SW-3051a (USEPA, 2007a).

Aproximadamente 5,0 g de cada amostra (TFSA) foram trituradas em almofariz de ágata e passadas em peneiras de 200 mesh (0,074 mm), confeccionadas em aço inox, e depois de peneiradas foram armazenadas em frascos plásticos, previamente limpos. Antes de cada série de solubilização ácida, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de a 40°C, por 48 horas. Porções de 0,5000 g dessas amostras foram pesadas e colocadas em tubos de Teflon específico do forno de micro-ondas (Marca CEM Corporation, modelo MarsXpress). Em seguida, foram adicionados 9,0 ml

de ácido nítrico e 3,0 ml de ácido clorídrico e os tubos foram tampados e levados ao micro-ondas a temperatura de 175°C, pressão de 130 psi, tempo de rampa (*ramp*) de 5 min. e 30 seg. e tempo sob pressão (*hold*) de 4 min. e 30 seg. Após esfriar e atingir a temperatura ambiente, os tubos foram abertos dentro da capela de exaustão de gases e os extratos foram filtrados para balões de PFA (Brand®) completando o volume para 50 ml com água ultrapura, Milli-Q (18 mΩ). Após homogeneização, a solução foi armazenada em frasco plástico previamente limpo e armazenados em refrigerador a 4°C até o momento da análise. A dosagem dos elementos foi realizada em espectrofotômetro de emissão atômica, com fonte de indução de plasma acoplada - ICP/OES (Marca Shimadzu, modelo ICPE 9000). Uma solução aquosa contendo 0,05% de Triton X-100 (detergente P.A.) e 5% de HNO₃ foi utilizada como solução de limpeza entre cada leitura durante a dosagem no ICP-OES. Uma solução multielementar foi utilizada como controle para corrigir possíveis instabilidades do aparelho. Essa solução foi analisada periodicamente a cada 10 amostras, admitindo-se variação entre leituras de 10% da concentração do controle. Quando o valor obtido não se apresentava dentro do limite estipulado o aparelho era calibrado novamente. As condições operacionais do ICP, bem como as linhas espectrais utilizadas para cada elemento são apresentadas no Tabela 2.

Tabela 2. Condição operacional do ICP-OES

INSTRUMENTO	CONDIÇÃO OPERACIONAL
ICP-OES	
Potência de radiofrequência (W)	1400
Plano de visão	Axial
Plasma (L min. ⁻¹)	15
Nebulizador (L min. ⁻¹)	0,8
Gás auxiliar (L min. ⁻¹)	0,7
Retardamento da leitura (s)	35
Tempo de integração (s)	5
Vazão da bomba peristáltica (mL min. ⁻¹)	1,5
Número de leituras	3
Comprimentos de onda (nm)	Ag, 328.068; Al, 308.215; B, 208.891; Ba, 233.527; Cd, 226.707; Co, 228.616; Cr, 267.717; Cu, 324.752; Fe, 259.959; Mn, 267.610; Mo, 202.034; Ni, 231.604; Pb 220.353; Sr, 421.256; V, 292.402; Zn, 213.859.
Autosampler (Shimadzu; ASC-6100)	
Vazão da bomba mL min. ⁻¹	1,0
Tempo limpeza entre amostras(s)	45

3.2.4. Indicador Físico

Grau de Flocculação

Foi utilizado método proposto por Donagemma e Viana (2017). Para se avaliar o impacto do cultivo de hortaliças na agregação dos solos, determinou-se o grau de flocculação a partir da quantidade de argila dispersa em água. Esta análise foi realizada também nas amostras de solos das áreas nativa do cerrado.

Em uma garrafa plástica de 500 ml adicionou-se 10,0 g de amostra de cada solo (TFSA) e, posteriormente, 300 ml de água deionizada. As garrafas foram tampadas e acondicionadas em um agitador horizontal e agitadas por 16 horas, a 150 ciclos por minuto. Após esse tempo, a suspensão foi transferida para uma proveta de 500 ml, a qual teve seu volume completado com água deionizada, e agitada com bastão. Após a agitação, a suspensão ficou em repouso por aproximadamente 3h e 30min. para permitir a sedimentação das partículas. Em seguida, 25 ml da suspensão foram pipetados e transferidos para um béquer de vidro de 50 ml, seco, limpo e previamente tarado e identificado. O béquer contendo a suspensão recém-pipetada foi levado para secagem na estufa a 105°C por 24 horas e depois colocado para esfriar em dessecador para posterior pesagem em uma balança analítica.

Os valores da concentração de argila dispersa em água em g/kg (T_{arg}) foram obtidos por meio da equação:

$$T_{arg} = \left((m_a - m_b) * f * \frac{1000}{(m_i * R_v)} \right) \quad (1)$$

Em que: m_i – massa inicial da amostra (g); m_{ar} – massa de argila seca em estufa (g); m_b – massa da prova em branco seca em estufa (g); R_v – razão do volume pipetado para o volume total da proveta; f – fator de correção da umidade amostra.

O grau de flocculação corresponde a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total. Indica a proporção da fração argila que se encontra flocculada, informando sobre o grau de estabilidade dos agregados. Foi obtida a partir da fórmula:

$$G_{Flo} = \frac{(a - b)}{a} * 100 \quad (2)$$

Em que: a – argila total em dag/kg ; b – concentração de argila dispersa em água, em g/kg

3.2.5. Indicadores biológicos

A) Carbono Ativo (Lábil)

Para análise do Carbono Ativo foi utilizado o método proposto por Moebius-Clune et al. (2016). Foram pesadas 2,500 g de TFSA, em balança analítica, e transferida para tubo de centrífuga com capacidade para 50 ml, e, adicionou-se 18 ml de água Milli-Q, padrão ultrapuro (18 mΩ), e 2 ml de uma solução de permanganato de potássio (KMnO₄) 0,2 mol/L. Os tubos foram agitados a 120 rpm por 2 minutos para promover a oxidação do carbono ativo contido na amostra e, em seguida, foram deixados em repouso por 8 minutos. Após esse período, uma alíquota de 0,2 ml de cada tubo de reação foi transferida para outro tubo Falcon contendo previamente 20 ml de água deionizada. A solução foi homogeneizada por meio de agitação manual por 10 segundos. Em seguida foi realizada a leitura da absorbância a 550 nm (A₅₅₀) em espectrofotômetro de absorção molecular (Micronal; modelo B582).

A curva padrão de calibração foi obtida por meio de série de diluições da solução de KMnO₄. A A₅₅₀ de cada ponto foi utilizada para interpretar os dados de absorbância da amostra, conforme equação abaixo:

$$C_{\text{ativo}} = \left(0,02 - (a + b * \text{absorbância}) \right) * 9000 * \left(\frac{0,02}{0,0025} \right) \quad (3)$$

Onde: 0,02 mol / L é a concentração inicial da solução de KMnO₄;

a e b são determinados pela curva padrão;

(a + b * absorbância) é a concentração medida após a reação;

Presume-se que 9000 mg de C (0,75 mol) sejam oxidados por 1 mol de MnO₄, passando de Mn⁷⁺ para Mn²⁺;

0,02 L é a alíquota da solução de KMnO₄ reagida, e;

0,0025 kg é peso da massa do solo usada.

Os resultados das análises de carbono ativo foram interpretados de acordo com as escalas do gráfico abaixo, propostas por Moebius-Clune et al. (2016).

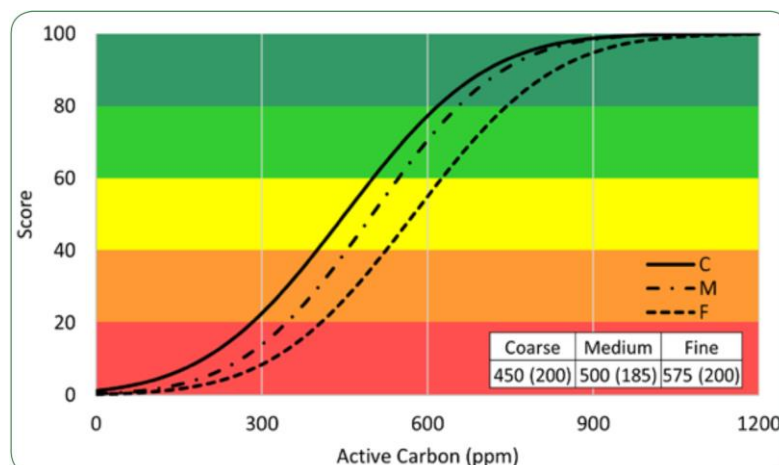


Figura 2. Gráfico para interpretação de resultados Carbono Ativo, fonte: MOEBIUS-CLUNE et al. (2016).

B) Respiração Microbiana do solo

Para análise da respiração do solo foi utilizada método proposto por Moebius-Clune et al. (2016). 20 g de TFSA foram pesadas e acondicionadas sobre papel filtro contido no fundo de um frasco de vidro com volume de 500 ml, de boca larga, de modo que o solo ficasse concentrado no canto; Um conjunto armadilha composto por um copo plástico descartável de 50 ml (copo de cafezinho) preso em um tripé de plástico “banqueta de pizza”, foi colocado no centro do pote. Depois de montado, em cada copo foram adicionados 9,0 ml da solução de KOH 0,5 mol/L para servir de “armadilha para a capturar do CO₂ evoluídos das amostras pela respiração microbiana; Para iniciar as reações, as amostras dentro do frasco foram umedecidas por meio da adição de 7,0 ml de água deionizada. A adição foi realizada com muito cuidado, na parede do vidro do lado oposto a amostra de solo, para que o umedecimento ocorresse a partir do papel filtro. Os frascos foram imediatamente tampados, colocando plástico filme e, em seguida a sua tampa e deixados em repouso para incubação por 4 dias. Após este período, os frascos foram abertos e, imediatamente, a condutividade elétrica (CE) da solução armadilha foi medida.

A quantidade de CO₂ evoluída (P) foi estimada conforme a equação:

$$P = (CE_{\text{inicial}} - CE_{\text{amostra}}) / (CE_{\text{inicial}} - CE_{K_2CO_3}) \quad (4)$$

Onde: CE_{inicial} é a condutividade elétrica inicial da solução de KOH 0,5 mol/L; CE_{amostra} é a condutividade elétrica da solução após o período de incubação; CE_{K₂CO₃} é a condutividade elétrica da solução K₂CO₃ 0,25 mol/L, recém-preparada.

Os resultados das análises da respiração microbiana do solo foram interpretados de acordo com o gráfico abaixo:

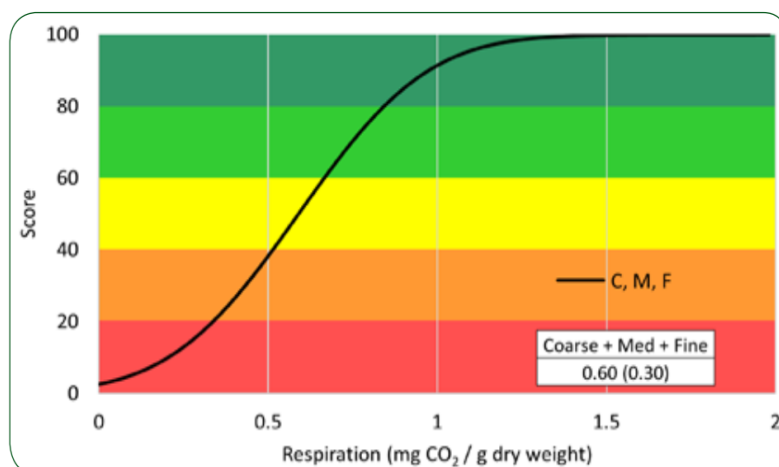


Figura 3. Gráfico para interpretação de resultados da análise de respiração microbiana do solo, fonte: MOEBIUS-CLUNE et al., 2016.

C) Proteína do solo

A proteína do solo foi extraída pelo método do acetado de sódio, a alta temperatura e pressão, atingidas com auxílio de autoclave, é indicadora da quantidade de substâncias similares proteínas presentes na matéria orgânica do solo.

Para esta análise foram pesadas 3,00 g de cada amostra de solo (TFSA) e transferidas para tubo de extração, adicionando em seguida 24 ml do extrator (citrato de sódio 20 mmol/L, a pH 7,0) (Moebius-Clune et al., 2016). Os tubos contendo as amostras foram agitados por 5 min a 180 rpm. Em seguida as amostras foram autoclavadas por 35 min, a 121°C e 15 psi. Depois desse período, as amostras foram retiradas da autoclave e deixadas esfriar até atingir temperatura ambiente, os extratos foram ressuspensos por meio de agitação manual por 1 min. retirando, em seguida, uma alíquota de 1,75 ml que foi dispensada num microtubo do tipo eppendorf e centrifugada a 10.000 g por 3 min. Logo em seguida, uma outra alíquota de 10 microlitros do extrato centrifugado foi retirada e dispensada numa microplaca de 96 poços (tipo Elisa) e juntada a 200 microlitros da solução reagente BSA. Paralelamente foi montada também uma curva padrão de calibração (0 a 2000 microgramas/mL de BSA). Para homogeneizar a resposta dos reagentes às diferentes proteínas presentes no solo, as microplacas contendo as amostras e a curva padrão foram incubadas 60°C por duas horas. Após esse período, as amostras foram deixadas esfriar a temperatura ambiente e, logo em seguida, a concentração de proteínas foi determinada em

espectrofotômetro de absorção molecular (marca Thermo Scientific, modelo Multiskan FC), no comprimento de onda de 562 nm.

Os resultados das análises de proteínas do solo foram interpretados segundo o gráfico abaixo:

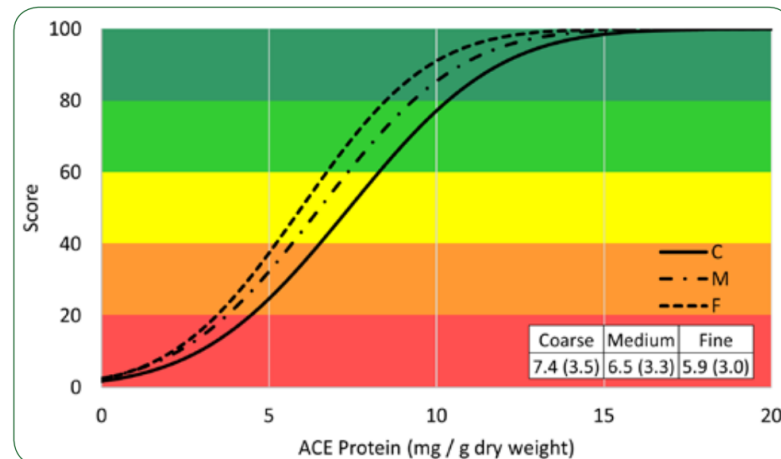


Figura 4. Gráfico para interpretação de resultados da análise de Proteína do solo. Fonte: MOEBIUS-CLUNE et al. (2016).

3.2.6. Pontuação (Scores) dos Indicadores para estimar o Índice de Qualidade de Solo (IQS)

Um indicador somente será útil se seu valor puder ser interpretado inequivocamente, se houver valores de referência disponíveis e que a qualidade do solo é mais bem avaliada em relação a funções específicas do solo (Bünemann et al., 2018).

Partindo destas premissas, depois de realizadas as análises para determinação dos valores de cada indicador, os resultados obtidos foram comparados com aqueles constantes nas diferentes classes (Moebius-Clune et al., 2016; Alvarez V. et al., 1999; Hulugalle et al., 1999), de cada grupo de qualidade – químico, físico e biológico – para os quais foram também atribuídas pontuações (*scores*) (Tabela 3), uma vez que os indicadores para serem integrados devem minimizar os efeitos relacionadas as diferenças de grandezas das unidades (Lopes et al., 2014).

Vale ressaltar que para cada índice a sua pontuação levou em consideração o seu efeito na função do solo, sendo agrupados como segue: 1. Mais é melhor (MOS e indicadores biológicos, T, Grau de Floculação); 2. Menos é melhor (Condutividade elétrica, metais pesados); 3. Ponto ótimo (pH, teor de nutrientes).

Uma classificação abaixo de 20 é codificada em vermelho e indica restrição que provavelmente está limitando a produtividade, a qualidade das hortaliças, a

sustentabilidade de longo prazo do agroecossistema, ou riscos de impacto ambiental. É importante e urgente ações para melhorar essas restrições.

Uma classificação entre 21 e 40 indica funcionamento de baixo nível e é codificado por cor laranja. Isso indica que um indicador de qualidade do solo está funcionando mal e é importante melhorar o manejo do campo.

Uma classificação entre 41 e 60 indica funcionamento abaixo do ideal e é codificado por cor amarela. Isso indica que a saúde do solo poderia ser melhor; e o rendimento e a sustentabilidade podem diminuir com o tempo se isso não for tratado.

Uma classificação entre 61 e 80 indica bom funcionamento e é codificado por cores verde claro. Isso indica que esse indicador de QS está funcionando em um nível não limitante. As ações de manejo do solo no campo devem ser mantidas ou melhoradas.

Uma classificação de 81 ou mais indica funcionamento ideal ou quase ideal deste indicador e é codificado por cores verde escuro. O gerenciamento anterior foi eficaz na melhoria e/ou manutenção da saúde do solo e deve ser continuado.

Considerando a maior vulnerabilidade das espécies hortícolas a estresses abióticos, em especial salinidade e excesso de nutrientes (Chinnusamy et al., 2005) que pode causar desequilíbrio iônico na solução do solo, foi adotado neste trabalho a classe Valor de Alerta. Esta classe visa orientar os técnicos quanto aos valores excessivos de nutrientes que podem causar problemas de salinidade do solo ou prejudicar a absorção de outro nutriente, acarretando perda de produção e prejuízo econômico aos produtores.

O Valor de Alerta para P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+} foi estimado por pesquisador especialista em fertilidade do solos da Embrapa Hortaliças, multiplicando por cinco (5) o valor de Nível Crítico (limite superior do intervalo da classe Médio de acordo com Alvarez V. et al., 1999) de cada indicador, para solos com teor de argila variando de 35 – 60 g/kg. Para os teores de micronutrientes foi estimado o VRQ e para a condutividade elétrica já existe literatura indicando os limites, no caso 4,0 dS/m (Lorenz e Maynard, 1988).

Tabela 3. Classes e pontuação dos indicadores (*scores*) utilizados para o diagnóstico dos solos de áreas de produção de hortaliças do DF.

INDICADOR	UNIDADE	CLASSE E PONTUAÇÃO DO INDICADORES (SCORE)					VALOR ALERTA ^{1/}	REFERÊNCIA
		MUITO BAIXO	BAIXO	MÉDIO	BOM	MUITO BOM		
SCORE		0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100	0 - 20	
pH _{H2O}		≤ 4,5	4,5 – 5,4	5,5 – 6,0	6,1 – 7,0	> 7,0		Alvarez V. et al. (1999)
MOS	dag/kg	≤ 0,7	0,70 – 2,0	2,1 – 4,0	4,01 – 7,0	> 7,0		Alvarez V. et al. (1999)
P _{Mehlich} ^{2/}	mg/dm ³	≤ 16	16,1 – 32	32,1 – 48,0	48,1 – 72,0	> 72,0	240,5	Alvarez V. et al. (1999)
K _{Mehlich}	mg/dm ³	≤ 15	16 - 40	41 - 70	71 – 120	> 120	350	Alvarez V. et al. (1999)
Ca ²⁺	cmol _c /dm ³	≤ 0,4	0,41 – 1,20	1,21 – 2,40	2,41 – 4,00	> 4,00	12	Alvarez V. et al. (1999)
Mg ²⁺	cmol _c /dm ³	≤ 0,15	0,16 – 0,45	0,46 – 0,90	0,91 – 1,50	> 1,51	4,5	Alvarez V. et al. (1999)
Acidez Trocável (Al ³⁺)	cmol _c /dm ³	≤ 0,20	0,21 – 0,50	0,51 – 1,00	1,01 – 2,00	> 2,00		Alvarez V. et al. (1999)
Acidez Potencial (H+Al)	cmol _c /dm ³	≤ 1,00	1,01 – 2,50	2,51 – 5,00	5,01 – 9,00	> 9,00		Alvarez V. et al. (1999)
CTCpH 7 (T)	cmol _c /dm ³	≤ 1,60	1,61 – 4,30	4,31 – 8,60	8,61 – 15,00	> 15,0		Alvarez V. et al. (1999)
Saturação de Bases (V)	%	≤ 20	20,1 – 40,0	40,1 – 60,0	60,1 – 80,0	> 80,0		Alvarez V. et al. (1999)
Condutividade elétrica (CEsat)	dS/m	> 2,0	2,0 – 0,81	0,80 – 0,41	0,40 – 0,20	< 0,20	4,0	Hulugalle et al. (1999)
VRQ Metais	-	-	-	-	-	-		Determinado
Grau de Floculação	dag/kg	> 25	25 – 15	14 – 10	9,0 – 5,0	< 5,0		Hulugalle et al. (1999)
Carbono ativo (Lábil)	mg/kg	≤ 350	351 – 450	451 – 550	551 – 650	> 651		Adaptado de Moebius-Clune et al. (2016)
Respiração Microbiana (CO ₂)	mg/g	≤ 0,30	0,31 – 0,50	0,51 – 0,70	0,71 – 0,85	> 0,85		Adaptado de Moebius-Clune et al. (2016)
Proteína do solo	%	≤ 3,5	3,6 – 5,5	5,6 – 7,5	7,6 – 9,5	> 9,5		Adaptado de Moebius-Clune et al. (2016)

1/ Valor excessivo (muito acima da classe Muito Bom) e pode interferir nos outros indicadores e/ou causar passivo ambiental. Estimado multiplicando por 5 o valor do Nível Crítico de cada indicador, adotado neste trabalho como sendo o limite inferior da classe média, para solos de textura variando de 35 – 60 dag/kg de argila. Exceto para condutividade elétrica que foi adotado o valor 4,0 uma vez que esse valor pode limitar a produção de várias hortaliças (Lorenz e Maynard, 1988).; 2/ Intervalo selecionado considerando teor de argila entre 35 a 60 dag/kg.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 INDICADORES QUÍMICOS DOS SOLOS

3.3.1.1. Atributos Químicos

Na Tabela 4, é apresentada a estatística descritiva (mínimo, máximo, média, mediana) para os atributos de fertilidade dos solos cultivados com hortaliças, bem como o nível crítico (NC) proposto por Alvarez et al. (1999).

De maneira geral, os valores de pH de todas as amostras estão acima do nível crítico, indicando a adoção da prática da calagem. A média e a mediana dos valores (pH = 5,9 e pH = 6,0 respectivamente) mostra claramente que o pH dos solos está na faixa classificada agronomicamente como ideal ou muito próximos destas para cultivo de hortaliças. Vale salientar que o pH do solo interfere diretamente nos equilíbrios químicos dos nutrientes no solo e, mais significativamente na disponibilidade deles, sendo essencial um pH equilibrado para se obter a nutrição ideal das plantas. Em razão do pH estar numa faixa adequada de cultivo, muito provavelmente pela aplicação de corretivos de acidez, os teores de alumínio trocável (Al^{3+}) se encontram zerados na camada amostrada.

Para todas as amostras analisadas, a acidez potencial (H+Al) dos solos se encontram abaixo do nível crítico ($5,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), com valor mediano de $3,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Considerando os valores nulos de Al^{3+} , percebe-se que apenas os íons hidrogênios contidos na MOS contribuem para a CTC dos solos. Há uma relação direta entre a acidez potencial (H+Al) e os teores de MOS, onde o segundo contribuí com cargas elétricas negativas do solo e quanto maiores são seus teores, maiores são os valores de H+Al dos solos. O valor da mediana das amostras analisadas indica que agronomicamente os solos estão bons de uma maneira geral e somente 24% das amostras analisadas tiveram os teores de MOS abaixo do NC.

Tabela 4: Estatística descritiva dos atributos de fertilidade dos solos cultivados.

Atributo	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	Nível Crítico ^{1/}
pH	5,4	6,4	5,9	6,0	5,0
Al³⁺ (cmol_c/dm³)	0	0	0	0	1,0
P_{Melich-1} (mg/dm³)	3,6	238,2	56,5	28,5	48
K (mg/dm³)	75	1.412	616,3	483	70
Ca²⁺ (cmol_c/dm³)	4,4	16,7	9,1	8,6	2,4
Mg²⁺ (cmol_c/dm³)	0,6	4,0	1,6	1,5	0,9
MOS (dag/kg)^{2/}	2,0	9,4	5,5	5,7	4,0
H+Al (cmol_c/dm³)	2,4	4,3	3,2	3,2	5,0
CTC_{pH=7} (cmol_c/dm³)	9,6	28,1	15,8	14,1	8,6
V (%)	58,5	88,2	77,8	79,8	60
Argila (g/kg)	150	625	469	500	

^{1/} Limite superior do intervalo da classe Médio (Alvarez V. et al., 1999); ^{2/} dag/kg = % (m/m).

Todas as amostras apresentaram teores de cálcio classificados como muito bons por Alvarez et al. (1999), sendo o valor da mediana cerca de 4 vezes maiores que o nível crítico. Isso mostra que os produtores têm lançado mão da prática da calagem para correção da acidez dos solos. No entanto, para algumas amostras parece estar ocorrendo aplicação excessiva de corretivos, como pode ser observado na amostra que apresentou valor máximo de 16,7 cmol_c dm⁻³, quase 7 vezes maior que o NC, superando o valor de alerta. Tal fato sugere a necessidade de adoção de práticas de manejo que visem a redução dos teores de cálcio. Vale salientar que altos teores de Ca²⁺ podem influenciar negativamente a absorção de outros cátions, como o Mg²⁺ e, a depender do pH do solo, pode precipitar com fosfatos adicionados aos solo, num processo denominado retrogradação (Novais et al., 2007 apud Sample et al., 1980 e Malavolta, 1967).

Os teores de magnésio (Mg²⁺) apresentaram valores de média e mediana classificadas agronomicamente como muito bons, o menor valor encontrado é considerado como médio e o valor máximo encontrado foi inferior ao valor de alerta. Analisando de maneira conjunta os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ presume-se que os produtores têm lançado mão

da prática da calagem ou outras fontes de fertilizantes para suprir a demanda das hortaliças, no entanto, devido aos altos valores observados, pode-se inferir também que o uso destes insumos podem estar sendo feitos sem considerar a análise química do solo.

Entre as amostras de solo analisados, na média os valores de P disponível se apresentam como bons, com a mediana ficando na categoria dos teores baixos. Em 51% das amostras os teores de P estão abaixo do NC, e pode limitar, para este grupo de solos, a produção caso não se adotem práticas de restituição do P extraído pelas culturas ou fixado no solo. Os solos de cerrado normalmente apresentam baixos teores de P disponível e a sua dinâmica no solo é afetada pelas reações de adsorção aos coloides presentes no solo, dada a alta afinidade pelos ânions $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ e HPO_4^- (Novais et al., 2007). Embora a maioria dos solos apresentaram teores de P disponível abaixo do NC, foram observadas para algumas amostras teores de P disponível muito próximos dos valores de alerta adotado neste trabalho que é 5 vezes o NC.

Já nas análises de potássio disponível (K), os valores observados para algumas amostras chamam a atenção pelo fato de exceder substancialmente o valor de alerta (205 mg dm^{-3}). Todas amostras analisadas apresentaram valores acima do NC (70 mg dm^{-3} de K). O valor da mediana demonstra que há solos com valores sete vezes superior ao valor do NC, sendo maior também que o Valor de Alerta (350 mg dm^{-3}), com valores máximos chegando a 1.412 mg/dm^3 . Teores muito elevados de K no solo pode afetar a absorção de outros cátions, como o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , em que pese seus teores também se apresentarem bastante elevados. O excesso de sais potássicos pode afetar também a salinidade do solo, aumentando sua condutividade elétrica, elevando-a para valores acima do tolerável pelas hortaliças.

Para todas as amostras analisadas, o valor da CTC a pH 7 (T) foi superior ao NC de 8,1 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, mesmo para aquela que apresentou valor mínimo (9,6 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). A média e a mediana dos dados foram a cerca de 2 vezes maiores, e a máxima é mais que 3 vezes maior que o NC. Embora esteja relacionado diretamente à MOS, os valores elevados de T se devem, muito provavelmente, aos também altos teores de Ca e Mg trocáveis que elevam os valores de soma de bases e a acidez potencial é baixa nos solos analisados.

Quanto a Saturação por Bases (V), o valor mínimo se encontra pouco abaixo do recomendado para maioria das culturas, contudo valores de média, mediana e o valor

máximo se encontram acima do recomendado, indicando que estes solos possuem boa fertilidade construída.

Em relação aos teores dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, na Tabela 3 é apresentada a estatística descritiva para os teores determinados nos solos cultivados com hortaliças, bem como o nível crítico (NC) proposto por Alvarez et al. (1999).

De maneira geral, os teores médios de todos os micronutrientes estão acima do NC, exceto para o B. Chama a atenção a magnitude dos valores observados cujas grandezas superam em muito os níveis críticos do Cu, Mn e Zn. Os solos de cerrado apresentam baixos teores de micronutrientes, em especial de Zn, cujos teores disponíveis obtidos nas áreas de produção se encontram extremamente elevados, estando todos bem acima do Nível Crítico. Considerando o grupo de solos analisados, a mediana atingiu 10 vezes o teor disponível no solo que se correlaciona com a produção de máxima eficiência econômica. O mesmo ocorre com os teores de Manganês (Mn) e Cobre (Cu), em que a mediana do grupo de amostras atingiu 13 vezes o NC para Mn e 6,5 vezes maior que NC para Cu. Estes resultados indicam que as adubações com micronutrientes têm sido realizadas regularmente, porém de forma não equilibrada e ao que tudo indica sem a consulta aos laudos da análise química. Vale ressaltar que, por serem micronutrientes, as plantas demandam esses nutrientes em pequenas quantidades e, por isso, em excesso nos solos podem causar fitotoxicidade às plantas.

Dentre os micronutrientes analisados, o B foi o único a se apresentar na faixa de suficiência inadequada. Semelhante ao Zn, os teores de B em solos do cerrado são baixíssimos e a sua complementação é mister para as plantas. Contudo, como consta na Tabela 5, os valores encontrados para este nutriente são considerados muito baixos, indicando necessidade de reposição por meio da fertilização. Por se tratar de elemento de fácil mobilidade no solo, a adubação com B no solo deve ser feita de forma parcelada ou via foliar, para evitar perdas por lixiviação (Lopes, 1999).

Tabela 5: Estatística descritiva dos micronutrientes dos solos cultivados.

Micronutriente	Média	Mediana	Máximo	Mínimo	Nível Crítico
	----- mg dm ⁻³ -----				
B	0,15	0,12	0,89	0,05	0,6
Cu	8,1	7,1	16,5	1,10	1,2
Fe	84,9	71,0	204,7	43,0	30
Mn	108,5	106,1	196,7	18,8	8
Zn	24,5	14,7	125,2	2,0	1,5

3.3.1.2. Condutividade Elétrica

Nas áreas com cultivo de hortaliças, os valores de condutividade elétrica (CEsat) medidos no extrato da pasta de saturação estavam altos, em todas as amostras analisadas, e muito provavelmente é reflexo de altas doses de fertilizantes adicionadas. Essa afirmação encontra respaldo nos altos teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e, principalmente, de K disponível constado nesse trabalho.

Tanto os valores da média (1,65 dS m⁻¹), quanto da mediana (1,47 dS m⁻¹) classificam os solos como ruim, para o indicador de qualidade CEsat. Embora algumas hortaliças sejam mais tolerantes a salinidade do solo, estes valores observados já podem inviabilizar o cultivo ou reduzir a produção de algumas espécies mais sensíveis como morango (1,0 dS m⁻¹), beringela (1,1 dS m⁻¹), cenoura (1,1 dS m⁻¹), alface (1,4 dS m⁻¹) e pimentão (1,5 dS m⁻¹) (Shahbaz et al., 2012; Lorenz e Maynard, 1988). Dentre as amostras analisadas, 26% delas apresentaram CEsat maior que 2,0 dS/m, destas, duas apresentaram valores acima de 4,0 dS m⁻¹, que de acordo com a classificação de apresentada por Lorenz e Maynard (1988) já tornaria impossível o cultivo econômico de quase todas as hortaliças, exceto para a beterraba e abobrinha.

Na Tabela 6 são apresentados os limites de tolerância de culturas hortícolas à CE sem que haja perda de produtividade, o percentual de perda de produtividade por cada

unidade excedida ao valor limite da cultura e a classificação da cultura quanto a sensibilidade a CE.

Tabela 6: Tolerância relativa das hortaliças a salinidade.

Cultura	Condutividade elétrica em extrato de solo saturado		
	Valor limite ^{1/} dS/m	Perda de Produtividade % / dS/m	Classificação ^{3/}
Abóbora	2,5	13,0	LS
Alface	1,3	13,0	LS
Batata	1,7	12,0	LS
Beterraba	4,0	9,0	GT
Brócolis	2,8	9,2	LS
Cenoura	1,0	14,0	S
Espinafre	2,0	7,6	LS
Milho verde	1,7	12	LS
Pimentão	1,8 – 2,2	14,0	LS
Repolho	1,8	9,7	LS
Tomate	2,0 - 4,0	9,9	LS

^{1/} Valor limite a partir do qual há prejuízos na produtividade. ^{2/} Porcentagem de perda da produtividade por unidade de dS/m a partir do valor limite. ^{3/} GT=Geralmente Tolerante, LS Levemente Sensível, S=Sensível. (FONTE: Adaptado de Gomes et al. 1999)

3.3.1.3. Valor de Referência de Qualidade (VRQ) para elementos traço

3.3.1.3.1. Distribuição dos elementos químicos nos solos não agrícolas do DF

Foram analisadas 119 amostras de solos coletadas em diferentes regiões administrativas do Distrito Federal.

Os teores de metais pesados e as propriedades dos solos apresentam valores de CV acima de 20%, indicando elevada heterogeneidade. A textura dos solos variou entre franco arenosa a muito argilosa. Com relação às características químicas, as amostras apresentaram amplitude de pH entre muito fortemente ácidas a neutras. A capacidade de troca catiônica efetiva (potencial) variou de 1,0 (3,7) e 25 (39,7) cmolc dm⁻³. A distribuição de cátions na CTC apresentou a seguinte ordem: Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺. A saturação por bases mostrou a maior amplitude de valores entre 4 e 85%, sendo que 75% das amostras possuem saturação por bases inferior a 50%. Os teores de Al³⁺ variam entre 0,0 até 1,24 cmolc dm⁻³, sempre abaixo de 50% de saturação do complexo de troca.

Os teores de Al, Fe, Cr e V possuem distribuição simétrica e platicúrtica. Por sua vez, Ba, Cu, Mn, Sr e Zn possuem distribuição assimétrica positiva e leptocúrtica. A distribuição diferenciada dos últimos elementos pode ser atribuída a existência de amostras com teores abaixo do limite de quantificação prático (LQP), influenciando a distribuição dos dados.

A capacidade de troca catiônica, os teores de Al e Fe são significativamente correlacionados com a maioria dos metais pesados e propriedades do solo (Fig 2). O teor de Corg não é significativamente correlacionado com o teor de metais pesados, exceto por Zn.

A análise dos componentes principais mostrou que os dois primeiros componentes possuem autovalor acima de 1,0 e explicam aproximadamente 62% da variação total dos dados. O primeiro componente (PC1) explicou 40,72% da variação total dos dados. PC1 correlacionou-se negativamente com Ba, Sr, Zn e CTC efetiva e positivamente com Al, Mo, V, Cr e Fe. O segundo componente principal (PC2) explica 21,01% da variação total dos dados e é correlacionado positivamente com Mn e Cu. O terceiro componente em diante possui autovalor abaixo de 1,0 e conseqüentemente poder explicativo abaixo das variáveis originais, sendo desconsiderado das análises seguintes.

O PC1 revela antagonismo entre: i) íons divalentes e tri-tetra-heptavalentes, e; ii) CTC efetiva e teor de argila. A valência de um íon influencia a sua força de adsorção às argilas. Elementos divalentes são preferencialmente lixiviados em detrimento de sua menor afinidade com a superfície das argilas em comparação com elementos de estados de oxidação maior. Além disso, a baixa solubilidade de Al e Fe em condições ácidas e aeróbias promove a coprecipitação de elementos de valência elevada na forma de (hidr)óxidos.

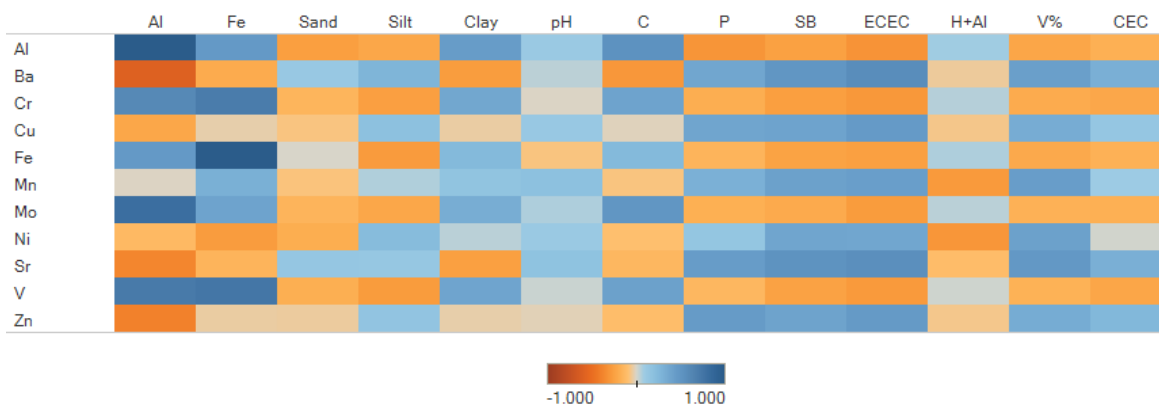


Figura 05. Correlação de Pearson entre atributos do solo e os elementos traço, determinados nas amostras de solos naturais do DF.

Dependência espacial e anisotropia foram detectadas para todos os metais pesados e propriedades do solo. A validação cruzada indicou resultados satisfatórios para a interpolação por krigagem, indicando que os dados apresentaram bons ajuste aos modelos (Figura 4a e 4b).

Dentre os elementos analisados, os teores de Ag, As, B, Cd, Co, Mo, Pb, Sb, Se e Hg foram de maneira geral inferiores ao limite de quantificação do método. Esses baixos teores podem ser explicados pela forma de agrupamento desses elementos com suas fases preferidas. De acordo com a classificação geoquímica dos elementos proposta por Goldschmidt (1954), com exceção do B, os demais elementos são considerados calcófilos, ou seja, apresentam maior afinidade com enxofre, mais especificamente com sulfetos insolúveis. A ocorrência de minerais sulfetados se existe e desprezível no Distrito Federal. Os demais elementos apresentaram ampla variação, evidenciando a influência dos diferentes fatores de formação, especialmente dos materiais parentais sobre os quais cada solo foi desenvolvido (Tabela 7). Os valores médios obtidos estão dentro da amplitude de valores reportados por Marques et al. (2002) para solos da região de cerrado do estado de Minas Gerais, que são os que mais se assemelham aos do Distrito Federal. Como esperado, os teores médios de Al (66,7 g/kg) e Fe (53,3 g/kg) foram os mais elevados pois se tratam de elementos que se concentram nos solos na medida em que o intemperismo avança, ou seja, quanto mais velho o solo maior a concentração de óxidos de Fe e Al. Na sequência, os valores mais altos foram observados para Mn (130,2 mg kg⁻¹), V (122,5 mg kg⁻¹) e Cr (91,6 mg kg⁻¹).

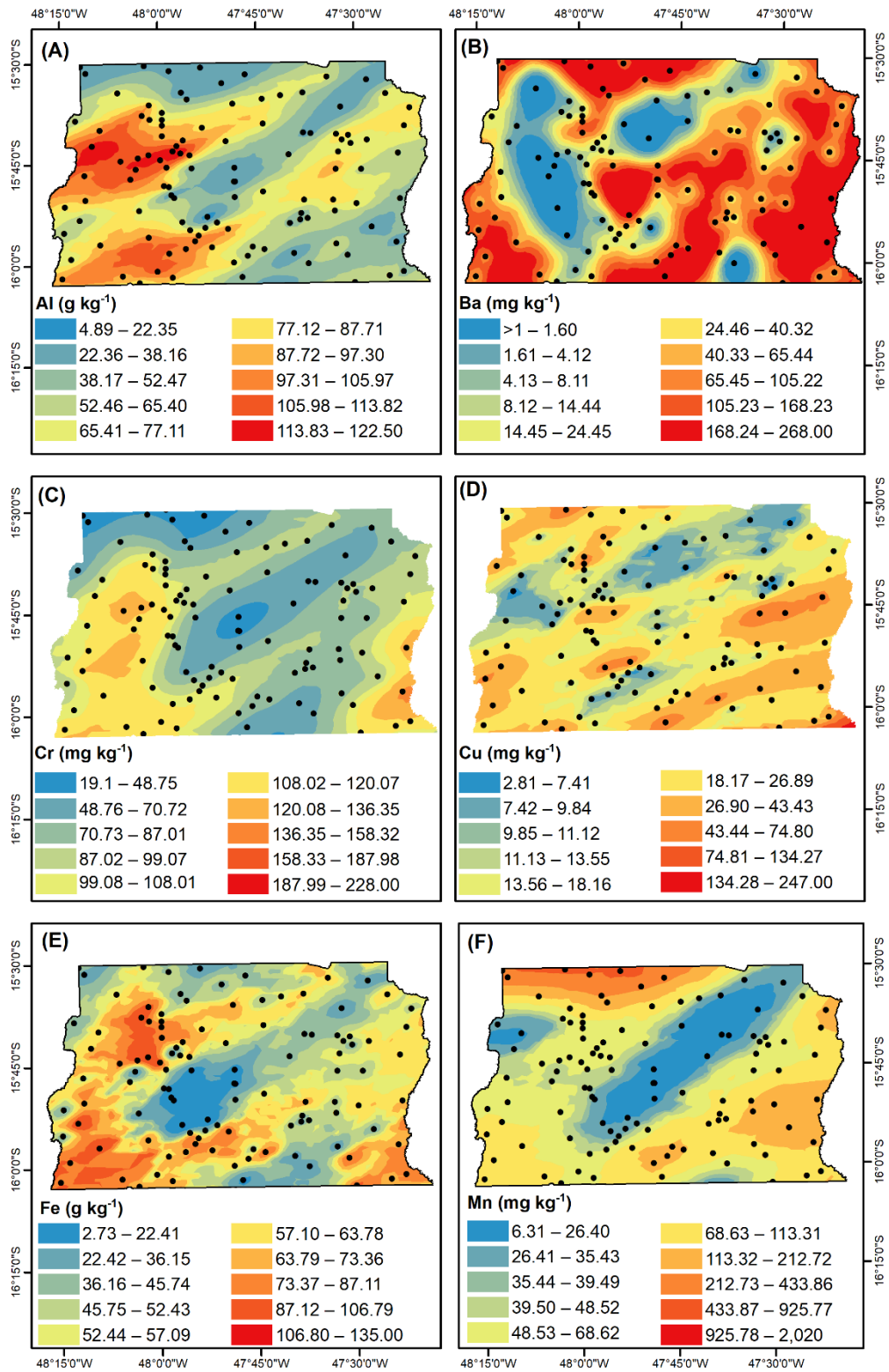


Figura 6a. Distribuição dos elementos traços em todo o território do DF. Valores médios (n = 3) obtidos pelo método USEPA 3051a.

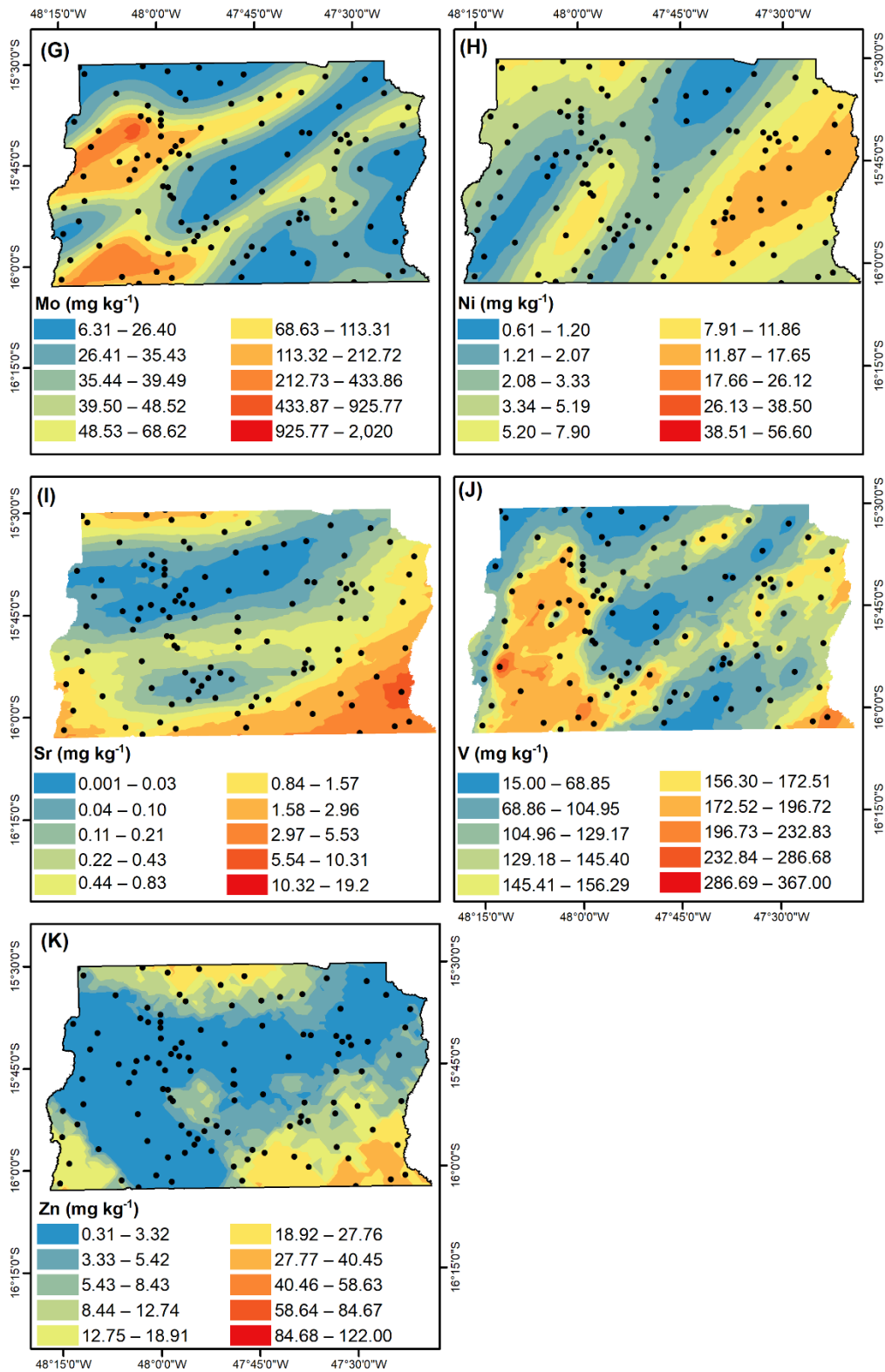


Figura 6b. Distribuição dos elementos traços em todo o território do DF. Valores médios (n = 3) obtidos pelo método USEPA 3051a.

No Tabela 7 está a estatística descritiva dos teores de metais nos solos bem como os valores de VRQ. A partir dos dados obtidos foram determinados o Quartil 75 (Q-75) e o Percentil (P-90) da distribuição dos dados e a decisão final sobre qual valor será adotado caberá ao órgão ambiental do DF, no caso o IBRAM.

Neste trabalho foi adotado os valores do Q-75, para fins de comparação com valores de VRQ publicados nos estados de Minas Gerais (COPAM, 2011) e São Paulo (CETESB, 2001). Os VRQ observados para Ba (58,3 mg kg⁻¹), Cu (72,19) e Zn (23,9 mg kg⁻¹) foram inferiores aos sugeridos por COPAM (2008) e CETESB (2001) e o Cr (117 mg kg⁻¹) apresentou padrão inverso. Já os teores de Ni (21,84 mg kg⁻¹) e V (168,8 mg kg⁻¹) apresentaram valores intermediários, ou seja, menores quando aos valores observados para os dois estados. Este comportamento pode ser associado a diferenças de material de origem que deram origem aos solos, tendo em vista que os solos do estado de São Paulo repousam sobre litologia constituída predominantemente por Basalto que, naturalmente, apresentam teores mais elevados de Cd, Cr, Cu e Ni. Por outro lado, a presença significativa de rochas ácidas granito-gnáissicas e sedimentares químicas nos solos mineiros, sugere teores mais baixos destes elementos.

Mais especificamente para as diferenças observadas para os solos do estado de Minas Gerais (COPAM, 2008), estas diferenças devem ser creditadas aos processos de metamorfismo e perturbações das rochas no território mineiro que podem produzir acúmulos e enriquecimentos de alguns elementos traço, em relação às rochas ígneas e sedimentares originais. Já as rochas do DF, parte delas são compostas de coberturas detrito-lateríticas pertencentes ao Grupo Paranoá que possuem teores mais elevados de Al, Cr, Fe. Esse material parental possui os menores teores de Ba e Zn.

Tabela 7. Estatística descritiva dos teores de elementos-traço em solos do Distrito Federal, coletados na profundidade de 0 – 20 cm (n=119).

	Al	Fe	Ba	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
	----- g/kg -----		----- mg/kg -----						
Média	66,7	53,3	40,3	91,6	22,9	130,2	11,5	122,5	15,03
Mediana	68,3	48,4	23,0	94,1	14,7	56,2	5,8	134,5	10,70
Mínimo	4,4	9,5	< L.D.	19,10	2,8	6,3	< L.D.	15,00	< L.D.
Máximo	118,8	152,1	268	228	247	2020	56,6	367	122
Q75	86,2	64,2	58,3	117	27	103,4	18,7	168,8	23,9
P90	99,7	90,8	92,7	138,4	50,04	223,4	32,2	191,1	34,6
Marques et al. (2002)^{2/}			67 ± 127	33 ± 55	33 ± 55	455 ± 583	14 ± 13	257 ± 231	38 ± 54
COPAM (2011)			93	75	49		21,5	129	46,5
CETESB (2001)			75	40	35		13	275	60

^{1/} < L.D indica que o teor do elemento está abaixo do limite de detecção da técnica analítica utilizada (3σ); ^{2/} solos da região do cerrado de Minas Gerais (valores médios ± desvio padrão),

Em relação aos solos das áreas produtivas, pode-se observar na Tabela 8 que em média os teores de Ba, Cu, Mn, V e Zn estão acima do VRQ, em especial o Cu e o Zn que estão 2,1 e 3,7 vezes acima do valor de referência. Estes nutrientes juntamente com Mn são elementos requeridos pelas plantas e seus altos valores podem ser explicados pela adição desses micronutrientes em diferentes fases do cultivo. Esse mesmo padrão não foi observado para os também micronutrientes B e Ni, sugerindo deficiência na adição de ambos, em especial o boro.

Os resultados obtidos mostram grande número de propriedades com valores acima do VRQ. Os elementos Cu, V e Zn são os que mais se destacam e a grande maioria das amostras ultrapassaram o valor de referência de qualidade, sugerindo que práticas de manejo sejam adotadas para reduzir os teores desses nutrientes nos solos, antes que possam atingir níveis que possam causar alterações nas funções do solo.

Tabela 8. Valores médios e da mediana dos teores de elementos traço nos solos de área produtoras de hortaliças e número de propriedades cujos teores ultrapassaram os VRQ do DF, considerando Q-90.

VARIÁVEL	ELEMENTO							
	B	Ba	Cr	Cu	Mn	Ni	V	Zn
	----- mg dm ⁻³ -----							
Média	< L.D.	76,1	99,0	66,0	146,8	< L.D.	187,2	95,1
Mediana		67,9	111,0	61,4	145,5		200,5	79,1
Mínimo		13,8	30,2	22,7	53,8		69,9	39,3
Máximo	-	175,5	178	118,5	234		320	187
VRQ (Q-90)		92,7	138,4	50	223,4	32,2	191,1	34,6
VP	-	150	75	60	-	30	-	300
Número de Propriedades acima do VRQ								
> VRQ (Q-90)	-	9	5	21	1	-	16	29
>VP^{1/}	-	3	18	15	-	-		0

^{1/} VP Valor de Prevenção: concentração de determinada substância no solo, acima da qual podem ocorrer alterações da qualidade do solo quanto às funções principais (CONAMA, 2010).

O excesso de metais pesados pode inibir a atividade heterotrófica dos microrganismos do solo. Um estudo de Dai et al. (2004) mostrou que a respiração do solo reduziu exponencialmente com a elevação nos teores de Zn, entretanto, os autores afirmam é a mistura dos teores de Zn, Pb, Cd e Cu que leva à diminuição das taxas de

mineralização do carbono, pois o efeito de cada metal não pôde ser avaliado isoladamente.

3.3.2. INDICADOR FÍSICO DOS SOLOS

3.3.2.1. Grau de Flocculação

O Grau de Flocculação, indica a proporção da fração argila que se encontra flocculada, informando sobre o grau de estabilidade dos agregados, sendo uma característica positiva, ou seja, quanto maior o grau de flocculação menor a susceptibilidade a erosão laminar.

Os resultados médios para o GF foram de 50,2% e 67,9% para as amostras de solos cultivados e sob vegetação nativa do cerrado, respectivamente.

O gráfico da Figura 8 mostra a frequência dos resultados das amostras em relação ao grau de flocculação e confirma que a substituição da vegetação natural pelo cultivo intensivo de hortaliças proporcionou a redução da qualidade do solo segundo este indicador, isto pode ser minimizado com adoção de práticas sem ou com o mínimo de revolvimento do solo, como o plantio direto na palha, e com adubações balanceadas.

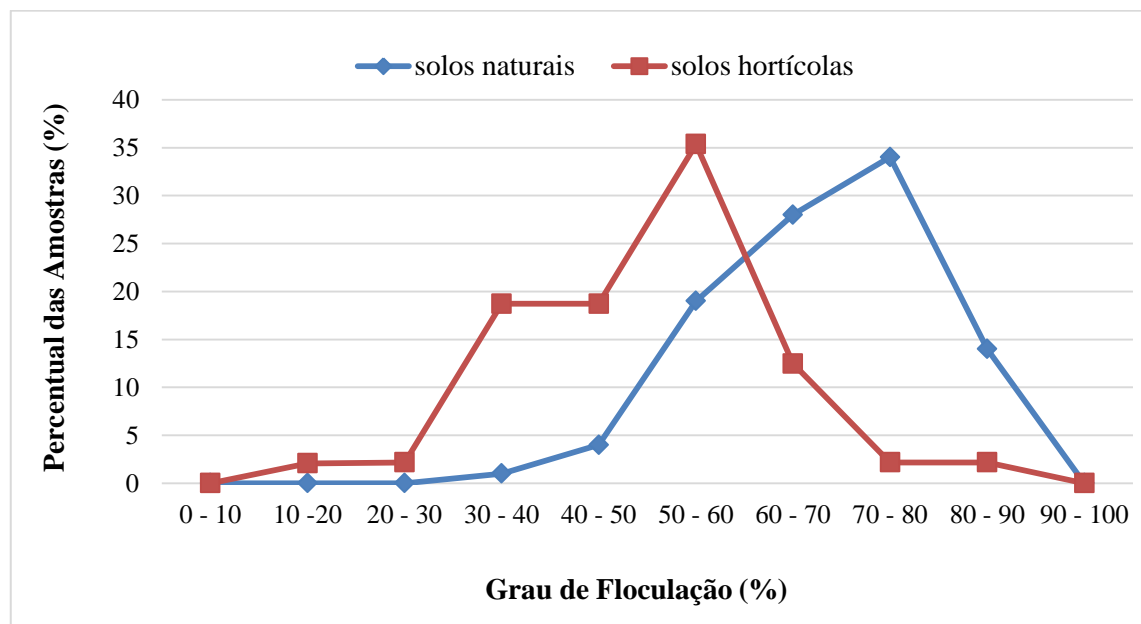


Figura 7: Frequência dos resultados das amostras por faixas de Grau de Flocculação. Em linha azul estão representadas as mostras de solos naturais e em vermelho dos solos cultivados

3.3.3. INDICADORES BIOLÓGICOS DOS SOLOS

3.3.3.1. Carbono Ativo

Os teores de carbono ativo nas amostras de solos cultivados com hortaliças variaram de 231,8 a 689,9 mg/kg de solo, com valores médios e da mediana de 435,1 e 439,9 mg/kg de solo, respectivamente. Estes valores, para ambas as variáveis, estão no intervalo de 21 – 40 da escala de qualidade (Quadro 2), para esse índice, ou seja, indica baixa qualidade. Estes valores são bem maiores que àqueles das amostras dos solos naturais que variaram de 100,4 a 998,4 mg/kg de solo com média de 295,4 e mediana de 255,5 mg/kg de solo. Este comportamento já era esperado uma vez que solos da região de cerrado apresentam baixos teores de material orgânico, face a rápida mineralização da MO e pequeno volume de biomassa adicionada pela vegetação nativa do cerrado, enquanto nos solos cultivados com hortaliças é comum a adição exógena de adubos de fonte orgânica e a incorporação dos restos culturais.

De acordo com Moebius-clune et al. (2016) a redução do preparo do solo e a adição de matéria orgânica de várias fontes poderá aumentar a fração do carbono ativo, sendo benéfico também a comunidade microbiana e aumento da matéria orgânica total a longo prazo. Bongiorno et al. (2019) concluíram que para solos com adição de matéria orgânica o carbono ativo foi indicador mais sensível, junto da matéria orgânica particulada, para evidenciar a qualidade do solo. Além disso, os autores concluíram que o carbono ativo foi que mais se correlacionou positivamente com os indicadores de qualidades químicas, físicas e biológicas do solo.

3.3.3.2. Respiração microbiana do solo

A atividade microbiana, medida pela respiração solo, apresentou valores médios (0,67 mg/g de CO₂) e da mediana (0,64 mg/g de CO₂) os quais são no intervalo 40 – 60, sendo portanto classificados como médios, de acordo com gráfico da Figura 3 e Quadro 2. O maior valor encontrado foi de 0,99 e o mínimo de 0,27. Quando comparada às amostras de solos naturais, a quantidade de CO₂ evoluída e absorvida pela armadilha foi em média 2,5 vezes maior nas amostras de solos cultivados.

Segundo Resck et al. (2008), a atividade microbiana pode ser afetada pelo pH, disponibilidade de N e saturação por bases. Neste mesmo trabalho, esses autores relatam que a quebra dos macroagregados pelo preparo convencional do solo expõe a

parte da MOS, antes protegida na estrutura, à decomposição microbiana. Isso pode explicar os resultados encontrados, que a correção da acidez do solo, a maior disponibilidade de N e maior SB, pelas altas doses de fertilizantes e corretivos aplicadas em cultivos olerícolas, contribuem para maior atividade microbiana.

De acordo com Moebius-clune et al. (2016), a atividade biológica do solo é aprimorada mantendo-o coberto de plantas ou resíduos durante toda a estação, adicionando adubos orgânicos frescos e degradáveis microbiologicamente, aumentando a biomassa, mantendo as raízes vivas durante o ano todo possível, aumentando a diversidade de espécies no sistema por meio de rotações, intercâmbios ou consorciação e redução do uso de agrotóxicos. A atividade biológica benéfica do solo tende a diminuir com o aumento da perturbação do solo, como lavoura, tráfego de máquinas intenso e compactação, além de extremos com pH baixo ou alto, ou contaminação por metais pesados ou sais.

3.3.3.3. Proteína do Solo

O teor médio de proteína dos solos cultivados com hortaliças foi de 4,65 g/kg e a mediana de 4,14 g/kg de solo respectivamente, com valor máximo de 9,43 g/kg e mínimo de 2,02 g/kg de solo. Estes resultados foram semelhantes aos observados nos solos naturais, que corrobora a sua classificação como sendo ruins e muito ruins, respectivamente (Figura 4). Há uma clara necessidade de melhoria no manejo da matéria orgânica dos solos.

Para armazenar e manter N na matéria orgânica do solo, é preciso acumular compostos que sejam relativamente estáveis, ricos em N (baixa relação C:N), degradáveis microbialmente, como restos culturais e culturas de cobertura, mantendo a presença de raízes vivas e ativamente em crescimento. O conteúdo de proteínas tende a diminuir com o aumento da perturbação do solo, ou seja, com o preparo convencional do solo. Construir e manter um solo saudável e biologicamente ativo com grandes reservas de tecido vegetal em decomposição na forma orgânica é uma boa abordagem para fornecer às culturas suas necessidades de N ao longo do tempo, em vez de aplicar formas solúveis de N que as plantas podem não usar imediatamente e se perderem junto ao escoamento superficial, por lixiviação ou desnitrificação. (MOEBIUS-CLUNE et al., 2016). Técnicas como plantio direto ou preparo mínimo do solo também são formas de melhorar a qualidade do solo e aumentar teores de proteínas no solo. Dai et al. (2015)

identificaram aumento da glomalina, proteína do solo produzida a partir de atividade de fungos micorrízicos, em solos cultivados em plantio direto por quatro anos, além do aumento da agregação dos solos.

3.3.4. ÍNDICES DE QUALIDADE DOS SOLOS (IQS)

Depois de realizadas as análises para determinação dos valores de cada indicador, dentro de cada grupo, foi estimado o Índice de Qualidade do Solo (IQS) médio para todos os solos selecionados. Adicionalmente, foram determinados o valor de IQS para duas propriedades selecionadas aleatoriamente para se fazer o diagnóstico delas quanto as qualidades químicas, físicas e biológicas.

3.3.4.1. IQS médio dos solos

Análise Granulométrica (dag/kg)						Classificação Textural	
Areia	47	Silte	31	Argila	22	Franco	

GRUPO	ANÁLISE	RESULTADO	SCORE
Químico	pH	5,9	100
Químico	Fósforo disponível	56,5	80
Químico	Potássio disponível	616	40
Químico	MOS	5,5	100
Químico	Micronutrientes	B 0,15 – Cu 8,13 – Fe 84,88 – Mn 108,5 – Zn 25	20
Químico	Condutividade Elétrica	1,65	50
Químico	Elementos traço		80
Físico	Grau de Flocculação	49,1	70
Biológico	Carbono Ativo	435,1	40
Biológico	Respiração Microbiana	0,67	60
Biológico	Proteína do solo	4,65	40
	IQS		63

Diagnóstico da qualidade do solo:

O IQS médio da área selecionada apresentou valor de alerta indicando que há variáveis de qualidade que ser trabalhadas urgentes pois estão limitando a produtividade ou representam risco ambiental. Os indicadores mostram que há excesso de potássio, micronutrientes e elementos traço nos solos, requerendo manejo urgente para evitar problemas de salinidade do solo, contaminação dos alimentos e dos cursos hídricos. Apesar do teor de matéria orgânica estar elevado neste solo é preciso melhorar o manejo para favorecer a microbiota do solo, essenciais para a disponibilidade de nutrientes para as plantas e melhor a estrutura do solo

3.3.4.2. IQS das propriedades

Exemplo1

Relatório de Teste de Qualidade do Solo

Identificação: Amostra 210 – coordenadas 819969 E e 8252636 S zona 22L

Análise Granulométrica (dag/kg)					Classificação Textural	
Areia	25	Silte	25	Argila	50	Argila

GRUPO	ANÁLISE	RESULTADO	SCORE
Químico	pH	6,2	100
Químico	Fósforo disponível	93	100
Químico	Potássio disponível	345	60
Químico	MOS	5,73	100
Químico	Micronutrientes	B0,13-Cu 6,6 – Fe 62 –Mn128 – Zn36,8	60
Químico	Condutividade Elétrica	1,24 mS/cmd	80
Químico	Elementos traço	Ba 40– Cr 111– Ni 0– V158	100
Físico	Grau de Floculação	48 dag/kg	80
Biológico	Carbono Ativo	443,5	40
Biológico	Respiração Microbiana	0,75 mg CO ₂	70
Biológico	Proteína do solo	4,7 g/kg	20
	IQS		74

Diagnóstico da qualidade do solo:

O IQS médio da área selecionada apresentou valor de alerta indicando que há variáveis de qualidade que precisam ser melhoradas para mudança da saúde do solo. A gleba amostrada, na propriedade selecionada, apresenta excelente fertilidade do solo, mas os índices em alerta (amarelo) e críticos (vermelhos) mostram a necessidade de melhorar as técnicas de preparo do solo, com mínimo de revolvimento possível e melhorar o manejo da matéria orgânica, deixando o solo vegetado o maior tempo possível e cultivo de maior diversidade de plantas. Práticas como plantio direto na palha, rotação de culturas e adubação verde, figuram como alternativas para melhorar a qualidade do solo desta gleba.

Exemplo 2

Relatório de Teste de Qualidade do Solo.

Identificação: Amostra 214.

Coordenadas geográficas UTM: 818014 E e 8252950 S zona 22 L.

Análise Granulométrica (dag/kg)					Classificação Textural	
Areia	25	Silte	20	Argila	55	Argila

Grupo	Indicador	Resultado	SCORE
Química	pH	6,4	100
Química	Fósforo disponível	100	100
Química	Potássio disponível	1.252	0
Química	MOS	4,35	80
Química	Micronutrientes	B0,1-Cu 15,7 – Fe 131,8 – Mn65 – Zn 38,2	60
Química	Condutividade Elétrica	4,08 mS/cm	0
Química	Elementos traço	Ba 47– Cr 104– Ni 0– V166	100
Física	Grau de Flocculação	45 dag/kg	80
Biológicas	Carbono Ativo	445 ppm	40
Biológicas	Respiração Microbiana	0,95 mg CO ₂	100
Biológicas	Proteína do solo	7,15 g/kg	60
	IQS		65

Diagnóstico da qualidade do solo:

O IQS médio da área selecionada apresentou valor de alerta indicando que há variáveis de qualidade que precisam ser melhoradas para mudança da saúde do solo. A gleba amostrada apresenta desequilíbrio da fertilidade do solo, com excesso de potássio e micronutrientes, exceto o boro. Em função deste desequilíbrio a condutividade elétrica se encontra muito elevada inviabilizando o cultivo econômico de várias espécies de hortaliças e, por isso, tanto a CEsat quanto o teor de K disponível receberão coloração indicativa de restrição e necessitam de estratégias de manejo para correção desses excessos. Sugere-se ao produtor suspender as adubações (principalmente Potássio) e realizar plantio de espécies tolerantes a solos salinos, evitar uso de águas com teores elevados de sais.

3.4. CONCLUSÕES

- 1- As amostras das áreas cultivadas evidenciaram desequilíbrio quanto ao manejo da adubação, com excessos de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K e insuficientes para o P;
- 2- A condutividade elétrica (CEsat) dos solos estão em níveis alarmantes, próximos de inviabilizar o cultivo de hortaliças sensíveis a salinidade em algumas propriedades;
- 3- O uso de fertilizantes para o cultivo de hortaliças não proporcionou aumento nos teores de metais pesados analisados;
- 4- As análises de Argila Dispersa em Água, apontam para uma piora da qualidade física do solo com o cultivo de hortaliças em relação aos solos naturais, consequência da pulverização do solo pelo sistema de preparo convencional. Com adoção de práticas mais conservacionistas como o plantio direto e melhoria no manejo da matéria orgânica, esse efeito pode ser ou até mesmo recuperado;
- 5- As análises de qualidade biológica do solo utilizadas (Carbono ativo, Respiração microbiana e Proteína do solo) indicam a necessidade de melhor manejo da matéria orgânica, uma necessidade de buscar reduzir as operações de revolvimento do solo, além de manter o solo vegetado o mais tempo e pela maior diversidade de plantas possível;
- 6- O resultado da análise da respiração microbiana do solo pode ser mascarado pela aeração promovida pelo revolvimento do solo, mostrando um pico da atividade microbiana, e não refletindo em uma atividade microbiana regular e saudável.
- 7- O monitoramento frequente de elementos traço no solo se mostrou importante, principalmente os considerados micronutrientes essenciais as plantas, e são adicionados ao solo frequentemente em adubações desequilibradas, muitas vezes com recomendação feita sem análise do solo para micronutrientes.

- 8- O Índice de Qualidade Analisado isoladamente pode levar a uma falsa interpretação de saúde do solo, sendo fundamental a análise de todos os indicadores para interpretação e tomada de decisões corretas sobre as práticas de manejo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVARES V., V.H. (Eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG), Viçosa – MG, p.25-32, 1999.

BALOTA, Elcio Liborio et al. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 39, n. 4, p.1003-1014, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140675>.

BONGIORNO, Giulia; et. al.. Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators*, [S.L.], v. 99, p. 38-50, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.008>.

BÜNEMANN, Else K. *et al.* Soil quality – A critical review. *Soil Biology And Biochemistry*, [S.L.], v. 120, p. 105-125, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>

CETESB, Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2001. 247p.

CHAER, G. M. Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos. 2001, 90 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. 2001

CHERUBIN, Maurício Roberto et al.. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 39, n. 2, p.615-625, abr. 2015. FapUNIFESP. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140462>

CHINNUSAMY, V., Jagendorf, A., and Zhu, J. K. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Sci.* 45: 437–448.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução No. 420/2009, Disponível em: www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620 . Acessado em 18 novembro de 2018.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL - COPAM.- Deliberação Normativa Nº 166, de 29 de junho de 2011

DAI, J.; BECQUER, T.; ROUILLER, J.H.; REVERSAT, G.; BERNHARD-REVERSAT, F.; LAVELLE, P. Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. *Applied Soil Ecology*, v.25, p.99-109, 2004.

DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M. Argila dispersa em água e grau de floculação. In: Teixeira, P. C. [et al.]. *Manual de métodos de análise de solo*. 3.ed. rev. e ampliada. Brasília, D.F. Embrapa, 2017. 573 p. : il. color.

EMATER-DF (ed.). *Informações agropecuárias do Distrito Federal 2019*. 2020. Disponível:<http://www.emater.df.gov.br/wpcontent/uploads/2018/06/Relat%C3%B3rio-Atividades-Agropecu%C3%A1rias-2019-DF.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p. : il. color. ISBN 978-85-7035-771-7*

EMBRAPA. *Mapa pedológico digital – SIG atualizado do Distrito federal escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo*. Reatto, Adriana; et.al. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 31 p (Documentos 120)

GOLDSCHMIDT, W.M., (1954) *Geochemistry*. Oxford, ClarendonPress, 730 p.

LILBURNE, L., Sparling, G.P., and Schipper, L.A. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: Development of an interpretive framework. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104: 535– 544.

LOPES, A. A. C. et. al.; . Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. *Soil Science Society of America Journal JCR*, v. 77, p. 461-472, 2013

LOPES, A. A. C.. Temporal variation and critical limits of microbial indicators in oxisols in the Cerrado, Brazil. *GEODERMA REGIONAL JCR*, v. 12, p. 72-82, 2018.

LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agronômica. São Paulo: Ed.ANDA, 1999, 72p (Boletim Técnico, 8)

LORENZ, O.A.; MAYNARD, D.N. Knott's handbook for vegetable growers. 3.ed. New York: John Wiley, 1988. 456p.

MARQUES, J. J. G. S. M.; Schulze, D. G.; Curi, N. & Mertzman, S. A. Trace element geochemistry in Brazilian Cerrado soils. *Geoderma*, 121:31-43, 2004.

MCBRATNEY, A. B.; FIELD, D. J.; KOCH, A.. The dimensions of soil security. *Geoderma*, [s.l.], v. 213, p.203-213, jan. 2014. Elsevier BV.

MOEBIUS-CLUNE, B. et al. Comprehensive Assessment of Soil Health: The Cornell Framework. 3. ed. NY, EUA: Cornell University, 2017. 124 p.

NOVAIS, R.F.; Smyth, T.J.; Nunes, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. *Fertilidade do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-737.

PRADO, R.B. et al. Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil. *PESQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA* V. 51, p. 1021-1038, 2016.

RESCK, Dimas V.s. et al. Dinâmica da Matéria Orgânica no Cerrado. In: SANTOS, Gabriel de A. et al. *Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais*. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 21. p. 359-417.

SHAHBAZ, M.; Ashraf, M.; Al-Qurainy, F.; Harris, P.J.C. (2012) Salt Tolerance in Selected Vegetable Crops, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 31:4, 303-320

SPARLING, G.P., and Schipper, L.A. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: Trends and issues arising from a broad-scale survey. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104: 545–552.

SPARLING, G.P., Schipper, L.A., Bettjeman, W., and Hill, R.. 2004. Soil quality monitoring in New Zealand: Practical lessons from a six-year trial. *Agric. Ecosyst. Environ.* 104: 523– 534.

STEFANOSKI, D.C.; FIGUEIREDO, C.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L. Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.51, n.9, p.1643-1651, set. 2016

TEIXEIRA, P. C.. Sais Soluveis. In. Teixeira, P. C. [et al.]. *Manual de métodos de análise de solo*. 3.ed. rev. e ampliada. Brasília, D.F. Embrapa, 2017. 573 p. : il. color.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. Background report on fertilizer use, contaminants and regulations. United States Environmental Protection. Agency Office of Pollution Prevention and Toxics. EPA, 747-R-98-003, 395p, 1999

VALARINI, P.J, et. al. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. *Rev. Hortic. Bras.*, v,29, n.4, out-dez 2011.