

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL  
UNIDADE HORTÊNSIAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE**

**GUSTAVO AYRES**

**DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DE VIDEIRAS DAS CULTIVARES  
MOSCATO BRANCO E BORDÔ NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA (RS)**

**SÃO FRANCISCO DE PAULA  
2022**



**GUSTAVO AYRES**

**DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DE VIDEIRAS DAS CULTIVARES  
MOSCATO BRANCO E BORDÔ NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA (RS)**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Hortênsias, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sustentabilidade.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Fabiano Simões (*in memoriam*)

Coorientador: Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Gustavo Brunetto

**SÃO FRANCISCO DE PAULA**

**2022**

Catálogo de publicação na fonte (CIP)

A985d

Ayres, Gustavo

Diagnose do estado nutricional de videiras das cultivares Moscato Branco e Bordô no município de Farroupilha (RS) / Gustavo Ayres. – São Francisco de Paula: Uergs, 2022.

84 f. il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade Hortênsias, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Simões (in memoriam)

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Brunetto

1. Análise foliar. 2. Diagnose da Composição Nutricional (CND). 3. Fertilidade sistêmica do solo. 4. Dissertação. I. Simões, Fabiano. II. Brunetto, Gustavo. III. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade, Unidade Hortênsias. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Marcelo Bresolin CRB 10/2136

GUSTAVO AYRES

**DIAGNOSE DO ESTADO NUTRICIONAL DE VIDEIRAS DAS CULTIVARES  
MOSCATO BRANCO E BORDÔ NO MUNICÍPIO DE FARROUPILHA (RS)**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Unidade Hortênsias, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ambiente e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Simões (*in memoriam*)

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Brunetto

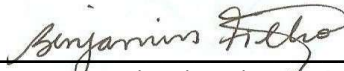
Aprovada em: 31 / 05 / 2022.

**Banca Examinadora**



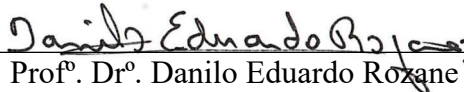
---

Prof. Dr. Gustavo Brunetto  
Universidade Federal de Santa Maria



---

Prof. Dr. Benjamin Dias Osório Filho  
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul



---

Prof. Dr. Danilo Eduardo Roxane  
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho



---

Prof. Dr. Willian Natale  
Universidade Federal do Ceará

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Rejane e Sinval, que nunca mediram esforços para me proporcionar uma ótima educação e que sempre me incentivaram a estudar.

Ao apoio de sempre do colega, Engenheiro Agrônomo, Enio Ângelo Todeschini, que sempre incentivou a realização deste trabalho e na divulgação e uso dos resultados.

Aos meus orientadores, Fabiano Simões, Gustavo Brunetto e Danilo Eduardo Rozane, por aceitarem a realização desta pesquisa e sempre serem otimistas em relação aos desafios que foram surgindo no decorrer da realização do trabalho.

A Prefeitura Municipal de Farroupilha, por desde o início acreditar no potencial prático e aplicado desta pesquisa para a melhoria da vitivinicultura no município e na Serra Gaúcha.

A Associação Farroupilhense de Produtores de Vinhos, Espumantes, Sucos e Derivados (AFAVIN), por se envolver com partes importantes da coordenação desta pesquisa, auxiliar na seleção das áreas avaliadas, coordenar a gestão dos recursos e financiar parte da pesquisa, além de ter a visão do potencial deste trabalho na melhoria da vitivinicultura.

À todas e todos agricultores, vitivinicultores de Farroupilha, que aceitaram participar desta pesquisa e que colaboraram de forma decisiva para a formação do banco de dados.

Aos estudantes do grupo GEPACES/UFSM (<https://gepaces.com.br/>) pela colaboração em diferentes etapas realizadas ao longo do estudo. Sem os mutirões realizados com a presença de diversos estudantes do grupo as amostragens a campo não seriam possíveis.

Aos professores e colegas estudantes do Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Sustentabilidade da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, pelo convívio rico em trocas de conhecimentos e experiências, além do companheirismo ao longo dessa jornada.

À banca que avaliou este trabalho, composta pelos Professores Willian Natale, Danilo Eduardo Rozane e Benjamin Dias Osório Filho, pelas relevantes contribuições feitas e pela cordialidade e elegância no ritual de defesa.

Às instituições de fomento à pesquisa FAPERGS e CNPq, pela colaboração financeira através de bolsas para os estudantes.

## RESUMO

Ao longo da história da agricultura, a manutenção da fertilidade do solo sempre foi um desafio para a humanidade. Em um primeiro momento, a principal forma utilizada para o reestabelecimento da capacidade produtiva das áreas de cultivo, foi através da regeneração natural da vegetação pela prática da agricultura de derrubada-queimada. Em um segundo momento, esse processo se deu através da integração entre os sistemas de criação animal e o cultivo de plantas, onde os animais exerciam papel fundamental na transferência de nutrientes e matéria orgânica das áreas de pastejo para as áreas de cultivo. Com o processo de industrialização da agricultura, está longa integração entre os animais e os cultivos vai sendo aos poucos dissociada, transformando de forma drástica a base tecnológica da agricultura. Inicialmente, duas tecnologias contribuíram de forma decisiva para desfazer esta aliança, o uso de fertilizantes minerais industrializados, substituindo os dejetos animais, e a motomecanização, substituindo a força de tração animal. Porém, na segunda metade do século XX, o modelo de agricultura industrial demonstrou-se insustentável e manifestou inúmeros efeitos negativos nos âmbitos social, ambiental e econômico. Neste período, uma série de acontecimentos consolidaram as problemáticas do modelo de desenvolvimento em expansão e da agricultura industrial, apontando os impactos nocivos ao meio ambiente e à saúde humana, consequências da utilização desenfreada de substâncias químicas e do uso predatório e insustentável dos recursos naturais. É neste contexto que o presente trabalho realizou o diagnóstico do estado nutricional de videiras na região da Serra Gaúcha, responsável por cerca de 50% da área cultivada com a cultura no País, com o intuito de contribuir para o uso racional e sustentável de fertilizantes em vinhedos e a gestão sustentável do solo. Para tanto, é primordial compreender que a capacidade produtiva do solo e o equilíbrio nutricional das plantas, dependem das múltiplas relações entre os componentes de um sistema, como também dependente das interações com os diferentes componentes do agroecossistema. Desse modo, as práticas para melhorar a fertilidade do solo ou do agroecossistema como um todo, não ficam limitadas a aplicação de adubos ou do controle da erosão, mas sim devem buscar desenvolver uma estratégia que integre o manejo do solo, dos cultivos e das criações. Assim, espera-se contribuir para a diminuição do potencial de contaminação do solo e da água pelo excesso de nutrientes, bem como auxiliar na manutenção de bons níveis de produtividade e qualidade dos frutos, reduzindo os custos de produção. A avaliação do estado nutricional de videiras foi realizada através do método Diagnóstico da Composição Nutricional (CND). O banco de dados

foi composto por informações de 105 vinhedos, 54 da cultivar Moscato Branco e 51 da cultivar Bordô, localizados no município de Farroupilha, Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil. A partir dos teores de nutrientes em folha e da produtividade de uva em cada talhão, foram elaborados os índices CND para cada nutriente, bem como os níveis críticos (NC) e as faixas de suficiência (FS) de teores de nutrientes em folhas. Os índices CND- $r^2$  foram eficazes em estabelecer o estado nutricional das videiras 'Moscato Branco' e 'Bordô' em relação aos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn classificados em deficientes, adequadas e excessivas.

**Palavras-chave:** Análise foliar, Diagnose da Composição Nutricional (CND), equilíbrio nutricional, adubação, uva (*Vitis vinifera* L. e *Vitis labrusca* L.), fertilidade sistêmica do solo.

## ABSTRACT

Throughout the agriculture history, maintaining soil fertility has always been a challenge for humanity. In a first moment, the main way used to reestablish the productive capacity on cultivated areas was through the vegetation natural regeneration using slash-and-burn agriculture practice. In a second moment, this process it happened through the integration between animal husbandry systems and plant cultivation, where animals played a fundamental role in the transfer of nutrients and organic matter from grazing areas to cultivation areas. Whith the agriculture industrialization process, the long integration between animals and crops was being gradually dissociated, transformig drastically the technological base of agriculture. Initially, two technologies contributed decisively to undo this alliance, the use of industrialized mineral fertilizers, replacing animal waste, and motor-mechanization, replacing animal traction power. However, in the second half of the 20th century, the industrial agriculture model proved to be unsustainable and manifested numerous negative effects in the social, environmental and economic spheres. During this period, a series of events consolidated the problems of the expanding development model and industrial agriculture, pointing to the harmful impacts on the environment and human health, consequences of the unbridled use of chemical substances and the predatory and unsustainable use of natural resources. It is in this context that the present study realized the diagnosis of vines nutritional status in the 'Gaúcha' mountain range region, responsible for about 50% of the cultivated area with the vines crop in the country, in order to contributing for the use rational and sustainable of fertilizers in vineyards and sustainable soil management. Therefore, it is essential to understand that the productive soil capacity and the plants nutritional balance depend on the multiple relationships between the system components as well as depending on the interactions with the different components of the agroecosystem. In this way, practices to improve soil fertility or the agroecosystem as a whole are not limited to the application of fertilizers or erosion control, but rather seek to develop a strategy that integrates the management of soil, crops and livestock. Thus, it is expected to contribute to reducing the potential for soil and water contamination by excess nutrients, as well as helping to maintain good levels of productivity and fruit quality, reducing production costs. The evaluation of the nutritional status of grapevines was carried out using the Nutritional Composition Diagnosis (NDC) method. The database consisted of information from 105 vineyards, 54 of the Moscato Branco cultivar and 51 of the Bordô cultivar, located in the municipality of Farroupilha, Rio Grande do Sul, southern region of Brazil. Based on leaf nutrient content and grape productivity in each plot, the CND indices were created for each



nutrient, as well as the critical levels (NC) and sufficiency ranges (FS) of nutrient content in leaves. The CND- $r^2$  indices were effective in establishing the nutritional status of 'Moscatto Branco' and 'Bordô' grapevines in relation to leaf contents of N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn and Zn classified as deficient, adequate and excessive.

**Keywords:** Leaf analysis, Compositional Nutrients Diagnosis (CND), nutritional balance, fertilization, grape (*Vitis vinifera* L. e *Vitis labrusca* L.), systemic soil fertility.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Função cumulativa dos dados de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em vinhedos ( $n = 101$ ).  
.....51
- Figura 2 - Índice de desequilíbrio nutricional (CND-r2) e a distância de Mahalanobis (D2) da população de alta produtividade ( $n = 53$ ). ..... 54
- Figura 3 - Comparação entre as concentrações médias recomendadas para videiras (CQFS-RS/SC, 2016) e o índice de desequilíbrio nutricional (CND-r2) da população de alta produtividade. ....56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Matriz de correlação de Pearson entre as concentrações de nutrientes em folhas e a produtividade em vinhedos (n = 101).....	50
Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson entre as concentrações de nutrientes em folhas e a produtividade em vinhedos de alta e baixa produtividade. ....	52
Tabela 3 - Padrões do diagnóstico da composição nutricional (CND) da população de alta produtividade (n = 53). ....	55
Tabela 4 - Modelos estatísticos das relações entre os teores de nutrientes e os índices CND em folhas de videira.....	57
Tabela 5 - Faixas de suficiência de nutrientes consideradas adequadas em amostras de folhas de videiras obtidas pelo método CND no presente estudo, em comparação com recomendações estabelecidas por outros autores para a mesma cultura cultivada no Brasil. ....	58

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	15
2.1 OBJETIVO GERAL .....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL</b> .....	16
3.1 DO SURGIMENTO DA AGRICULTURA À PRIMEIRA REVOLUÇÃO AGRÍCOLA DOS TEMPOS MODERNOS .....	16
3.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO DA AGRICULTURA .....	20
3.3 OS IMPACTOS NEGATIVOS DO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA AGRICULTURA E A CONCEPÇÃO DAS IDEIAS DE DESENVOLVIMENTO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL.....	23
<b>3.3.1 O aumento da produção de alimentos e a erradicação da fome no mundo</b> ....	26
3.4 RESERVAS DE FONTES DE NUTRIENTES NPK E O USO DE ADUBOS .....	28
3.5 FERTILIDADE DO SOLO E DO SISTEMA .....	30
3.6 A ATUAÇÃO RECENTE DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A PROMOÇÃO DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DO SOLO.....	32
3.7 A VITIVINICULTURA BRASILEIRA.....	35
3.8 A NUTRIÇÃO DE VIDEIRAS NA “SERRA GAÚCHA” .....	36
3.9 CND E EQUILÍBRIO NUTRICIONAL .....	37
3.10 CND E PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO E DO AGROECOSSISTEMA.....	38
3.11 O CND E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS) ..	40
<b>4 ARTIGO</b> .....	42
4.1. TÍTULO: PROPOSIÇÃO DE NÍVEIS CRÍTICOS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE VIDEIRAS DAS CULTIVARES MOSCATO BRANCO ( <i>Vitis vinifera</i> L.) E BORDÔ ( <i>Vitis labrusca</i> L.).....	42
<b>5 DISCUSSÃO GERAL</b> .....	66
<b>6 PRODUTOS</b> .....	68
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	69
<b>8. PERSPECTIVAS DE ESTUDOS</b> .....	70
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71
<b>APÊNDICES</b> .....	75
<b>APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO</b> .....	75

## INTRODUÇÃO GERAL

Ao longo da história da agricultura, a manutenção da capacidade produtiva do solo sempre foi um desafio para a humanidade. Para isso, uma das principais formas encontradas foi a integração entre os sistemas de criação animal e o cultivo de plantas (MAZOYER; ROUDART, 2010). Esta antiga aliança foi rompida durante o processo de industrialização da agricultura, transformando profundamente as bases tecnológicas da agricultura. Duas novas tecnologias contribuíram de forma decisiva para desfazer esta integração, os fertilizantes industriais, que substituíram os dejetos animais, e a motomecanização, que substituiu a força de tração animal (EHLERS, 1996).

No entanto, na segunda metade do século XX, este modelo industrial de agricultura demonstrou-se insustentável, manifestando efeitos negativos nos âmbitos social, ambiental e econômico (ALMEIDA, 2009; CAPORAL e COSTABEBER, 2004). Neste período, uma série de acontecimentos consolidaram a problemática deste novo padrão de desenvolvimento em expansão e da agricultura industrial. A publicação do livro de Rachel Carson (1962), a realização da Conferência das Nações Unidas em Estocolmo (1972) e a divulgação do Relatório de Brundtland (1987), são alguns dos principais episódios que contribuíram para a consolidação da compreensão dos impactos nocivos ao meio ambiente e a saúde humana que estavam sendo causados pelo uso indiscriminado de substâncias químicas industriais, bem como o uso predatório e insustentável dos recursos naturais através desse modelo. Além disso, emergiram diversos problemas sociais no meio rural, atingindo, principalmente, aqueles agricultores com menos posses e menos capitalizados, acirrando as desigualdades sociais.

Nesse contexto, o presente trabalho está inserido na problemática do uso sustentável do solo. Com isso, é importante destacar que o solo é considerado um recurso natural não renovável, devido ao longo período de tempo necessário para sua formação. Ademais, os solos exercem funções essenciais para a manutenção dos seres vivos na Terra, como a produção de alimentos e serviços ecossistêmicos. Por esses e outros motivos, com o objetivo de dar visibilidade aos problemas relacionados aos solos, a Organização das Nações Unidas (ONU) decretou o ano de 2015 como o Ano Internacional do Solo e desencadeou a elaboração diversos documentos relacionados ao tema. Neste mesmo ano, a Organização publicou um documento fundamentado em inúmeros estudos científicos elaborados por cerca de 200 pesquisadores de 60 países intitulado *Status of the World's Soil Resources*, o Estado Mundial do Recurso Solo (FAO, 2015b). O documento apontou que cerca de 33% dos solos estão de moderado a

altamente degradados devido a erosão hídrica e eólica, perda de carbono orgânico, desequilíbrio de nutrientes, salinização, contaminação, acidificação, perda de biodiversidade, impermeabilização, compactação e encharcamento, sendo a atividade agrícola a principal responsável pelos processos de degradação (FAO, 2015b).

O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo. Dentre as atividades agrícolas brasileiras, a fruticultura tem uma posição de destaque, sendo o Brasil o terceiro maior produtor do Mundo (REINHARDT, 2021). Na fruticultura brasileira, a cadeia produtiva da uva tem grande relevância e é a terceira maior em valor de produção, atrás apenas da produção de laranja e banana (IBGE, 2020). O estado do Rio Grande do Sul (RS) é o maior produtor de uva do país, onde, em 2020, foram produzidas 735.356 toneladas da fruta em 46.774 hectares (MELLO; MACHADO, 2021). Cabe destacar, que uma parcela importante da uva produzida no país é destinada à produção de vinhos, sucos, espumantes e derivados, agregando alto valor aos produtos ao longo da cadeia produtiva. Neste cenário, o estado do RS é responsável por mais de 90% da produção de vinhos e sucos, e de 85% da produção de espumantes do país, representando uma parcela altamente significativa do setor (MELLO; MACHADO, 2021).

Um fator importante para a obtenção de altas produtividades e frutos de qualidade em vinhedos é realizar a adequada calagem e adubação dos solos. Para isso, a prática mais utilizada é a realização da análise química do solo para a avaliação da sua fertilidade. Porém, a videira é uma planta perene e possui algumas características que devem ser destacadas: a) permanecerá em produção por muitos anos; b) possui sistema radicular com capacidade de explorar grande volume de solo para a absorção dos nutrientes; c) armazena nutrientes em órgãos perenes, como raízes, caule e ramos de mais de um ano, que podem ser redistribuídos no próximo ciclo vegetativo. Com isso, cada vez mais tem-se recomendado, como prática complementar à análise química do solo, a realização da análise de nutrientes em folhas para avaliar o estado nutricional das plantas.

A proposição de valores de referência de nutrientes em folhas, como o nível crítico (NC), a faixa de suficiência (FS) ou índices de nutrientes que venham a contribuir para o diagnóstico do estado nutricional de vinhedos, ainda não são suficientemente conhecidos em todas as cultivares e, em diferentes sistemas de manejo e condições edafoclimáticas. O método *Compositional Nutrients Diagnosis* (Diagnose da Composição Nutricional - CND) é um dos mais avançados da atualidade para determinar faixas de equilíbrio nutricional, a partir da quantidade de nutrientes presente no tecido vegetal, pois é composto por passos matemáticos

que estabelecem relações multivariadas entre os nutrientes para a identificação de padrões de equilíbrio nutricional.

Assim, o presente trabalho objetivou a construção de valores de referência para diagnosticar o estado nutricional de videiras cultivadas no município de Farroupilha (RS), localizado na Microregião de Caxias do Sul (IBGE, 2017), região da “Serra Gaúcha”, que é a maior produtora de uvas do país. Para compor o banco de dados, realizou-se a análise do tecido foliar e a estimativa de produtividade em 105 vinhedos comerciais, sendo 51 da cultivar Bordô e 54 da cultivar Moscato Branco, durante a safra de 2019/2020. Para a determinação dos NC e FS de nutrientes em folhas, utilizou-se o método CND, desenvolvido por Parent e Dafir (1992).

Para a integração teórico-prático deste trabalho com a sustentabilidade da agricultura, entende-se ser necessário a utilização de uma abordagem sistêmica. Com isso, compreende-se que a fertilidade do solo não se resume à disponibilidade nutrientes e/ou à prática de adubação. Nesta perspectiva, a fertilidade deve ser entendida como a capacidade de gerar vida ou a capacidade de reproduzir ou de produzir. Desta forma, o bom funcionamento do solo e, conseqüentemente, o equilíbrio nutricional das plantas, resulta das múltiplas relações entre os componentes de um sistema, como também dependente das interações com os diferentes componentes do agroecossistema. Então, as práticas para melhorar a fertilidade do solo ou do agroecossistema como um todo, não ficam limitadas a aplicação de adubos ou do controle da erosão, mas sim devem buscar desenvolver uma estratégia que integre o manejo do solo, dos cultivos e das criações (KHATOUNIAN, 2001).

Nesta perspectiva, para a tomada de decisão sobre a melhor forma de realizar a adubação e as demais práticas de manejo do solo e do sistema de produção, a análise de nutrientes em folhas deve ser realizada em conjunto com outras ferramentas. Os resultados obtidos via CND devem ser integrados à outras análises, como por exemplo, a análise química do solo e/ou com a análise biológica do solo. Além disso, para melhorar a capacidade produtiva do solo e de potencializar os serviços ecossistêmicos, deve-se minimizar seus processos de degradação, como a erosão e a contaminação por substâncias tóxicas (adubos, agrotóxicos e outras), como também adotar práticas de manejo como a diminuição do revolvimento e cultivar plantas de adubação verde e de cobertura, visando uma gestão sustentável do solo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Diagnosticar o estado nutricional das cultivares Moscato Branco e Bordô, através do método CND, em vinhedos localizados no município de Farroupilha (RS).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a produtividade de uva e os teores de nutrientes em folhas de videiras, em vinhedos das cultivares Moscato Branco e Bordô, em Farroupilha (RS);
- Propor as normas CND, em cultivares Moscato Branco e Bordô, em Farroupilha (RS);
- Elaborar o *software* CND para as cultivares Moscato Branco e Bordô, em Farroupilha (RS).



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA GERAL

#### 3.1 DO SURGIMENTO DA AGRICULTURA À PRIMEIRA REVOLUÇÃO AGRÍCOLA DOS TEMPOS MODERNOS<sup>1</sup>

Por volta de 10.000 anos atrás, o ser humano passou a praticar a agricultura, iniciando o processo de estabelecimento dos primeiros vilarejos e tornando-se sedentário. A agricultura desenvolveu-se em dois principais tipos de ecossistemas: em áreas de florestas pouco densas, onde havia a prática da agricultura de derrubada-queimada, cujo cultivo de plantas exercia papel central e a criação de animais cumpria papel secundário; e, em ecossistemas de pastagens, no qual a criação animal era a atividade principal e, eventualmente, eram realizados alguns cultivos de plantas.

Os cultivos se desenvolveram em áreas ocupadas por florestas menos densas. Nesta época, as ferramentas que o ser humano primitivo possuía para realizar o manejo da vegetação eram o machado e o fogo, o que não possibilitava o manejo da vegetação herbácea das áreas de savanas ou o manejo de florestas densas. A agricultura de derrubada-queimada consistia em fazer o corte da vegetação florestal, abrindo uma clareira na mata, ateando fogo em seguida. Neste local, eram realizados de 1 a 3 cultivos consecutivos. Posteriormente, a área permanecia em pousio por cerca de 10 a 50 anos, permitindo o reestabelecimento da vegetação florestal.

Este sistema era sustentado pela renovação da fertilidade<sup>2</sup> do solo através da regeneração natural da vegetação. Com a derrubada e posterior queima da floresta, sua biomassa era transformada em cinza, que solubilizava os nutrientes ali contidos, disponibilizando-os para os cultivos. Além disso, com o pousio, era possível o acúmulo de resíduos vegetais no solo, aumentando o teor de matéria orgânica, o que melhorava a capacidade de retenção e a disponibilidade de água e nutrientes no solo.

Os sistemas de cultivo de derrubada-queimada se expandiram para a maioria das áreas de florestas e savanas arborizadas ao redor do Mundo, acompanhado de um forte crescimento demográfico. No entanto, com o crescimento contínuo da população de seres humanos e da ampliação da ocupação das áreas de florestas, o período de pousio passou a ser cada vez menor. Com isso, impossibilitava-se que ocorresse a regeneração natural da vegetação florestal, o que

---

<sup>1</sup> O texto deste item foi elaborado com base no livro de Mazoyer e Roudart (2010), “História das Agriculturas no Mundo: do neolítico à crise contemporânea”.

<sup>2</sup> Neste item, o termo fertilidade é utilizado conforme utilizado pelo autor citado. Uma discussão sobre o conceito de fertilizadade é realizada no item 3.5.

levou os solos à degradação, com perda de fertilidade e aumento dos processos erosivos. Assim, o emprego da agricultura de derrubada-queimada em vastas áreas por milhares de anos e seu consequente desmatamento, causaram drásticas alterações climáticas, levando a savanização e a desertificação de algumas áreas no entorno do mediterrâneo, principalmente, na região do oriente médio.

Com a crise do sistema de cultivo de derrubada-queimada, novos sistemas pós-floresta se desenvolveram. Pode-se destacar alguns dos mais importantes, que se originaram em períodos e regiões diferentes, como: a) sistemas hidráulicos em regiões áridas, que surgem a cerca de 5.000 anos atrás, nos vales aluviais dos rios Nilo, Tigre, Eufrates e Indo; b) sistemas com alqueive (terra lavrada que é deixada em pousio) e tração leve, que desenvolvem-se nas regiões temperadas quentes no entorno do mediterrâneo e posteriormente espalharam-se pelas regiões temperadas frias da Europa, a cerca de 4.000 a 4.500 anos; e, c) sistemas de rizicultura aquática originados nas regiões de monções na Ásia, a cerca de 3.000 a 4.000 anos atrás.

O período de surgimento de cada um dos sistemas de cultivo pós-floresta é aproximado, pois estes são o resultado, muitas vezes, de centenas ou milhares de anos de acúmulo de conhecimentos e aprimoramento de ferramentas e técnicas. Muitos destes sistemas coexistiram em uma mesma região e podem ser encontrados até os dias de hoje. Contudo, neste trabalho, será abordada a evolução do sistema de cultivo com alqueive e tração leve. Visto que são as transformações ocorridas a partir desse sistema que dará origem ao atual modelo de produção agrícola industrial, tendo como consequências diversas problemáticas contemporâneas relacionados a sua sustentabilidade.

O sistema de cultivo com alqueive e tração leve originou-se baseado na estreita associação entre o cultivo de plantas e a criação de animais. Estes últimos tinham a função de servir de força de tração (arado escarificador e albarda) e transferir a fertilidade das áreas de pastoreio para as áreas de cultivo de cereais. Além disso, forneciam carne, pele e outros produtos. Para o preparo do solo utilizava-se o arado escarificador, abrindo um sulco no solo, que tinha a função de abrir o leito para semeadura e cobrir as sementes, controlar as plantas espontâneas e arar a terra. Contudo, o preparo com este instrumento era bastante ineficiente, sendo necessária a complementação do preparo do solo através do uso da pá e do enxadão, trabalho este extremamente penoso e de baixíssimo rendimento. A albarda, um tipo de arreio colocado sobre o lombo do animal para levar carga, era utilizada para o transporte de alimentos para os animais e de dejetos até as áreas de cultivo, dentre outras funções. Porém, sua eficiência também era muito baixa.

Os solos mais férteis e propícios para o uso do arado escarificador eram destinados ao cultivo de grãos, onde era feita a rotação bienal com período de pousio curto, de menos de um ano, chamado de alqueive. Os animais ficavam durante o dia nas áreas de pastagem e, à noite, eram levados às áreas de cultivo em pousio, com o objetivo de depositar seus dejetos e realizar a transferência de fertilidade. Esta forma de agricultura era muito ineficiente. As terras eram mal preparadas, mal fertilizadas e os cultivos apresentavam baixas produtividades. Índícios apontam que os sistemas de cultivo com alqueive e tração leve já se desenvolviam no Oriente Médio há cerca de 4000 anos atrás. Nos últimos séculos antes de Cristo “já eram utilizados do norte da África à Escandinávia, e do Atlântico até o Aral e as margens do Mediterrâneo”.

Diversos avanços técnicos acumulados por séculos foram transformando esse sistema de cultivo, aos poucos, reconfigurando-se em outro bem mais eficiente, o sistema de cultivo com alqueive com tração pesada. Esse novo sistema ainda manteve o alqueive, mas passou a utilizar novos equipamentos que exigiam uma tração pesada, consolidando-se no norte da Europa nos séculos XI ao XIII. Nesse sistema passou-se a usar um tipo de arado mais eficiente, o arado charrua, e para completar o preparo do solo, a grade. O uso desses dois equipamentos permitiu uma verdadeira lavração das áreas de cultivo, diminuindo a penosidade do trabalho e aumentando sua eficiência, o que tornou possível a exploração de maiores extensões de terras.

Ademais, as novas técnicas de arreo (de chifre e coalheira rígida) e da ferragem dos animais, aumentaram a eficiência do uso da força da tração animal. O uso do alfanje, carroças e galpões, deram as condições para a ampliação do número de animais, por meio do aumento da eficiência no uso e armazenagem de forragens e dejetos, melhorando a transferência de fertilidade às áreas de cultivos.

No entanto, quando os agricultores avançavam a produção de cereais em áreas marginais, pouco férteis, ou priorizavam a produção de grãos em detrimento da manutenção de áreas de produção de forragens e campos de ceifas destinados a alimentação dos animais, a produtividade dos cultivos caía abaixo de níveis aceitáveis. Isso ocorria, pois, com a diminuição da oferta de alimentos para os animais, era necessária a redução dos rebanhos, acarretando em menor quantidade de dejetos disponível para suprir a demanda de adubação das novas áreas de cultivo e, conseqüentemente, na degradação da fertilidade dos solos.

Esse contexto só vai se modificar com a emergência dos sistemas agrários sem alqueive, que começaram a consolidar-se nos Países Baixos no século XVI e se espalharam por várias regiões da Europa nos séculos XVII e XVIII. Este processo ficou conhecido como a “primeira revolução agrícola dos tempos modernos”, e teve seu desenvolvimento fortemente relacionado com a primeira revolução industrial.

Neste sistema de cultivo a lavração, associada ao período de pousio das áreas de cultivo de cereais (alqueives), foi substituído pelo cultivo de espécies de plantas de maior eficiência e mais produtivas, as quais possuíam múltiplos propósitos, como a produção de forragem e a competição com espécies espontâneas. Algumas das plantas forrageiras muito utilizadas nas rotações da época foram gramíneas como o azevém, leguminosas como o trevo, ou ainda, espécies que possuíam alta capacidade de competição com as plantas espontâneas como o nabo. Estas plantas tinham a capacidade de produzir tanta forragem quanto as áreas de pastagem e campos de ceifa juntos, possibilitando o aumento dos rebanhos, resultando no incremento da produção de dejetos, da força de tração e dos produtos oriundos das criações (carne, leite, pele, lã, etc...).

Além do mais, pela maior capacidade de crescimento e produção de biomassa, estas espécies contribuía para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Seu desenvolvimento era mais vigoroso que as espécies espontâneas, desenvolvendo maior quantidade de raízes, possuindo maior capacidade de exploração do solo de forma lateral e em profundidade e aumentando de forma considerável a reciclagem dos nutrientes que antes seriam perdidos por lixiviação. Dessa forma, com a maior produção de biomassa e dejetos, as novas rotações possibilitaram o aumento dos teores de matéria orgânica dos solos, resultando no aumento da capacidade de retenção e disponibilização de água e nutrientes nas áreas de produção. Outro aspecto importante que deve ser destacado era a realização de rotações com espécies leguminosas que contribuía com o aporte de nitrogênio para os cultivos subsequentes, através da fixação biológica.

Assim, a primeira revolução agrícola dos tempos modernos possibilitou a duplicação da produção de alimentos e da produtividade do trabalho na agricultura, dando condições para o aumento demográfico e da melhoria da alimentação sem precedentes na Europa. Pela primeira vez na história da humanidade se estabelece uma forma de fazer agricultura com condições de produzir de forma estável alimentos para a população, além de um excedente agrícola comercializável, em torno de 50% da produção total.

Com isso, foi possível suprir as necessidades alimentares de uma população urbana crescente e mais numerosa que a população agrícola, impulsionando o desenvolvimento industrial. Além do mais, esta nova agricultura forneceu matérias-primas e pôde liberar mão de obra para a indústria que encontrava-se em crescimento. Como exemplos de matérias-primas pode-se citar a lã utilizada na indústria têxtil e a beterraba na indústria açucareira. Ainda, a atividade agrícola tornou-se um importante mercado consumidor dos produtos industriais, principalmente ferramentas e equipamentos a base de ferro, nesse primeiro momento.

### 3.2 A INDUSTRIALIZAÇÃO DA AGRICULTURA

Desde a crise da agricultura de derrubada-queimada, a integração entre a criação de animais e os cultivos foi bastante importante para a manutenção da fertilidade do solo. O modelo de agricultura consolidado nos séculos XVII a XIX na Europa aproximou ainda mais as criações de animais dos cultivos de plantas, através dos sistemas de rotações de culturas com plantas forrageiras, possibilitando o aumento do rebanho de animais e resultando no incremento de produção de biomassa e de dejetos, que eram a base para manutenção da fertilidade dos solos.

Com o avanço do processo de industrialização e de urbanização, a demanda por alimentos crescia cada vez mais, elevando a demanda por grãos e cereais. A necessidade de adubação dos solos era cada vez maior devido ao uso mais intensivo das áreas de produção pela adoção dos novos sistemas de rotação de culturas. A produção de dejetos pelas criações de animais era limitada, além de ocupar áreas com espécies forrageiras que poderiam ser destinadas à produção de grãos, que eram mais rentáveis (EHLERS, 1996).

Em meados do século XIX, o químico alemão Justus von Liebig descobriu que as substâncias químicas presentes no solo afetavam a nutrição das plantas, resultados publicados em sua obra intitulada “*Organic chemistry in its application to agriculture and physiology*” (LIEBIG, 1840). Liebig era um crítico à teoria do humus e defendia a tese que a produtividade agrícola estava relacionada às quantidades de substâncias químicas incorporadas ao solo, sendo considerado o precursor da nutrição mineral de plantas (EHLERS, 1996).

Mesmo na época, suas teorias foram consideradas reducionistas. Pesquisadores como Pasteur, Serge Winogradsky e Martinus Beijerinck, pioneiros em trabalhos em microbiologia do solo, já comprovavam que o processo de decomposição da matéria orgânica era realizado por microrganismo e a sua importância na nutrição e no desenvolvimento das plantas. De qualquer forma, as descobertas de Liebig e suas ideias foram transformadoras e incentivaram, no transcorrer das décadas seguintes, o desenvolvimento da indústria de fertilizantes minerais para o uso na agricultura (EHLERS, 1996).

A partir disso, com o passar do tempo os adubos orgânicos e as rotações de cultivos foram sendo substituídos pelo uso de fertilizantes químicos industriais, sendo priorização o cultivo de cereais. Assim, estavam constituindo-se as bases para o desenvolvimento de uma das principais tecnologias que possibilitou a simplificação dos sistemas de produção agrícola pela dissociação da histórica relação entre as criações de animais e os cultivos, com seus sistemas

de produção rotacionados e diversificados (EHLERS, 1996). Esta integração foi o que garantiu, durante milhares de anos, a manutenção da produtividade dos sistemas agrícolas.

Ainda no século XIX, com os avanços da indústria metalúrgica, foram desenvolvidas inúmeras máquinas e implementos para a agricultura. Porém, para o seu funcionamento, estas ainda tinham como base energética a força humana ou a tração animal. Na década de 1880 foram feitas tentativas do uso de motor a vapor em máquinas agrícolas, mas sem obter bons resultados. A grande transformação que viabilizou a aplicação da motomecanização na agrícola foi a invenção do motor a combustão interna, que teve sua escala de produção e de disseminação ampliada no período da Primeira Guerra Mundial.

Após a guerra, havia um grande parque industrial para fabricação de máquinas ocioso, que foi destinado à produção de tratores e máquinas agrícolas movidas. Assim, os animais de tração foram sendo gradativamente substituídos por tratores e outras máquinas agrícolas e isso foi possibilitou destinar as áreas de pastagens, utilizadas para a manutenção dos animais, ao cultivo de grãos, que eram mais rentáveis. Além disso, com a adoção destas novas tecnologias, ampliou-se o processo de especialização e simplificação dos sistemas de produção agrícola (EHLERS, 1996).

Nas primeiras décadas do século XX, com os avanços dos conhecimentos em genética e da prática de hibridização, empresas iniciaram a seleção de cultivares de plantas e, assim, passaram a ter maior controle sobre as novas cultivares e os ganhos de produtividade. Estas novas cultivares eram selecionadas em integração com o uso de fertilizantes minerais industriais e a motomecanização, sendo denominadas de variedades de alto rendimento ou de alta resposta, pois eram selecionadas para responder ao uso intensivo desses insumos industriais e adaptadas para serem compatíveis com o uso da motomecanização. Um pouco mais tarde, o uso dos agrotóxicos passou a fazer partes dos insumos industriais utilizados na seleção de plantas. Esses compostos foram desenvolvidos durante as duas Grandes Guerras Mundiais como armas químicas e depois foram adaptadas para o uso em campanhas de saúde pública ou utilizados como agrotóxicos na agricultura, inicialmente como inseticidas. (EHLERS, 1996).

O período entre as duas Grandes Guerras Mundiais foi de grandes avanços técnicos-científicos. Também, nos Estados Unidos e Europa, a ciência agrônômica progredia, intensificando as transformações e aprimoramentos das tecnologias industriais que estavam sendo empregadas à agricultura. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, existe um grande parque industrial de guerra ocioso que rapidamente foi direcionado para a produção de insumos químicos (fertilizantes e agrotóxicos) e máquinas agrícolas. Nesse contexto, houve um aumento expressivo na capacidade de produção destas novas tecnologias industriais. Desta

forma, consolidavam-se os componentes de um novo modelo de agricultura, caracterizado pelo uso intensivo de energias não renováveis e de insumos industriais. Este período é denominado como o de industrialização ou modernização da agricultura e gerou profundas transformações nos sistemas de produção agrícola e no meio rural (EHLERS, 1996).

Este novo paradigma de agricultura, constituído na Europa e nos Estados Unidos, teve como principais elementos a utilização de cultivares geneticamente selecionadas, o emprego da motomecanização, da irrigação e o uso intensivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Esta profunda transformação que ocorreu na agricultura ficou conhecida como “Revolução Verde” e o seu conjunto de tecnologias como um “pacote tecnológico” (ALMEIDA, 2004 e 2009; CAPORAL; COSTABEBER, 2004; EHLERS, 1996). A “Revolução Verde” estava voltada a produção vegetal, mas seus princípios também transformaram os sistemas de produção animal (EHLERS, 1996). No entanto, estes não serão tratados neste trabalho.

O pacote tecnológico da Revolução Verde foi difundido nas décadas de 50 e 60 nos países “desenvolvidos” e, a partir do final década de 60 e na de 70, nos países “em desenvolvimento”. (ALMEIDA, 2009). A difusão para os países em desenvolvimento contou com o interesse e a parceria de órgãos governamentais de estado e baseou-se no modelo concebido nos Estados Unidos, estabelecendo-se uma estrutura local de ensino, pesquisa e extensão na área das ciências agrárias, com a formação de pesquisadores e extensionista orientados à difusão da agricultura industrial. Atrelado a isso, eram disponibilizados grandes montantes de recursos públicos para adoção do pacote tecnológica na agricultura através de crédito rural subsidiado. Além disso, esta difusão contou com a atuação da Fundação Rockefeller, Fundação Ford, Aliança para o Progresso, e entre outras, bem como organismos internacionais, o Banco Mundial, Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), *United States Agency for International Development* (USAID) e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento da Agricultura e Alimentação (FAO) (EHLERS, 1996; CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

Este modelo de agricultura tinha como objetivo o aumento da produção e da produtividade dos cultivos e criações com base nos avanços técnico-científicos da época. Sua visão de desenvolvimento estava fundamentada na ideologia de progresso, considerando o crescimento econômico ilimitado e a existência de recursos naturais inesgotáveis. Além disso, esta concepção de desenvolvimento tinha como interesse promover o avanço urbano e industrial, com o meio rural exercendo a função de fornecedor de matéria-prima e mão de obra barata para a indústria, bem como consumidor dos serviços e produtos industrializados, além

de contribuir para o superavit da balança comercial através das exportações (ALMEIDA, 2009; CAPORAL e COSTABEBER, 2004).

### 3.3 OS IMPACTOS NEGATIVOS DO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA AGRICULTURA E A CONCEPÇÃO DAS IDEIAS DE DESENVOLVIMENTO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Um dos grandes argumentos para a difusão deste modelo de agricultura foi o de acabar com a fome no mundo, através do aumento da produção e da produtividade agrícola. Deve-se considerar que as mudanças ocorridas no padrão técnico-produtivo da agricultura industrial trouxeram ganhos de produtividade para diversos cultivos e criações. Porém, este novo modelo de agricultura demonstrou-se energeticamente insustentável e acarretou em graves problemas sociais e ambientais (EHLERS, 1996).

Um marco histórico da crítica à este modelo de desenvolvimento é livro de Rachel Carson, publicado em 1962, intitulado *Silent Spring* (Primavera Silenciosa). Nele a autora denuncia a indústria química e o uso indiscriminado de agrotóxicos e demonstrou os efeitos prejudiciais que as substâncias químicas sintéticas estavam causando ao meio ambiente e à saúde do ser humano. Apontou como o uso abusivo de agrotóxicos estava causando danos a biodiversidade, como a morte de animais, contaminação dos solos e das águas e acumulação de substâncias tóxicas ao longo da cadeia trófica. Este livro teve grande repercussão internacional e é considerado um dos grandes propulsores do movimento ambientalista em todo mundo.

Já o Evento que ficou marcado como o divisor de águas no debate e na crítica internacional em relação ao modelo de desenvolvimento em expansão foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972 em Estocolmo. Nesse evento reconheceu-se os impactos negativos ao meio ambiente que estavam sendo causado por tal modelo, como a utilização arbitrária de substâncias tóxicas e a contaminação e degradação acelerada dos recursos naturais (ar, água, terra, biodiversidade e ecossistemas naturais). É considerado como o primeiro evento em nível mundial, com a participação de importantes chefes de estado, que teve o tema do meio ambiente como pauta central.

No Brasil, um dos principais ícones dos primórdios do movimento ambientalista foi o Engenheiro Agrônomo José Antônio Lutzenberger, tendo, também, grande impacto e visibilidade em nível internacional. Em 1976, ele lançou o livro intitulado “Fim do Futuro? Manifesto Ecológico Brasileiro”, considerado o primeiro documento a sistematizar os problemas ambientais brasileiros. A partir de uma visão ecológica, apontou caminhos para a



preservação do meio ambiente e dos recursos naturais. Além de Lutzenberg, na esfera acadêmica brasileira, é importante mencionar pesquisadores que desenvolveram trabalhos que demonstraram os impactos ambientais causados pela agricultura industrial, como Adilson Paschoal (ESALQ), Ana Maria Primavesi (UFSM) e Luis Carlos Pinheiro Machado (UFRGS) (EHELERS, 1996).

No transcorrer das décadas de 1970 e 80, foram realizados outros eventos em nível mundial para discutir questões relacionadas ao meio ambiente e ao desenvolvimento, consolidando a relevância da temática para os rumos das civilizações humanas. Neste contexto, em 1987, é divulgado um documento elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas, que ficou conhecido como Relatório de Brundtland – Nosso Futuro Comum. Nele, consolidou-se o reconhecimento dos impactos negativos da atuação humana e do modelo de desenvolvimento em andamento, evidenciado a necessidade de apontar novos rumos para a humanidade.

Ademais, o relatório ficou marcado por trazer uma definição amplamente aceita para o termo desenvolvimento sustentável, que foi definido como sendo: “o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”. Em relação aos solos, o relatório apontou inúmeros problemas inerentes à sua degradação devido ao mau uso e/ou ao uso excessivo, tendo como consequências a erosão acentuada, processos de acidificação e desertificação avançados, bem como o uso indiscriminado de produtos químicos, fertilizantes e substâncias contaminantes (COMISIÓN MUNDIAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO, 1987).

Na década de 1980, em meio a esta efervescência e com base em diversos estudos científicos que vinham sendo realizados desde os anos 60, consolida-se a crítica a este modelo de desenvolvimento no Brasil e no mundo. No meio rural brasileiro, seus impactos negativos eram detectados em múltiplos aspectos, sociais, ambientais e econômicos. Ocorreu o aumento da concentração de terras e da renda no meio rural, aceleração da degradação dos recursos naturais (solo, água e ar), redução e perda de biodiversidade, contaminação dos alimentos, entre outros problemas. Houve, ainda, drástica redução do preço real dos produtos agrícolas e aumentos dos custos de produção, levando ao endividamento de muitos agricultores, principalmente os que possuíam menor escala de produção e eram menos capitalizados. Esta conjuntura, contribuiu para o empobrecimento das pessoas do meio rural e para o aumento do êxodo rural (EHLERS, 1996; ALMEIDA, 2004; CAPORAL, 2006).

Em contraposição à agricultura industrial e seus impactos negativos, a partir da década

de 1970 e ao longo da década de 1980, emergem no Brasil diversos grupos ligados às entidades de extensão, às universidades, à sociedade civil organizada, às igrejas e às organizações representativas dos agricultores, que passaram a discutir e construir o que se chamou-se na época de “agricultura alternativa”. Este movimento procurou de forma intensa e articulada a construção de caminhos alternativos à crise instaurada, buscando opções ao uso intensivo de insumos industriais da chamada “agricultura convencional” (CAPORAL; RAMOS, 2006; EHLERS, 1996).

Nos Estados Unidos, na década de 1980, com a ampliação da compreensão que muitas fontes de recursos naturais eram finitas, intensificou-se as repercussões na opinião pública e houve um maior engajamento de alguns pesquisadores para estudar a temática. Com isso, ocorreu o direcionamento da atenção governamental, sendo disponibilizado recursos para a realização de pesquisas com o objetivo de entender melhor, com base em fundamentações científicas, o funcionamento dos sistemas de produção agrícola alternativos. Neste cenário, destacam-se as pesquisas em torno do conceito de Agroecologia<sup>3</sup>, tendo como um dos seus principais expoentes, o pesquisador Miguel Altieri. O pesquisador já apontava que os problemas apresentados pela agricultura convencional não eram meramente tecnológicos, sendo primordial considerar os aspectos sociais, ambientais e econômicos para entender as questões à sua sustentabilidade (EHLERS, 1996). Conforme Altieri (1995), a Agroecologia pode ser compreendida como uma ciência que apresenta princípios, conceitos e metodologias para estudar, analisar, dirigir, desenhar e avaliar os agroecossistemas com o propósito de permitir a implantação e o desenvolvimento de estilos de agricultura com maiores níveis de sustentabilidade no curto, médio e longo prazos.

Outro pesquisador importante na área da Agroecologia, Stephen Gliessman, pontuou alguns elementos importantes para a constituição de uma agricultura sustentável: a) esta deveria ter uma baixa dependência de insumos comerciais; b) utilizar os recursos naturais renováveis que sejam acessíveis próximos do local de produção; c) utilizar os impactos benéficos do meio ambiente local; d) aceitar e/ou tolerar as condições locais, ao invés necessitar alterar ou controlar o meio ambiente; e) manter a longo prazo a capacidade produtiva; f) preservar a diversidade biológica e cultural; g) utilizar o conhecimento e a cultura da população local; e h)

---

<sup>3</sup> Atualmente, a Associação Brasileira de Agroecologia define a Agroecologia como “como ciência, movimento político e prática social, portadora de um enfoque científico, teórico, prático e metodológico que articula diferentes áreas do conhecimento de forma transdisciplinar e sistêmica, orientada a desenvolver sistemas agroalimentares sustentáveis em todas as suas dimensões” (ABA, 2022). Destaca-se a mudança do foco no agroecossistema para os sistemas agroalimentares.

produzir mercadorias para o consumo interno e para a exportação (GLIESSMAN, 1990).

Nesse cenário, o final da década de 80 e o início dos anos 90, o termo desenvolvimento sustentável passou a ser incorporados até mesmo por setor antes críticos e avessos a questão ambiental. Incluir o sustentável nas coisas tornou-se a solução para as controvérsias entre o desenvolvimento e o ambiente. As discussões sobre os rumos da agricultura não ficaram de fora disso, passando a sustentabilidade a integrar os debates sobre o futuro da agricultura. Em abril de 1991, a FAO, no documento intitulado “Declaração de Den Bosh”, traz os conceitos de “agricultura e desenvolvimento rural sustentável”, como:

O manejo e a conservação da base de recursos naturais, e a orientação da mudança tecnológica e institucional, de maneira a assegurar a obtenção e a satisfação contínua das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras. Tal desenvolvimento sustentável (na agricultura, na exploração florestal, na pesca) resulta na conservação do solo, da água e dos recursos genéticos animais e vegetais, além de não degradar o ambiente, e ser tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável (FAO, 1991 *apud* EHLERS, 1996, p. 115).

Desde o Relatório de Brundtland, inúmeras conceitualizações e estabelecimento de práticas foram criadas para tentar definir o que seria o tal desenvolvimento sustentável e a agricultura sustentável. Não houve consenso entre as definições propostas e muito menos nos aspectos práticos e operacionais. Esses eram bastante amplos e genéricos, abrangendo diferentes compreensões que, em muitos casos, eram antagônicas. Isso, de alguma forma fez com que houvesse maior aceitação por diferentes grupos e setores da sociedade. O que ao mesmo tempo os tornavam contraditórias e vulneráveis. Mas ficou evidente que estava acontecendo uma mudança na visão de desenvolvimento e de agricultura e que estava clara a necessidade urgente de seus rumos serem repensados. Em relação às práticas na agricultura, pode-se identificar alguns nortes em comum, como a redução no uso de agrotóxicos e de fertilizantes solúveis, o controle da erosão dos solos, a rotação de culturas, a integração entre a criação de animais e a produção vegetal e a busca de novas fontes de energia (EHLERS, 1996).

### **3.3.1 O aumento da produção de alimentos e a erradicação da fome no mundo**

Um dos principais argumentos para a difusão do modelo de agricultura industrial no mundo e, especialmente, para os países em desenvolvimento, foi a promessa de aumentar a produção e produtividade agrícola e, dessa forma, seria possível acabar com a fome no mundo. Entretanto, por inúmeros motivos, isso não aconteceu. Um deles, foi que este processo priorizou

e adequou-se às grandes propriedades agrícolas, capitalizadas, especializadas em monocultivos e voltadas a exportação. Isso acabou excluindo grande parte da diversidade dos pequenos agricultores (ALTIERI, 2004).

Segundo Lappe (1998), as principais causas que geram a fome são a pobreza, as desigualdades sociais e a falta de acesso aos alimentos e à terra. As pessoas são tão pobres que não possuem recursos para comprar os alimentos disponíveis ou não possuem terras ou meios suficientes para produzi-los (LAPPE *et al.*, 1998). A maioria dos agricultores situados nos países em desenvolvimento não tiveram condições de acessar o pacote tecnológico da Revolução Verde, visto que este era muito caro e inacessível aos agricultores menos capitalizados. E é exatamente esta população rural pobre presente nos países em desenvolvimento a mais atingida pela fome (ABRAMOVAY, 1996). Por esta razão, qualquer modelo de agricultura arquitetado com foco somente no aumento da produção de alimentos e que acentue as desigualdades sociais não será eficiente na resolução da problemática relacionada à fome. Somente com o desenvolvimento de tecnologias que impactem na distribuição de riquezas para as populações mais necessitadas que será possível reduzir a fome no mundo (ALTIERI *et al.*, 1998; UPHOFF e ALTIERI, 1999).

Atualmente, está mais do que demonstrado que a atividade humana no planeta está degradando de forma muito acelerada os “recursos naturais”. Em consonância com essa conjuntura, uma das prioridades dos esforços enquanto humanidade deve ser o de erradicar a fome no mundo, a partir de formas de agricultura que sejam verdadeiramente sustentáveis nos âmbitos social, ambiental e econômicos. Porém, com todos os eventos, documentos e retóricas gerados nos últimos 60 anos, nos “resta saber até que ponto se trata de um processo de mudanças significativas ou se, ironicamente, o que prevalecerá dessa discussão é o interesse em sustentar os atuais padrões produtivos da agricultura convencional” (EHLERS, 1996, p. 125).

O Brasil é um exemplo emblemático das contradições inerentes ao modelo de agricultura industrial. O país é reconhecido mundialmente como um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo. Para materializar estas contradições, conforme dados divulgados pela EMBRAPA sobre a produção mundial, em 2021, o Brasil foi o 4º maior produtor de grãos (arroz, cevada, milho, soja e trigo) e o 2º maior exportador, além de ser o 3º maior produtor de carnes do mundo (bovina, frango, suína) e o 2º maior exportador (ARAGÃO E CONTINI, 2022). Neste mesmo ano o consumo de fertilizantes no país atingiu sua maior marca, que foi de 45.855.071 toneladas (ANDA, 2021), 212% maior do que a quantidade consumida no ano de 1998 (BRASIL, 2021). Na atualidade, do total de fertilizantes utilizados no país, mais de 80% são importados (BRASIL, 2020), o que gera uma preocupação em relação

a dependência e a insustentabilidade do modelo de produção agrícola nacional.

Em contraste aos dados de produção e exportação do setor de produção agrícola brasileiro, no mesmo ano, em 2021, o país teve 33,1 milhões de pessoas (15,5% da população) em situação de insegurança alimentar grave, tendo que conviver cotidianamente com a fome. Além disso, 125,2 milhões de pessoas (58,7% da população) encontravam-se com algum grau de insegurança alimentar (REDE PENSSAN, 2022).

Diante do exposto, em 2021, o Brasil bateu recordes de produção e exportação de alimentos, como também atingiu sua maior marca de uso de fertilizantes (uma das tecnologias do pacote da Revolução Verde) em quantidade em toneladas em um único ano. Ao mesmo tempo, o país bateu recordes de quantidade de pessoas em situação de insegurança alimentar. Esses dados demonstram claramente que o aumento da produção e da disponibilidade de alimentos e do uso de fertilizantes não são suficientes para a erradicação da fome, havendo nesta problemática outros aspectos mais complexos que devem ser analisados. Porém, esse aprofundamento não será realizado neste trabalho.

### 3.4 RESERVAS DE FONTES DE NUTRIENTES NPK E O USO DE ADUBOS

Um dos aspectos importantes para a sustentabilidade e a manutenção da produtividade das atividades agropecuárias é a adubação dos solos. Alguns dos principais nutrientes utilizados na agricultura são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Em sua maioria, os fertilizantes nitrogenados são sintetizados e têm como principal base a amônia ( $\text{NH}_3$ ). Cerca de 75-80% da amônia é produzida utilizando como matéria-prima o gás natural. O consumo anual de gás natural para a produção de amônia representa cerca de 5% do total mundial. Considerando o atual processo de produção dos fertilizantes nitrogenados, a avaliação das reservas de nitrogênio é convertida em reservas de gás natural. Dados da *Energy Information Administration* (EIA, 2008) apontam que o consumo mundial anual de gás natural é 3,2 trilhões de  $\text{m}^3$  e as reservas existentes são 175 trilhões de  $\text{m}^3$ , resultando em uma vida útil de 55 anos. Rússia, Irã e Qatar detêm 57% das reservas mundiais de gás natural (FIXEN, 2009).

A principal matéria-prima para a produção de fertilizantes fosfatados são as rochas fosfáticas, que podem ser de origem ígnea ou sedimentar. Atualmente, cerca de 80% das rochas fosfáticas utilizadas para a produção de fertilizantes são de origem sedimentar, pois os produtos a partir de rochas ígneas apresentam maiores custos de produção pela necessidade de moagem fina, visando aumentar o poder reativo do fósforo. De acordo com Fixen (2009), com base nos dados e na forma de classificação do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), as

reservas de rochas fosfáticas são divididas em dois grupos: Reservas, que é a parte da Base de Reservas que pode ser explorada economicamente no momento da avaliação; e a Base de Reservas, que é composta pela parte economicamente explorável (Reservas), a marginalmente econômica e a parte cuja exploração é economicamente inviável, atualmente. Levantamentos realizadas pelo USGS estimam as reservas de rocha fosfática no mundo em 93 anos e a base de reservas em 291 anos. Cabe salientar que a viabilidade econômica de exploração das fontes de fósforo varia de acordo com as condições de mercado (FIXEN, 2009).

O potássio é extraído de uma diversidade de minerais e as fontes economicamente exploráveis estão localizadas em camadas sedimentares de sal, originárias de antigos mares interiores (depósito evaporativo) ou em lagos de sal e salmouras naturais. As reservas mundiais de potássio são estimadas em 235 anos para as reservas e em 500 anos para a base de reservas (USGS, 2009). Os países que possuem maior quantidade de reservas de potássio são Canadá, Rússia, Bielorrússia e Alemanha, que detém juntos 85% de toda base de reservas mundiais.

Pode-se fazer uma analogia, onde considera-se que a agricultura é uma vovó de 100 anos (origem a 10.000 anos) e que a vida dela depende totalmente da Base de Reservas de N, P e K. Levando em consideração os anos que se teria gás natural para sintetizar o nitrogênio, se sua vida dependesse do nitrogênio sintético, a vovó agricultura teria mais 0,55 ano de vida, se dependesse do fósforo teria 2,91 anos de vida e em relação ao potássio teria 5 anos de vida. A partir desses dados, fica evidente que um modelo de agricultura que dependa de adubos originados dessas fontes de nutrientes é insustentável.

Já nos anos 70, nos Estados Unidos, estudos avaliaram o balanço energético dos sistemas de produção agrícola industriais. Demonstrou-se que estes sistemas possuíam balanço energético ineficientes, pois dependiam de grande quantidade de energia externa para a produção agrícola e que boa parte desta era oriunda de recursos não renováveis, como por exemplo a utilização de combustíveis fósseis e fertilizantes fosfatados (PIMENTEL, 1973). É de fácil percepção que as reservas naturais das matérias primas utilizadas para a produção de adubos industriais formulados a base de NPK são fontes finitas. Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que contribuam para a nutrição equilibrada das plantas e proporcionem índices satisfatórios de produtividade, havendo o uso racional das reservas de nutrientes associado e, principalmente, a adoção de outras práticas de manejo sustentável do solo.

Conforme a FAO (2019), a utilização de adubos (orgânicos ou inorgânicos) tem relação direta com o aumento da produção de alimentos no mundo e contribui para sustentar a população mundial. Mas como foi mencionado no item anterior, existem outros fatores que

determinam o acesso aos alimentos pela população. Ainda, a entidade coloca que o uso de adubos exerce papel importante no aumento da produção agrícola e na consequente redução da destinação de novas áreas de ecossistemas nativos para as atividades agrícolas (FAO, 2019).

Porém, o uso de adubos envolve dois problemas em contextos antagônicos: em determinadas realidades, os problemas são gerados pelo uso excessivo de adubos e em outros casos pela subutilização. O uso excessivo e inadequado de adubos pode acarretar na lixiviação de nutrientes para águas subterrâneas. Também, podem ser levados através do escoamento superficial ou pela erosão do solo para os cursos de água superficiais, especialmente nitrogênio e fósforo, causando eutrofização e deterioração dos qualidade da água, o que é prejudicial para saúde humana e a biodiversidade. Além do mais, o “excesso de nutrientes também pode ser liberado dos solos para a atmosfera através da volatilização da amônia ou como emissões de gases de efeito estufa como óxido nitroso”. O uso excessivo de adubos aumenta os custos de produção e pode diminuir a produtividade. Em situações de solos pobres e o não uso ou uso ineficiente de adubos, identifica-se baixos rendimentos devido a baixa fertilidade dos solos (FAO, 2019).

Como será abordado nos próximos dois itens, o uso racional de adubos deve estar inserido numa perspectiva sistêmica da fertilidade e dentro da adoção de múltiplas ações, como a proposta elaborada pela FAO da necessidade de realização da gestão sustentável do solo. Somente assim será possível potencializar os serviços ecossistêmicos, minimizar os efeitos de poluição do solo e da água, minimizar as emissões de gases de efeito estufa e os mecanismos de perda de solo e nutrientes. Dessa forma, é possível alcançar índices adequados de produtividade a partir da adoção de práticas de manejo sustentáveis.

### 3.5 FERTILIDADE DO SOLO E DO SISTEMA

A visão predominante no estudo da fertilidade do solo ainda está muito baseada no componente químico e focada na disponibilidade de nutrientes no solo. Percebe-se isso no conceito apresentado por Bissani *et al.* (2004), onde o autor inicia dizendo que “um solo fértil é aquele que tem a capacidade de suprir às plantas nutrientes essenciais nas quantidades e proporções adequadas para o seu desenvolvimento, visando obter altas produtividades”. Na continuidade da sua conceitualização, apresenta um exemplo onde “um solo com condições desfavoráveis ao crescimento radicular pode ser pouco produtivo, mesmo sendo fértil”. Mas se as condições do solo são desfavoráveis para o crescimento radicular, estrutura principal de

absorção dos nutrientes, esse não é um problema relacionado a fertilidade do solo? Então, como esse solo é considerado fértil, dito no trecho “mesmo sendo fértil”?

Fica evidente que o sentido do conceito apresentado está reduzido ao entendimento que um solo fértil é aquele que possui nutrientes disponíveis. Assim, dá a entender que quando se fala em fertilidade do solo, se está falando em nutrientes. Pensa-se em nutrientes, logo se pensa em adubos, orgânicos ou inorgânicos. Está é uma visão simplista e que exclui inúmeras outras características e outros processos relacionados ao solo, os quais influenciam no adequado desenvolvimento das plantas e no seu equilíbrio nutricional, mas não necessariamente estão relacionados especificamente aos nutrientes e ao aporte adubos no solo.

No documento da FAO, O Código Internacional de Conduta para o Uso e Manejo Sustentável de Fertilizantes, a fertilidade do solo é definida como “a capacidade de um solo de sustentar o crescimento das plantas ao proporcionar nutrientes essenciais e oferecer características químicas, físicas e biológicas favoráveis como habitat para o crescimento vegetal” (FAO, 2019). Esta definição já está mais abrangente, abrindo a visão para outros componentes da fertilidade do solo, relacionados as características físicas e biológicas, apesar de não os aprofundar. O que o faz com o aspecto químico, ao dizer que a fertilidade do solo é a sua capacidade de proporcionar nutrientes às plantas, claramente direcionando o olhar para esta característica.

O termo “fértil” pode ser definido como o “que tem muita capacidade produtiva; que tem capacidade de desenvolver, criar algo novo; que se consegue reproduzir” (FÉRTIL, 2020). Conforme Khatounian (2001), o olhar restrito na parte química da fertilidade do solo é bastante frágil. Por exemplo, quando encontramos solos que possuem condições químicas favoráveis ao desenvolvimento das plantas e estes apresentam baixas produtividades devido à problemas físicos, hídricos, sanitários ou outros.

O autor desenvolve a compreensão de que fertilidade é “a capacidade de um ecossistema gerar vida de forma sustentável, medida usualmente em termos de produção de biomassa” e, assim, “deixa de ser um atributo apenas do solo, passando para a esfera do ecossistema”. Com isso, ele conclui que “a fertilidade não está no solo, nem nas plantas, nem nos animais, mas no seu conjunto dinâmico, integrado e harmônico, que se reflete em boas propriedades no solo, boa produção vegetal e boa produção animal”, assim o autor elabora o conceito de fertilidade do sistema (KHATOUNIAN, 2001).

A disciplinaridade, a separação da pesquisa em áreas temáticas muito específicas, é uma forma limitada e insuficiente para entender os processos complexos que ocorrem nos sistemas de produção agrícola. A abordagem sistêmica propõe uma visão holística e interdisciplinar para



pesquisar fenômenos, entendendo que o funcionamento das áreas específicas, as leis de funcionamento das partes, se modificam quando na interação com outros componentes do sistema, gerando outros níveis de organização (ANGHINONI, 2013). Deste modo, a partir de uma abordagem interdisciplinar e sistêmica, a fertilidade passa a ser compreendida e dependente da interação dos diferentes componentes do agroecossistema e é determinado por alguns fatores: luz, água, calor, ar e nutrientes minerais. A partir disso, as práticas para melhorar a fertilidade na agricultura não ficam limitadas a aplicação de adubos ou do controle da erosão, mas sim buscam desenvolver uma estratégia que integre o manejo do solo, dos cultivos e das criações (KHATOUNIAN, 2001).

Dentro de uma mesma perspectiva de entender a fertilidade, mas com um olhar para o solo, Anghinoni e Vezzani (2021) apresentam o conceito de “fertilidade sistêmica do solo” que “resulta das múltiplas relações entre os componentes de um sistema complexo gerado pelo fluxo contínuo de energia e matéria, capaz, de proporcionar o bom funcionamento do solo, revelado na disponibilidade e estoque de nutrientes, nos fluxos e gases, água e solutos e diversidade e atividade biológica”.

### 3.6 A ATUAÇÃO RECENTE DA ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A PROMOÇÃO DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DO SOLO

Segundo Conti e Furlan (2019), o processo de formação de 2,5 cm de solo pode levar de cem a dois mil anos, podendo levar mais tempo para alguns tipos de solo. Por demorar muito tempo pra sua formação, o solo é considerado um recurso natural não renovável. As funções exercidas pelos solos são essências para os seres vivos da Terra, através da geração de inúmeros produtos e serviços ecossistêmicos, bem como atender às necessidades relacionadas ao bem-estar humano. Algumas das funções e serviços do solo são: armazenar grande quantidade de carbono; produzir biomassa, alimentos, fibras e combustíveis; tem função importante na qualidade e disponibilidade de água; no armazenamento, na filtragem e na transformação de nutrientes e substâncias e possui alta quantidade de biodiversidade (fauna, flora e microrganismos) (FAO, 2015).

Com o intuito de chamar a atenção da população mundial sobre a necessidade de avaliar as ações praticadas pela humanidade em relação ao uso dos solos e sua grande importância para a sustentabilidade e o meio ambiente, a Organização das Nações Unidas (ONU) decretou o ano de 2015 como o Ano Internacional do Solo. Nesse mesmo ano, a Organização publicou um documento fundamentado em inúmeros estudos científicos elaborados por cerca de 200

pesquisadores de 60 países intitulado *Status of the World's Soil Resources*, o Estado Mundial do Recurso Solo (FAO, 2015b). Realizou-se, também, a revisão da Carta Mundial do Solo (FAO, 2015), que teve sua primeira publicação em 1981. Em sintonia com essas ações, outros dois importantes documentos foram publicados posteriormente: “Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos” (FAO, 2017) e “O Código Internacional de Conduta para o Uso e Manejo Sustentável de Fertilizantes” (FAO, 2019).

Todos esses documentos são consensuais em apontar que, devido as atividades humanas, o cenário atual de degradação dos solos em nível mundial é extremamente preocupante e coloca em risco a manutenção da vida humana e dos demais seres no planeta Terra. Com o aumento da população, as sociedades humanas irão precisar cada vez mais dos produtos e serviços do solo, aumentando a pressão sobre ele (FAO, 2015). Os impactos negativos das atividades humanas sobre o solo atingiram níveis críticos, destacando a contribuição na alteração da composição dos gases do efeito estufa, através da alteração nos ciclos do carbono e do nitrogênio no solo, influências nas mudanças climáticas e a perda de biodiversidade. Conforme o documento Estado Mundial do Recurso Solo, atualmente, cerca de 33% dos solos estão de moderado a altamente degradados devido a erosão hídrica e eólica, perda de carbono orgânico, desequilíbrio de nutrientes, salinização, contaminação, acidificação, perda de biodiversidade, impermeabilização, compactação e encharcamento (FAO, 2015b).

Assim, a FAO propõe a realização da gestão sustentável do solo<sup>4</sup>, sendo uma ação primordial para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável, bem como uma ferramenta importante na manutenção e melhoria dos seus produtos e serviços ecossistêmicos. A adoção de uma gestão sustentável do solo busca contribuir para a regulação do clima, disponibilidade de água, preservação da biodiversidade, produção de alimentos, visando a segurança alimentar

---

<sup>4</sup> Definição elaborada conforme os 3 princípios da Carta Mundial do Solo revista: “A gestão dos solos é sustentável quando se mantêm ou melhoram os serviços de suporte, de provisão, de regulação e culturais que os solos proporcionam, sem comprometer significativamente as funções do solo que tornam possíveis esses mesmos serviços ou a biodiversidade. É de particular preocupação assegurar a compatibilização entre os serviços de suporte e de provisão para a produção vegetal e os serviços de regulação que os solos asseguram quanto à qualidade da água, às disponibilidades hídricas e à concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera. Os tipos de serviços dos ecossistemas e das funções do solo referenciados na definição, podem ser explicitados da seguinte forma:

- Os serviços de suporte envolvem a produção primária, o ciclo de nutrientes e a formação do solo;
- Os serviços de provisão incluem o fornecimento de alimentos, fibras, materiais combustíveis, madeira e água; matéria-prima (material para construção, cerâmica); estabilidade de superfícies, habitats e recursos genéticos;
- Os serviços de regulação implicam o controle do abastecimento e da qualidade da água, da fixação de carbono, da regulação do clima, do controle de inundações e da erosão; e
- Os serviços culturais revelam os valores estéticos e culturais que decorrem do uso dos solos” (FAO, 2017).

e a erradicação da pobreza. Para o sucesso da gestão do solo é fundamental mitigar os fatores de degradação (FAO, 2015) (adaptado pelo autor):

1. Minimizar as taxas de erosão do solo hídrica e eólica;
2. Manter o solo bem estruturado (ausência de compactação) que proporcione um meio físico estável para a circulação do ar, água e calor, bem como para a expansão das raízes;
3. Ter a presença de cobertura vegetal (plantas, resíduos de plantas, etc.) em quantidade suficiente para a proteção do solo;
4. Manter a quantidade de matéria orgânica no solo estável ou crescente e, se possível, próxima do nível ótimo para cada ambiente local;
5. Ter disponibilidade e fluxos de elementos nutritivos de forma adequada à manutenção ou à melhoria da fertilidade do solo e à sua produtividade, bem como reduzir as suas perdas para o ambiente;
6. Minimizar a salinização, sodização e alcalinização do solo;
7. Proporcionar condições para a infiltração e retenção da água (da precipitação e de fontes complementares, como por exemplo, a irrigação) de modo a responder às necessidades das plantas, bem como assegurar a drenagem do excedente;
8. Ter a concentração de contaminantes (aqueles suscetíveis de causar danos às plantas, animais, humanos e ao ambiente) em níveis inferiores à toxicidade;
9. Ter alta biodiversidade e garantir as funções biológicas do solo;
10. Gerir o solo através do uso otimizado e seguro dos fatores de produção para a produção de alimentos, forragens, materiais combustíveis, madeiras e fibras; e
11. Reduzir ao mínimo a impermeabilização do solo, através de uma planificação responsável do uso das terras.

Além disso, no mesmo documento são recomendadas a adoção de 8 práticas agrícolas:

- 1- Minimizar o revolvimento do solo evitando o preparo mecânico, visando manter a matéria orgânica, estruturação e funções gerais do solo;
- 2- Aumentar e manter uma cobertura orgânica protetora na superfície do solo, através da utilização de plantas de cobertura e resíduos culturais, o que protege a superfície do solo, aumenta a capacidade de armazenagem de água e nutrientes e promove a atividade biológica do solo;
- 3- Cultivar grande diversidade de espécies (árvores, arbustos, pastagens e grãos), tanto anuais como perenes, em associação, sucessão e rotação, com o objetivo melhorar a nutrição dos

- cultivos e melhorar a resiliência do sistema;
- 4- Utilizar espécies e variedades bem adaptadas para resistir aos estresses bióticos e abióticos e que possuam boa qualidade nutricional, cultivando-as de forma e em épocas adequadas;
  - 5- Melhorar a nutrição dos cultivos e a função do solo por meio de rotações de culturas e uso criterioso de fertilizantes orgânicos e inorgânicos;
  - 6- Realizar o manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas usando práticas apropriadas, biodiversidade e agrotóxicos seletivos e de baixo risco, quando necessário;
  - 7- Gerenciar de forma eficiente o uso da água;
  - 8- Controlar tráfego de máquinas no campo para evitar a compactação do solo.

### 3.7 A VITIVINICULTURA BRASILEIRA

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo, estando atrás apenas da China e da Índia (REINHARDT, 2021). Na fruticultura brasileira, a produção de uva tem grande relevância, sendo a terceira maior em valor de produção, ficando atrás apenas da produção de laranja e banana (IBGE, 2020). É importante destacar, que uma parcela considerável da uva produzida destina-se à industrialização na elaboração de vinhos, sucos, espumantes e derivados, agregando altos valores aos produtos ao longo da cadeia produtiva.

Nesse cenário, o estado do Rio Grande do Sul (RS) é responsável por mais de 90% da produção de vinhos e sucos, e de 85% dos espumantes do país, representando parcela altamente significativa do setor (MELLO; MACHADO, 2021). Além do mais, o estado é o maior produtor da fruta: na safra 2019/2020 foram produzidas 735.356 toneladas da fruta, representando 51,9% da produção nacional, em uma área de 46.774 hectares, o que significa 62,5% da área total cultivada com a cultura no Brasil (MELLO; MACHADO, 2021).

Conforme o último Cadastro Vitícola do RS que foi divulgado de forma detalhada, realizado em 2015, na microrregião de Caxias do Sul, composta por 19 municípios, é onde está concentrada a produção de uva (IBGE, 2017) e encontram-se 79,68% das propriedades vitícolas do Estado, correspondendo a 11.488 propriedades, nas quais são cultivadas 80,09% da área de videiras em 32.305,98 ha<sup>-1</sup>. Os cinco municípios que possuem as maiores áreas cultivadas com a cultura são, respectivamente, Flores da Cunha, com 4.988 ha<sup>-1</sup> em 1.479 propriedades; Bento Gonçalves, com 4.347 ha<sup>-1</sup> em 1.296 propriedades; Caxias do Sul, com 3.954 ha<sup>-1</sup> em 1.611 propriedades; Farroupilha, com 3.542 ha<sup>-1</sup> em 1.279 propriedades; e Garibaldi, com 2.395,15 ha<sup>-1</sup> em 828 propriedades.

A principal região produtora do RS está localizada na região conhecida como “Serra Gaúcha”, que se caracteriza pelo predomínio de estabelecimentos rurais típicos de agricultura familiar, nas quais a cadeia produtiva da uva tem papel social de extrema relevância na geração de renda e empregos. Os estabelecimentos rurais viticultores desta região possuem área média de 13,83 ha<sup>-1</sup> e área média cultivada com videiras de 2,81 ha<sup>-1</sup>. A uva produzida é destinada, em sua grande maioria, para a industrialização, sendo elaborados sucos, vinhos, espumantes e derivados (MELLO; MACHADO, 2017).

### 3.8 A NUTRIÇÃO DE VIDEIRAS NA “SERRA GAÚCHA”

Apesar da liderança e tradição na produção de uvas no RS, um dos principais desafios para o cultivo da videira é a necessidade de aprimorar parâmetros para a realização da calagem e da adubação dessa frutífera, visando realizar a adequada nutrição das plantas para a obtenção de bons níveis de produtividade e frutos de boa qualidade. A principal referência para o estabelecimento da adequada nutrição das videiras é o Manual de Calagem e Adubação para os estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). Apesar de amplamente utilizado, é bastante genérico e não possui informações suficientes, não atendendo à diversidade de características edafoclimáticas e de comportamento das diferentes cultivares (copa e porta-enxerto). Em função disso, faz-se necessária a realização de estudos complementares sobre nutrição de videiras, que avaliem o comportamento e as necessidades nutricionais das diversas cultivares, nas diferentes condições edafoclimáticas de cultivo, para que assim se possa obter recomendações de calagem e adubação mais apropriados para cada realidade.

Para a microrregião de Caxias do Sul (RS), onde é cultivada cerca de 50% da área com videira do Brasil, não existem parâmetros específicos para diagnosticar o estado nutricional dos vinhedos e para nortear a calagem e a adubação dos solos para essa cultura. Diante disso, o presente trabalho se propõe a realizar o diagnóstico do estado nutricional de duas cultivares de videiras cultivadas no município de Farroupilha (RS). Decidiu-se avaliar a diferença de comportamento entre duas cultivares, uma cultivar tinta e outra branca.

Dentre as cultivares brancas, não houve dúvidas em eleger para o estudo a cultivar Moscato Branco, pois a área cultivada em Farroupilha representa 39,45% do total cultivado no Estado do RS, 213,15 ha<sup>-1</sup>, e 45,78% da produção, 6.109,27 toneladas. Além disso, a cultivar Moscato Branco, dentre as da espécie *Vitis vinifera*, é a 4ª em área cultivada, 540,19 ha<sup>-1</sup>, e a 1ª em produção no Estado, 13.343,57 t (MELLO; MACHADO, 2017). Outro aspecto importante para a escolha desta cultivar é que em 14 de dezembro 2015 foi oficializada a Indicação de

Procedência Farroupilha (RS) para vinhos finos moscateis, junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) (TONIETTO, 2017). Isso rendeu a Farroupilha o título de Capital Nacional do Moscatel, através da Lei 13.795/2019, sancionada no dia 03 de dezembro de 2019. Já a cultivar tinta escolhida foi a Bordô, pois é a que possui maior área plantada em Farroupilha (RS), 819 ha<sup>-1</sup> (MELLO; MACHADO, 2017), e que ganhou espaço de destaque nos últimos anos na vitivinicultura da região por sua importância na elaboração de sucos, vinhos de mesa e derivados.

### 3.9 CND E EQUILÍBRIO NUTRICIONAL

Estudos sobre nutrição vegetal que têm como objetivo analisar e identificar índices envolvidos no alcance de boa produtividade, mais do que se preocupar com a quantidade absoluta de um determinado nutriente de forma isolada, devem analisar o equilíbrio entre os diversos nutrientes na planta, das relações e proporções entre os diferentes elementos. Em muitas situações, mesmo um nutriente estando em condições consideradas adequadas, se os demais nutrientes estiverem muito elevados, este pode apresentar deficiência relativa.

A análise de solo ainda é a principal ferramenta para embasar a recomendação de calagem e adubação para a maior parte das culturas. Porém, frutíferas possuem características que exigem a utilização de outras técnicas para diagnosticar a condição nutricional das plantas. As frutíferas perenes, de forma geral, exploram camadas profundas do solo, onde não são realizadas análises e nem o manejo da adubação. Além disso, as frutíferas perenes podem armazenar nutrientes em raízes, caules e ramos de mais de um ano, adquirindo estabilidade nutricional na fase adulta (MARSCHNER, 1995). É economicamente inviável coletar amostras de solo que representem a camada de solo explorada pelas raízes. Conforme Malavolta (2006), essa característica da relação entre o solo e as plantas perenes limita a interpretação das características químicas do solo e se estas estão atendendo às necessidades nutricionais das plantas.

Por essas dificuldades, faz-se necessária a utilização de outras técnicas que complementem as informações da análise de solo para a recomendação de calagem e adubação. De acordo com Epstein e Bloom (2006), a análise de folhas é mais confiável para determinar a condição nutricional das plantas que a análise de solo, pois considera a interação da planta no processo de aquisição de nutrientes. Assim, a realização de análise de tecido vegetal demonstra ser uma ferramenta importante para o ajuste no manejo da adubação, principalmente, em plantas perenes.

Os primeiros pesquisadores a utilizarem a análise foliar como ferramenta para avaliar a condição nutricional de plantas foram os franceses Lagatu e Maume (1934a; 1934b), com avaliações realizadas em videiras. Iniciaram seus trabalhos com a avaliação individual de cada nutriente, mas já em seus primeiros estudos apontaram a necessidade da avaliação da interação entre os nutrientes. Atualmente, o método matemático mais moderno para a avaliação do estado nutricional de plantas é o CND, do inglês *Compositional Nutrients Diagnosis* (Diagnose da Composição Nutricional). Esse método foi desenvolvido por Parent e Dafir (1992), sendo fruto de um processo de acúmulo de conhecimentos e avanços metodológicos desde Lagatu e Maume (1934a; 1934b). O método CND incorporou diversos avanços para a interpretação do estado nutricional de plantas, e traz elementos do método DRIS (BEAUFILS, 1973), de trabalhos sobre a análise de componentes principais (AITCHISON, 1982 e 1986), de apontamentos para o uso da análise multivariada (HOLLAND, 1966) e da transformação logarítmica dos dados (BEVERLY, 1987).

### 3.10 CND E PRÁTICAS DE MANEJO DO SOLO E DO AGROECOSSISTEMA

O método CND busca encontrar padrões de equilíbrio nutricional a partir da análise de nutrientes presentes nas folhas da planta. A partir de um olhar sistêmico, este equilíbrio é dependente da fertilidade sistêmica do solo, pois a absorção adequada de nutrientes pelas plantas e a expressão do seu potencial produtivo dependem, além da disponibilidade de nutrientes e aporte de adubos ao solo, de inúmeros outros fatores, como disponibilidade de água, estrutura do solo, ocorrência de fungo patogênicos de solo que danificam as raízes e muitos outros. Assim, a avaliação do equilíbrio dos nutrientes em folha, relacionada com a produtividade, pode contribuir para o diagnóstico da capacidade produtivas dos sistemas de produção.

A partir dessa concepção, para a tomada de decisão sobre a melhor forma de realizar a adubação e as demais práticas de manejo do solo e do sistema de produção, a análise de nutrientes em folhas deve ser realizada em conjunto com outras ferramentas. Como exemplos tem-se a análise biológica do solo através da BioAS (MENDES, 2021); o diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) (TEIXEIRA, 2017); o método do perfil cultural (FILHO, 1999) e entre outros, além da tradicional análise química do solo. Ademais, as técnicas de avaliação para manejo dos sistemas de produção não se resumem as características físicas, químicas e biológicas do solo. Por exemplo, o acompanhamento das áreas de produção com o uso de tensiômetros para monitorar a umidade do solo e realizar a prática de irrigação é de extrema

importância para a produtividade das plantas e está intimamente relacionada absorção adequada de nutrientes pelas plantas.

No documento “Diretrizes Voluntárias para a Gestão Sustentável dos Solos”, a FAO indica inúmeras medidas para proporcionar o equilíbrio nutricional e o ciclo de nutrientes no solo (FAO, 2017):

- Melhorar e conservar a fertilidade natural do solo e os ciclos naturais de nutrientes através de medidas de preservação ou de reforço da matéria orgânica dos solos. A melhoria da fertilidade do solo pode ser conseguida através de práticas de conservação do solo: utilização de rotações culturais com leguminosas, estrumes de animais, adubos verdes (sideração), culturas de cobertura em combinação com mobilização nula ou mínima, tendo em atenção a minimização do uso de herbicidas, bem como a produção em sistemas agroflorestais. Os ciclos de nutrientes são mais bem controlados em sistemas integrados, como sejam os agropecuários ou agrosilvopastoris;

- A eficiência do uso de nutrientes deverá ser otimizada adotando diversas medidas, como a aplicação técnica, económica e ambientalmente justificada, equilibrada e adaptada a cada situação específica, de corretivos orgânicos e inorgânicos do solo (ex: materiais compostados e produtos alcalinizantes, respetivamente) e/ou produtos inovadores (ex: fertilizantes de libertação lenta ou controlada), bem como a reciclagem e a reutilização de nutrientes;

- Os métodos de aplicação de fertilizantes, nomeadamente os tipos, quantidades e períodos de aplicação, deverão ser apropriados para limitar as perdas e favorecer a absorção equilibrada de nutrientes pelas culturas. Deverão basear-se em análises de solos e de plantas e num planeamento de longo prazo mais do que em ações de curto prazo;

- Sempre que necessária, a adição de micronutrientes deverá ser considerada no planeamento da fertilização do solo;

- Devem ser usadas todas as fontes acessíveis de nutrientes para as plantas, incluindo o uso judicioso de corretivos minerais e orgânicos, fertilizantes inorgânicos e bioprodutos de origem agrícolas. Estes corretivos e bioprodutos, incluem estrumes líquidos, semissólidos ou sólidos, resíduos de culturas, materiais compostados, adubos verdes, resíduos sólidos urbanos, cinzas resultantes da produção de biomassa, corretivos do solo e inoculantes. Para aumentar a sua eficiência, estas medidas deverão ser combinadas com a mitigação de outros fatores limitantes (como é o caso da escassez de água). Deverá ser garantida a segurança na utilização



desses corretivos, controlando os níveis toleráveis de contaminantes e poluentes assim como a saúde dos trabalhadores;

- Proceder à correta avaliação da fertilidade do solo, quer através de análises de solo, como de plantas, a fim de melhor efetuar o diagnóstico e a identificação das medidas de correção dos fatores limitantes da produção agrícola associadas com os nutrientes das plantas, a salinidade, a sodicidade e condições extremas de pH. Estas orientações são essenciais para tomadas de decisão informadas e para basear o desenvolvimento de sistemas de monitoramento;

- Sempre que apropriado, a deslocação do gado e o pastoreio devem ser geridos de modo a otimizar a deposição de dejetos e de urina;

- A aplicação de corretivos calcários em solos ácidos é uma condição indispensável para a utilização eficiente e ótima dos nutrientes nesses solos, enquanto a aplicação de corretivos orgânicos, como é o caso de materiais compostados, e a gestão apropriada do sistema solo-cultura, deverá ser considerada para os solos alcalinos e para outros solos; e

- Os fertilizantes minerais com origem em recursos naturais finitos, como é o caso das reservas de rochas fosfatadas e os depósitos de potássio, devem ser distribuídos de forma eficiente e estratégica, de modo a garantir a continuada disponibilidade nas quantidades adequadas para as futuras gerações.

### 3.11 O CND E OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)

Em 2015, durante a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável da ONU, os países membros adotaram o documento “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. Nesse, comprometeram-se a adotar o plano de ação que contém os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas. Dentre os principais objetivos estão a erradicação da pobreza e proteger os recursos naturais e o clima do planeta.

Em sintonia com esse documento, o presente trabalho propõe mais uma ferramenta que deve ser utilizada para avaliar e monitorar o desempenho dos sistemas de produção de uva, através da análise de nutrientes foliar da planta foco do sistema com o objetivo de identificar o seu equilíbrio nutricional. Integrada com outras metodologias de avaliação dos sistemas de produção, o CND contribui para o diagnóstico das áreas produtivas e na definição das práticas de manejo, visando a obtenção de bons índices de produtividade de forma sustentável. Com isso, relacionando o uso do CND com os ODS, identifica-se que o uso integrado desta

ferramenta pode, de alguma maneira, contribuir com ODS 2, 3, 6, 12, 13 e 15, através (ONU, 2015):

- Da produção de alimentos saudáveis de forma sustentável;
- Da utilização racional de adubos;
- Da melhoria do diagnóstico da condição dos sistemas de produção, diminuindo a degradação do solo e a contaminação da água, bem como melhorando a gestão dos recursos naturais;
- Do aumento do C orgânico do solo e para o uso racional de adubos nitrogenados, diminuindo a liberação de oxido nitroso para atmosfera e auxiliando no combate às mudanças climáticas;

## 4 ARTIGO

### 4.1. TÍTULO: PROPOSIÇÃO DE NÍVEIS CRÍTICOS E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA DE NUTRIENTES EM FOLHAS DE VIDEIRAS DAS CULTIVARES MOSCATO BRANCO (*Vitis vinifera* L.) E BORDÔ (*Vitis labrusca* L.)

#### **Resumo**

A Diagnose da Composição Nutricional (CND) constrói índices, a partir dos teores de nutrientes em folhas, relacionando-os com a produtividade, e estabelecem parâmetros de deficiência, normalidade ou excesso, além de níveis críticos (NC) ou faixas de suficiência (FS). Porém, estas informações são escassas em cultivares das videiras Moscato Branco e Bordô cultivadas em regiões subtropicais do Mundo. O estudo objetivou propor os Índices CND, NC e FS de nutrientes em folhas de videiras das cultivares Bordo e Moscato Branco, cultivadas em condições subtropicais. Foram coletadas folhas em 105 vinhedos, 54 da cultivar Moscato Branco e 51 da cultivar Bordô, localizados no município de Farroupilha, Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil. As folhas foram preparadas, secas, moídas e submetidas a análise química de nutrientes. A produtividade de cada vinhedo foi avaliada. O estado nutricional da videira foi calculado pelo método CND. Os índices CND- $r^2$  foram eficazes em estabelecer o estado nutricional das videiras 'Moscato Branco' e 'Bordô', em relação aos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn, em deficientes, adequados e excessivos. A metodologia CND estabeleceu o NC e as FS de nutrientes adequadas nas condições atuais de produção de videiras. As associações multi-nutrientes foram mais eficazes do que a análise de um único nutriente, ao expressar que a limitação de um determinado elemento pode reduzir a produtividade das videiras.

**Palavras-chave:** Análise foliar, Diagnose da Composição Nutricional (CND), equilíbrio nutricional, adubação, uva (*Vitis vinifera* L. e *Vitis labrusca* L.).

## 1 INTRODUÇÃO

O adequado manejo nutricional de plantas é um dos fatores indispensáveis para a obtenção de altas produtividades e de frutos com boa qualidade. Quando os solos não possuem a quantidade suficiente de nutrientes para suprir a demanda de videiras, faz-se necessário realizar a aplicação de nutrientes. Mas isso só deverá ocorrer com base na análise química do solo e na avaliação da disponibilidade de elementos essenciais presentes no solo. No solo, as concentrações de nutrientes disponíveis são interpretadas, permitindo a definição da real necessidade e das doses de nutrientes a serem aplicados. Porém, para que a tomada de decisão da aplicação seja mais assertiva é necessário definir os níveis críticos (NC) de nutrientes no solo (BRUNETTO *et al.*, 2020; STEFANELLO *et al.*, 2020).

Além da análise de solo, a partir do 4º ano de cultivo de um pomar de videiras, folhas devem ser coletadas e encaminhadas para laboratórios para realização de análise dos teores de nutrientes foliares. Os resultados precisam ser interpretados para auxiliar na definição da necessidade de aplicação de nutrientes (CQFS-RS/SC, 2016), sendo uma ferramenta complementar às informações obtidas com as análises de solo. Para videiras, a indicação da fase de coleta da folha-diagnóstica para a realização da análise é no início da maturação das bagas - *veraison* (BRUNETTO *et al.*, 2016) e/ou no florescimento (BRUNETTO *et al.*, 2020). Deve-se coletar 100 folhas completas, com limbo e pecíolo, oposta ao 1º cacho, em um total de 20 a 30 plantas por talhão (BRUNETTO *et al.*, 2016b).

Entretanto, plantas perenes como as videiras nem sempre apresentam correlação entre os teores de nutrientes no solo e outras variáveis, como os teores de nutrientes em folhas (BALDI *et al.*, 2017; STEFANELLO *et al.*, 2021), a produtividade, além de variáveis da composição do mosto (KHALIL *et al.*, 2018; QUIROGA *et al.*, 2017; BRUNETTO *et al.*, 2020; STEFANELLO *et al.*, 2020).

Isso ocorre porque plantas como as videiras possuem raízes que absorvem nutrientes em camadas do solo mais profundas que aquelas tradicionalmente amostradas para a avaliação da fertilidade, 0-20 cm (CARRANCA *et al.*, 2018; MIMMO *et al.*, 2018), como também tendem a absorver nutrientes ao longo de todo o ano, especialmente nas condições edafoclimáticas de países com clima tropical e subtropical. Além disso, as videiras possuem reservas internas de nutrientes, em especial nas raízes e ramos com mais de um ano e no caule (BRUNETTO *et al.*, 2014; 2016), o que permite a ciclagem. Essas plantas eventualmente possuem mecanismos que viabilizam a solubilização/disponibilização de formas de nutrientes que inicialmente eram consideradas não disponíveis (não trocáveis), como é o caso do K (CIOTTA *et al.*, 2021);

Por esses motivos, a análise de nutrientes em órgãos da videira, como as folhas, passa a ser um parâmetro técnico importante para auxiliar na decisão da necessidade de aplicação de nutrientes. As pesquisas têm foco nas análises dos teores de nutrientes em folhas, pois este é o órgão fotossinteticamente mais ativo na planta e sua concentração tende a apresentar correlação com parâmetros de produtividade e variáveis da composição do mosto (PRADO & ROZANE, 2020; STEFANELLO *et al.*, 2021).

O uso de métodos univariados, como o nível crítico (NC) de um único nutriente em folhas, a partir do qual a probabilidade de resposta da planta é nula, nem sempre se correlaciona com a produtividade ou variáveis da composição do mosto, especialmente porque não considera, além de outros fatores, as interações que ocorrem entre outros nutrientes (LABAIED *et al.*, 2020; PRADO & ROZANE, 2020). Por isso, o mais adequado é obter NC e faixas de suficiência (FS) considerando as relações entre nutrientes, como feito no método Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS), traduzido do inglês *Diagnosis and Recommendation Integrated System* (BEAUFILS, 1973), que possui enfoque bivariado, no qual são calculados índices que expressam o equilíbrio relativo dos nutrientes numa planta por meio da relação entre dois nutrientes. Ou por meio de métodos multivariados, que estudam simultaneamente o efeito da relação de três ou mais nutrientes na produtividade, através de procedimentos matemáticos mais robustos e confiáveis, como o método da Diagnóstico da Composição Nutricional (CND), traduzido do inglês *Compositional Nutrients Diagnosis* (PARENT & DAFIR, 1992; PARENT, 2001; PARENT, 2011; PARENT *et al.*, 2013).

O CND permite a análise de nutrientes em folhas de forma integrativa. Os resultados obtidos poderão ser expressos na forma de índices, que podem ser interpretados como normal, excessivo ou deficiente (BRUNETTO *et al.*, 2020). Além disso, é possível definir os NC e as FS de teores de nutrientes em folhas para a obtenção de produtividades adequadas de uva (ROZANE *et al.*, 2020). A metodologia CND já foi proposta para algumas cultivares de videiras viníferas no Mundo (KUMAR *et al.*, 2003; ROZANE *et al.*, 2020). Porém, ainda são escassos os estudos para um número maior de cultivares viníferas, como a ‘Moscatto Branco’ (*Vitis vinifera* L.), mas também para cultivares Americanas como a ‘Bordo’ (*Vitis labrusca* L.), em especial, aquelas cultivadas em condições subtropicais do Mundo, onde as suas uvas podem ser destinadas à elaboração de vinhos, sucos, espumantes ou mesmo outros subprodutos (ALI *et al.*, 2010; KAMBIRANDA *et al.*, 2020).

Assim, com todas as informações obtidas a partir do uso do método CND, é possível definir com maior precisão a real necessidade de aplicação de nutrientes em videiras, o que evitará o excesso de nutrientes em solos de vinhedos, os quais podem potencializar a

transferência e a contaminação das águas superficiais adjacentes (BRUNETTO *et al.*, 2020). Outra vantagem é diminuir o custo de aquisição de fertilizantes, contribuindo para a manutenção e aumento da produtividade de uvas. Deste modo, o objetivo do presente estudo é apresentar os NC e FS de nutrientes em folhas de cultivares de videira ‘Bordô’ e ‘Moscato Branco’, empregando o método CND.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DO ESTUDO

O estudo foi realizado durante a safra 2019/2020 em 105 vinhedos selecionados no município de Farroupilha, localizado na Mesorregião do Nordeste Rio-Grandense e na Microrregião de Caxias do Sul (IBGE, 2017), com latitude 29°13'25" S e longitude 51°20'54" O e altitude de 768 m (IBGE, 2010), estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil. Segundo a classificação de Köppen, o clima é Cfb, temperado, com verão ameno, chuvas bem distribuídas e sem estação seca. As menores temperaturas ocorrem nos meses de junho e julho, sendo a temperatura mínima média de 8,8°C. No mês de janeiro são registradas as maiores temperaturas, sendo a temperatura máxima média de 27,5°C. A precipitação média anual é de 1.767,5 mm (IRGA, 2021).

Das áreas avaliadas, 51 vinhedos foram da cultivar Bordô (*Vitis labrusca* L.) e 54 da cultivar Moscato Branco (*Vitis vinifera* L.). Do total, 72 vinhedos possuíam videiras enxertadas, predominantemente, sobre a cultivar Paulsen 1103 (*Vitis berlandieri* x *Vitis rupestris*). Os demais vinhedos possuíam videiras enxertadas sobre cultivares tradicionalmente utilizadas na região, denominadas “cavalo branco ou vermelho”, e poucas áreas com plantas oriundas de pé franco (mudas produzidas a partir de estacas da cultivar copa) da cultivar Bordô. A idade dos vinhedos variou de 2 à 52 anos, sendo que 92 vinhedos eram conduzidos no sistema latada, 9 vinhedos em sistema lira ou manjedoura e 4 vinhedos em sistema espaldeira. O espaçamento entre as linhas de videira variou de 1,75 m à 3,8 m e o espaçamento entre plantas variou de 0,93 m à 2,83 m. Os solos dos vinhedos pertenciam, predominantemente, as classes Argissolos, Cambissolos e Neossolos (STRECK *et al.*, 2008).

## 2.2 AMOSTRAGEM DE FOLHAS E PRODUÇÃO DE UVA

Em cada vinhedo foram coletadas 25 folhas completas (limbo + pecíolo), uma em cada planta, de forma aleatória, formando a amostra composta. As folhas foram coletadas na fase de pleno florescimento, no terço médio do ramo do ano, tomando o cuidado para coletar folhas que não tivessem danos mecânicos ou ataque de pragas e doenças. Imediatamente após a coleta, as folhas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a  $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  até a massa constante, moídas em moinho tipo Willey e passadas em peneira com malha de 0,841 mm. O tecido foi reservado. Para a quantificação da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), durante a fase de colheita e de forma aleatória, pesaram-se todos os cachos em cinco plantas de cada talhão.

## 2.3 ANÁLISES DE NUTRIENTES EM FOLHAS

Uma parte do tecido reservado foi submetido a digestão sulfúrica (TEDESCO *et al.*, 1995), usando bloco digestor (Tecnal, Micro 42, Piracicaba, Brasil). O nitrogênio (N) foi determinado em destilador de arraste a vapor Kjeldahl drag (TE-0364, Tecnal, Piracicaba, Brasil). A outra parte do tecido foi submetida a digestão nitroperclórica (EMBAPA, 1997). No extrato, as concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinados por espectrofotômetro de absorção atômica (Perkin Elmer, Waltham, MA, EUA, AAnalyst 200) (TEDESCO *et al.*, 1995).

A concentração de P foi determinada por colorimetria, com base na metodologia descrita por Murphy & Riley (1962), em espectrofotômetro (SF325NM, Bel Engineering, Monza, Itália). A concentração de potássio (K) no extrato foi determinada em fotômetro de chama (B262 Micronal, São Paulo, Brasil). A concentração de boro (B) foi determinada pela queima de 0,5 g de amostra de tecido vegetal na mufla ( $600^{\circ}\text{C}$  por 1h). Depois foi adicionado 10 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,18 \text{ mol l}^{-1}$ , agitado intermitentemente por 1h, permanecendo em repouso. Em seguida, 4 ml do sobrenadante foram retirados e adicionados 4 ml de tampão azometina-H, sendo realizada a determinação em 435 nm em espectrofotômetro (SF325NM, Bel Engineering, Itália) (EMBRAPA, 2009).

## 2.4 CÁLCULOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O banco de dados foi constituído com informações de teores de nutrientes em folhas e produtividade de 105 vinhedos comerciais, sendo 54 da cultivares Moscato Branco

(*Vitis vinifera*) e 51 da cultivar Bordô (*Vitis labrusca*). A produtividade variou de 3 t ha<sup>-1</sup> à 60 t ha<sup>-1</sup>, sendo a média de 22,3 t ha<sup>-1</sup> e o desvio padrão de 11,6 t ha<sup>-1</sup>. Com o emprego da distância de Mahalanobis (PARENT *et al.*, 2009), que identifica quando uma observação está muito distante do padrão de distribuição das demais, foram excluídos quatro dados discrepantes, ou *Outliers*. Ao calcular a distância de Mahalanobis, o desequilíbrio de nutrientes presente na população de referência da cultura é dimensionado, permitindo a identificação de possíveis *outliers* antes de proceder à classificação dos índices CND (PARENT, 2009). A distribuição gaussiana dos dados (n = 101) foi realizada antes da análise, conforme descrito por Hair *et al.* (2005). A distribuição normal realizada em relação a produtividade, bem como para os nutrientes avaliados pela aceitação de Ho; em outras palavras, dados com distribuição normal.

Conforme Parent e Dafir (1992), a composição do tecido foliar é considerado um sistema 100% fechado, formado por componentes conhecidos (N, P, K...) e por componentes desconhecidos, constituídos por outros elementos não determinados, como carboidratos, os quais são definidos por um termo denominado R. Isso forma um arranjo de nutrientes *d*-dimensional, constituindo um *simplex* ( $S^d$ ) (Equação 1), oriundo das proporções de *d*+1 nutrientes, que incluem os elementos *d* e um valor residual ( $R_d$ ), conforme a Equação 2:

$$S^d = [(N,P,K...R_d): N>0, P>0, K>0... R_d >0, N+P+K+\dots+R_d = 100] \quad \text{Equação 1}$$

em que: N, P, K ... são as quantidades de cada nutriente determinado na matéria seca e  $R_d$  é calculado por diferença, como segue:

$$R_d = 1.000.000 - (N + P + K + \dots) \quad \text{Equação 2}$$

As proporções de nutrientes foram transformadas em escala invariada após serem divididas pela média geométrica (G) (Equação 3) de *d*+1 componentes, incluindo  $R_d$  (AITCHINSON, 1986; PARENT *et al.*, 2009):

$$G = [N * P * K * \dots * R_d]^{\frac{1}{d+1}} \quad \text{Equação 3}$$

Para expressar cada componente do *simplex*, em relação a todos os outros (estudo de interação), foram definidas as variáveis multinutrientes ( $V_{\text{nutriente}}$ ) (Equação 4), através do logaritmo natural ou neperiano (ln) do quociente entre a concentração de cada nutriente (mg



kg<sup>-1</sup>) e a média geométrica das concentrações dos constituintes da massa da matéria seca ( $G$ ), sendo expressas:

$$V_N = \ln \frac{N}{G}, V_P = \ln \frac{P}{G}, V_K = \ln \frac{K}{G} \dots V_{Rd} = \ln \frac{Rd}{G} \quad \text{Equação 4}$$

Por definição (KHIARI *et al.*, 2001), a soma dos componentes do tecido é 100% (Equação 2), e a soma dos valores das razões log centradas das variáveis nutrientes ( $V_{\text{nutriente}}$ ), incluindo para o  $Rd$  (o valor de enchimento), deve ser igual a zero:

$$V_N + V_P + V_K + \dots + V_{Rd} = 0 \quad \text{Equação 5}$$

O passo seguinte foi dividir o banco de dados em duas subpopulações, uma de alta e outra baixa produtividade, utilizando-se o procedimento de Cate-Nelson, como indicado por Khiari *et al.* (2001b). Os índices CND ( $I_{\text{nutriente}}$ ) foram calculados pela diferença entre as variáveis multinutrientes das amostras avaliadas ( $V_{\text{nutriente}}$ ) e a média da população de alta produtividade ( $\bar{V}_x$ ), dividido pelo desvio-padrão ( $\sigma_{\text{nutriente}}$ ) desta variável na população de alta produtividade:

$$I_N = \frac{(V_N - \bar{V}_N)}{\sigma_N}; I_P = \frac{(V_P - \bar{V}_P)}{\sigma_P}; I_K = \frac{(V_K - \bar{V}_K)}{\sigma_K}; [\dots]; I_{Rd} = \frac{(V_{Rd} - \bar{V}_{Rd})}{\sigma_{Rd}} \quad \text{Equação 6}$$

Os valores de  $I_N, I_P, I_K, [\dots], I_{Rd}$  são índices de balanço dos nutrientes e do R para determinar o CND (índice CND). A independência entre os dados é garantida pela transformação logarítmica centrada (AITCHISON, 1986). Os Índices CND são normalizados e as variáveis tornadas lineares como dimensões de um círculo ( $d + 1 = 2$ ), de uma esfera ( $d + 1 = 3$ ), ou de uma hiper esfera ( $d + 1 > 3$ ) em um espaço tridimensional. Os índices de balanço dos nutrientes são utilizados para determinar o índice de desequilíbrio nutricional ( $CND-r^2$ ), conforme a equação 7:

$$CND - r^2 = I_N^2 + I_P^2 + I_K^2 + [\dots] + I_{Rd}^2 \quad \text{Equação 7}$$

Cada amostra caracteriza-se por seu raio,  $r$ , calculado a partir dos índices CND. A soma de quadrados independentes  $d+1$  com variáveis normais produz uma nova variável com distribuição qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com  $d+1$  graus de liberdade (ROSS, 1987). Os índices CND são independentes e o valor  $CND-r^2$  deve ter a distribuição  $\chi^2$ . Como definido pelas equações 6 e 7, quanto mais perto de zero os índices CND, e por consequência, o índice  $CND-r^2$  ou os valores de  $\chi^2$ , mais elevada a probabilidade de se obter rendimento elevado (KHIARI *et al.*, 2001a).

A Distância de Mahalanobis ( $D^2$ ) é calculada pela Equação 8, sendo  $COV^{-1}$  a matriz de covariância inversa dos valores de ln para todos os nutrientes, e  $T$  é a indicação de que a matriz deve ser transposta (PARENT, 2011). O teste de  $\chi^2$  foi calculado com base na distância  $D^2$ , sendo excluídas as amostras cujo valor foi inferior a 1% ( $p < 0,01$ ).

$$D^2 = \sum_{i=1}^d (\bar{V}_i - \bar{V}_i)^T COV^{-1} (\bar{V}_i - \bar{V}_i) \quad \text{Equação 8}$$

O banco de dados foi organizando a partir da produtividade ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) de forma decrescente, sendo estabelecida a função cúbica pela relação entre a produtividade do conjunto amostral e a variância acumulada (função cumulativa) dos valores de  $D^2$ , em que a determinação da derivada segunda (ponto de inflexão) permitiu separar as subpopulações de baixa e alta produtividade (KHIARI *et al.*, 2001b).

Então, a partir do cálculo do NC de cada nutriente, utilizou-se o valor de 2/3 do desvio-padrão do conteúdo de cada nutriente da população de alta produtividade para a definição das FS (KURIHARA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2015).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, utilizou-se a matriz de correlação de Pearson para verificar a ocorrência de correlações lineares significativas entre as concentrações de nutrientes em folhas e a produtividade da uva (Tabela 1). Dessa forma, é possível observar a influência da concentração de um único nutriente sobre a concentração dos outros nutrientes e/ou na produtividade. Essas correlações entre nutrientes indicam que mudanças na concentração de um determinado nutriente na planta podem, conseqüentemente, alterar a concentração de outros (PARENT *et al.*, 2013; ROZANE *et al.*, 2015).

Entre as 66 correlações, 12 foram significativas. A intensidade dos coeficientes de correlação foi classificada conforme proposto por Dancey & Reidy (2006), onde os valores de 0,10 - 0,30 são considerados com grau de correlação fraco, 0,40 - 0,60 moderado e 0,70 - 1,0 forte. Com base neste sistema de classificação identificou-se apenas uma correlação forte entre Mn-S. As correlações entre Ca-Mg, Mg-S, S-Zn, Mn-Zn, Mg-Cu, Mg-Mn e Zn-produtividade foram classificadas como moderadas.

Tabela 1- Matriz de correlação de Pearson entre as concentrações de nutrientes em folhas e a produtividade em vinhedos (n = 101).

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Produtividade	-0,05	-0,03	0,07	0,18	0,28	0,38*	0,11	0,21	-0,19	0,31*	0,51*
N		0,21	0,03	-0,22	-0,16	0,01	0,15	-0,18	0,08	-0,01	0,00
P			0,01	0,31*	0,07	-0,03	0,04	-0,03	0,10	0,05	0,04
K				-0,02	0,00	0,40	-0,13	0,22	-0,04	0,29*	0,23
Ca					0,61*	0,21	-0,06	0,22	0,17	0,27	0,08
Mg						0,55*	0,12	0,44*	0,24	0,46*	0,23
S							0,14	0,34	0,12	0,76	0,54*
B								-0,03	0,16	0,13	0,02
Cu									0,16	0,15	0,31*
Fe										0,03	-0,08
Mn											0,51*

\* significativo a 5 % ( $p > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Estas constatações demonstram que métodos de análise baseados em correlações univariadas são ineficientes para explicar a produtividade (Tabela 1). O baixo número de correlações significativas não possibilitou a identificação de padrões nutricionais para explicar a produtividade. Segundo Marschner (2012), métodos que avaliam a concentração de um único nutriente possuem baixa eficácia para prever a produtividade em culturas, também observado por Rozane *et al.* (2016), em estudo com videiras realizado na Campanha do RS.

A divisão da população entre alta e baixa produtividade foi realizada de acordo com procedimento proposto por Khiari *et al.* (2001a). O ponto de inflexão da função cumulativa da produtividade foi 21.630 kg ha<sup>-1</sup>. Os vinhedos que apresentaram produtividade acima deste valor foram classificados como subpopulação de alta produtividade (população de referência), composta por 53 vinhedos (52,5%), e os demais, 48 vinhedos (47,5%), formaram a subpopulação de baixa produtividade (Figura 1).

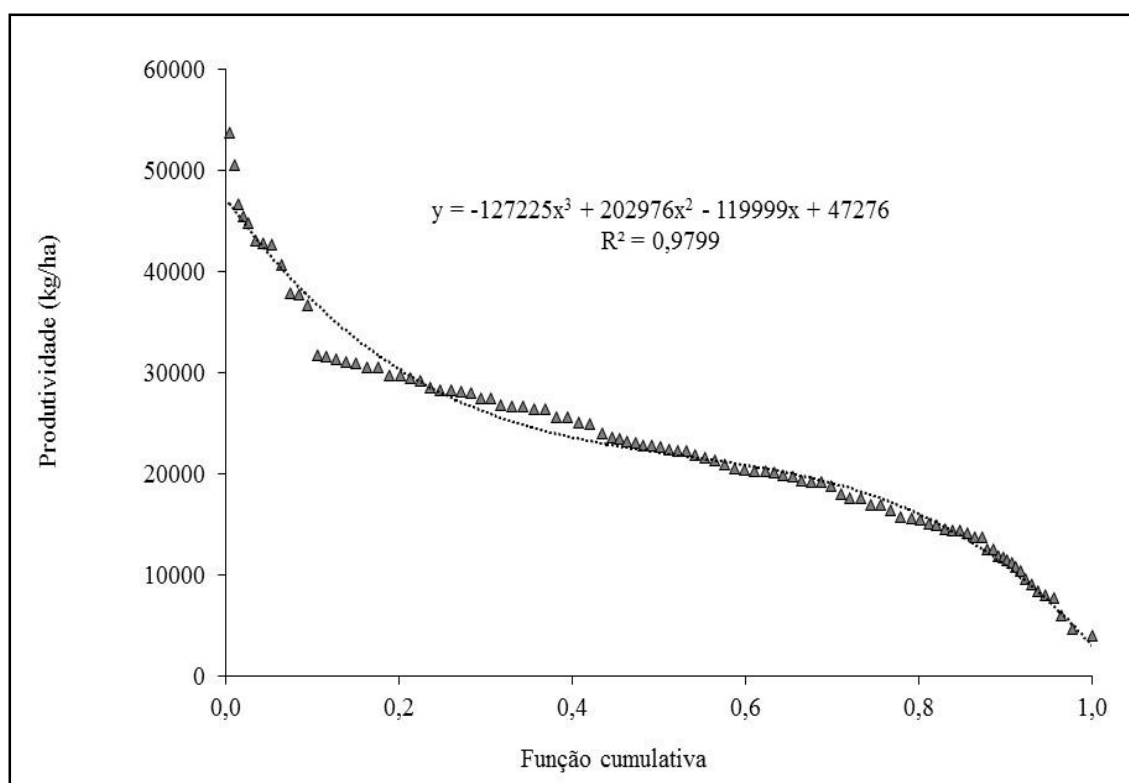


Figura 1 - Função cumulativa dos dados de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) em vinhedos (n = 101).

Depois de separar os vinhedos entre alta e baixa produtividade, foram elaboradas novas matrizes de correlação de Pearson para cada uma das populações (Tabela 2). Na população de alta produtividade foram obtidas 18 correlações significativas, sendo 1 forte, 8 moderadas e 9 fracas. Os nutrientes que apresentaram as maiores correlações entre si foram Ca-Mg, Mg-S, S-Mn, dentro da população de alta produtividade. A produtividade da população de alta produtividade apresentou correlação significativa e positiva com S, Mn e Zn. Já produtividade na população de baixa produtividade apresentou correlação significativa e negativa com Fe e as maiores correlações entre nutrientes foram observadas para Ca-Mg, Mg-S e Mn-Zn (Tabela 2).

Tabela 2 - Matriz de correlação de Pearson entre as concentrações de nutrientes em folhas e a produtividade em vinhedos de alta e baixa produtividade.

População de alta produtividade (n = 53)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Produtividade	0,08	0,06	0,06	0,11	0,24	0,42*	0,16	0,13	-0,13	0,39*	0,58*
N		0,29	0,06	-0,17	-0,03	0,17	0,12	-0,06	0,28*	0,33*	0,10
P			0,18	0,24	0,03	0,05	-0,22	-0,08	0,14	0,17	0,07
K				0,11	-0,02	0,25*	-0,13	0,23	-0,07	0,17	0,24
Ca					0,59*	0,33*	-0,17	0,17	0,22	0,33*	0,08
Mg						0,63*	0,07	0,38*	0,23	0,49*	0,21
S							0,14	0,33*	0,27*	0,75*	0,52*
B								-0,05	0,23	0,18	0,03
Cu									0,15	0,10	0,34*
Fe										0,16	-0,07
Mn											0,47*
População de baixa produtividade (n = 48)											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Produtividade	-0,05	-0,17	0,04	-0,01	-0,10	-0,02	-0,05	-0,09	-0,27*	0,01	0,16
N		0,14	0,02	-0,24	-0,28*	-0,08	0,18	-0,45*	-0,06	-0,29*	-0,10
P			-0,13	0,39*	0,14	-0,11	0,20	0,06	0,07	-0,06	0,02
K				0,14	0,19	0,05	0,03	0,05	0,05	-0,06	-0,05
Ca					0,61*	-0,04	0,00	0,30*	0,18	0,13	-0,05
Mg						0,36*	0,14	0,54*	0,35*	0,37*	0,10
S							0,11	0,30*	0,07	0,76*	0,56*
B								-0,06	0,14	0,07	-0,06
Cu									0,37*	0,21	-0,08
Fe										-0,03	-0,06

Mn

0,61\*

---

\* significativo a 5 % ( $p > 0,05$ ) pelo teste de Tukey.

Mesmo com a divisão entre as duas populações, as correlações mais significantes da população completa (Tabela 1) permaneceram semelhantes a população de alta produtividade (Tabela 2). Cabe destacar que não houve correlação positiva forte entre nenhum nutriente e a produtividade, mesmo na população de alta produtividade, o que demonstra que o equilíbrio adequado entre todos os nutrientes é o que garante maiores produtividades. Mais uma vez, os resultados demonstraram que a produtividade é dependente não somente das concentrações de um determinado nutriente no interior da planta, mas, especialmente, é determinada pelas relações entre os nutrientes (MARSCHNER, 2012; ROZANE *et al.*, 2016).

A média dos teores de nutrientes em folhas das populações de baixa e alta produtividades foram classificadas conforme as faixas de concentração de nutrientes propostas pela CQFS-RS/SC (2016). Demonstrou-se que sua interpretação como insuficiente, normal ou excessivo, foi praticamente igual, só diferindo na interpretação do Mn (materiais suplementares disponíveis, Tabela S1). Assim, a média das concentrações de nutrientes nas populações avaliadas, tanto na de alta como na de baixa produtividade, não explicaram a produtividade dos vinhedos e não permitiram a indicação de faixas de concentrações nutricionais adequadas. Com isso, novamente os resultados reforçam a necessidade da utilização de métodos multivariados para diagnosticar o estado nutricional de plantas, os quais permitem avaliar a interação entre cada nutriente e o equilíbrio entre eles.

Na Figura 2, relacionou-se o índice de desequilíbrio nutricional (CND- $r^2$ ) e a distância de Mahalanobis ( $D^2$ ) da população de alta produtividade. Desse modo, pode-se observar que quanto maior é a  $D^2$ , maior é o desequilíbrio nutricional. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da relação entre produtividade de uva e o índice CND- $r^2$  foi 0,39. Resultados semelhantes foram obtidos com videira ( $R^2=0,42$ ) (ROZANE *et al.*, 2016<sup>a</sup>) e atemoia ( $R^2=0,35$ ) (SANTOS, 2016). Em estudos com culturas de ciclo anual, como em cenoura, valores de 0,34 já foram reportados (PARENT *et al.*, 1994) e 0,32 foi relatado na cultura da batata (KHIARI *et al.*, 2001b). Os resultados indicaram desequilíbrios nutricionais, mostrando que mesmo as populações classificadas como de alta produtividade têm potencial para melhorarias.

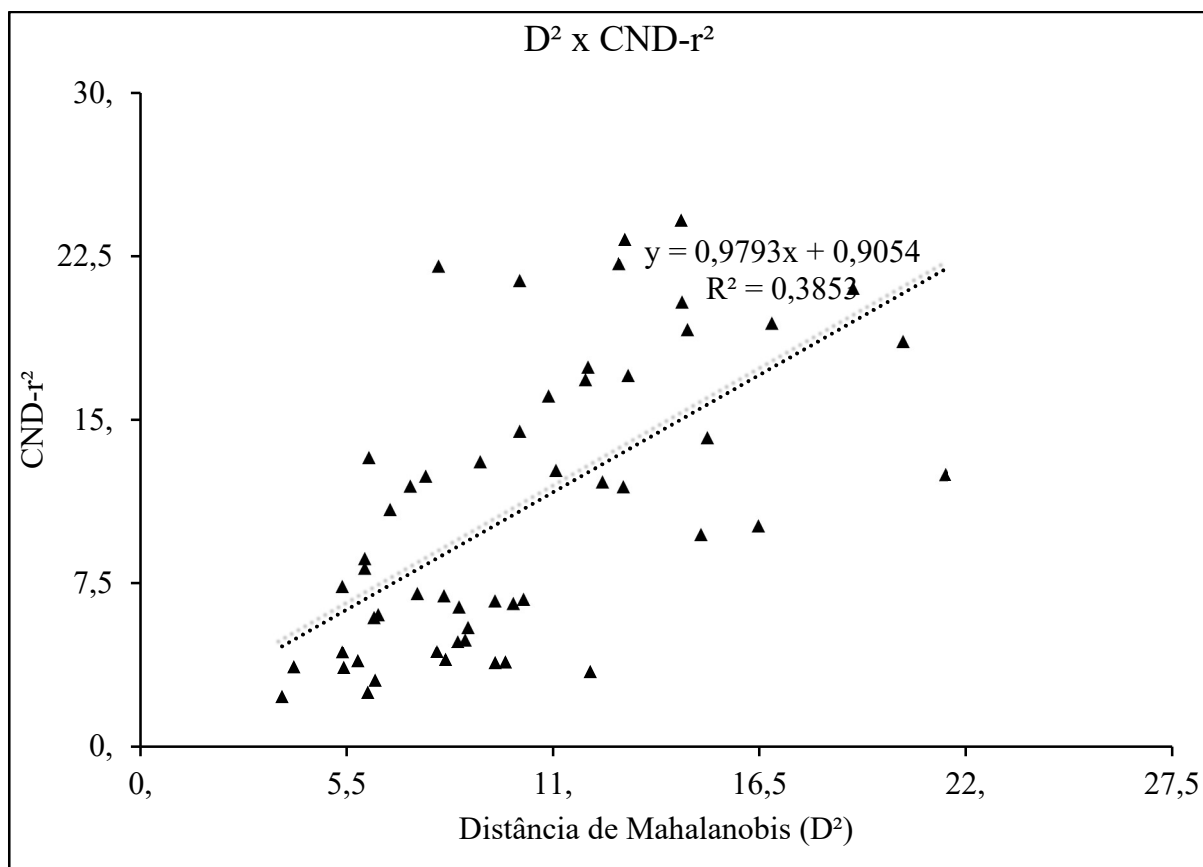


Figura 2 - Índice de desequilíbrio nutricional (CND-r2) e a distância de Mahalanobis (D2) da população de alta produtividade (n = 53).

A obtenção de maiores valores de coeficientes de determinação em culturas perenes, como em videiras, pode ser atribuída as reservas de nutrientes em órgãos perenes, como em raízes, ramos de mais de um ano e caule. As reservas de nutrientes podem contribuir na maior estabilidade nutricional em frutíferas, em relação às plantas de ciclo anual. Além disso, convém destacar que o coeficiente de determinação significa a porcentagem que a produtividade pode ser explicada pelos índices gerados, a partir das concentrações de nutrientes em folhas, que no caso do presente estudo foi de 39%. Porém, deve-se destacar que a produtividade de cultivos agrícolas é influenciada por mais de 52 fatores, que agem multiespectralmente sobre o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das plantas (TISDALE *et al.*, 1985).

Com a utilização do método CND estabeleceu-se os padrões estatísticos para cada nutriente na cultura da videira, denominados índices CND, que relacionam a média da concentração de cada nutriente na folha e o desvio-padrão da população de alta produtividade. A predominância de alto desvio-padrão nas concentrações de alguns nutrientes pode ser explicada pela influência de outros fatores que afetam a produtividade, como por exemplo: a) o número de horas de frio necessários para que a planta supere seu estado de dormência e retome o crescimento vegetativo (PIO *et al.*, 2018); b) a ocorrência de precipitações pluviométricas

que podem potencializar a incidência de doenças em folhas e frutos (CHEN *et al.*, 2020); c) a ocorrência de elevados volumes e frequências de precipitações pluviométricas que podem elevar as perdas de nutrientes por lixiviação ou escoamento superficial (SETE *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2019), entre outros.

Tabela 3 - Padrões do diagnóstico da composição nutricional (CND) da população de alta produtividade (n = 53).

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Média	2,57	1,31	1,76	1,28	-0,16	0,20	-2,56	-3,84	-2,91	-1,43	-2,50	
Desvio Padrão	0,30	0,33	0,28	0,43	0,26	0,24	0,34	1,22	0,29	0,70	0,63	
	IN	IP	IK	ICa	IMg	IS	IB	ICu	IFe	IMn	IZn	CND-r <sup>2</sup>
Limite Máximo	2,21	2,34	2,39	1,69	2,64	2,79	2,01	2,15	1,90	1,75	2,28	24,13
Limite Mínimo	-1,71	-1,75	-2,06	-1,74	-2,11	-3,00	-2,25	-1,41	-1,84	-2,30	-2,26	2,27
Desvio médio	0,82	0,83	0,82	0,85	0,77	0,76	0,81	0,83	0,84	0,85	0,75	5,59
Distorção	0,38	0,23	0,20	-0,21	0,40	-0,13	0,34	0,78	0,17	-0,36	0,10	0,52

Com o padrão dos índices CND estabelecido (Tabela 3), comparou-se a média da faixa considerada normal da composição química de macro e micronutrientes em folhas completas de videiras proposta pela recomendação oficial de adubação para a cultura da videira para a região (CQFS-RS/SC, 2016) (Figura 3). O resultado do CND-r<sup>2</sup>, que é o índice de desequilíbrio nutricional, foi de 79,51. As concentrações propostas na recomendação oficial para os teores de K, Ca, Mg e S foram superestimadas, demonstrando que a aplicação de adubos pode induzir ao acesso destes nutrientes. Isso mostra que a recomendação regional para a videira está superestimando a necessidade de aplicação dos nutrientes, o que pode estar acima da demanda das videiras, elevando seus teores em solos de vinhedos. Com isso, aumenta o potencial de contaminação/poluição por lixiviação, mas, especialmente por escoamento superficial, uma vez que os vinhedos estão localizados em relevos ondulados.

Por outro lado, os teores de N, P, B, Fe e Zn foram subestimados, indicando que se fosse seguida a recomendação regional para a videira, as plantas poderiam apresentar carência



nutricional, o que pode prejudicar a produtividade, a qualidade e a composição da uva, como também observaram Stefanello *et al.* (2021) e Ciotta *et al.* (2021) em videiras.

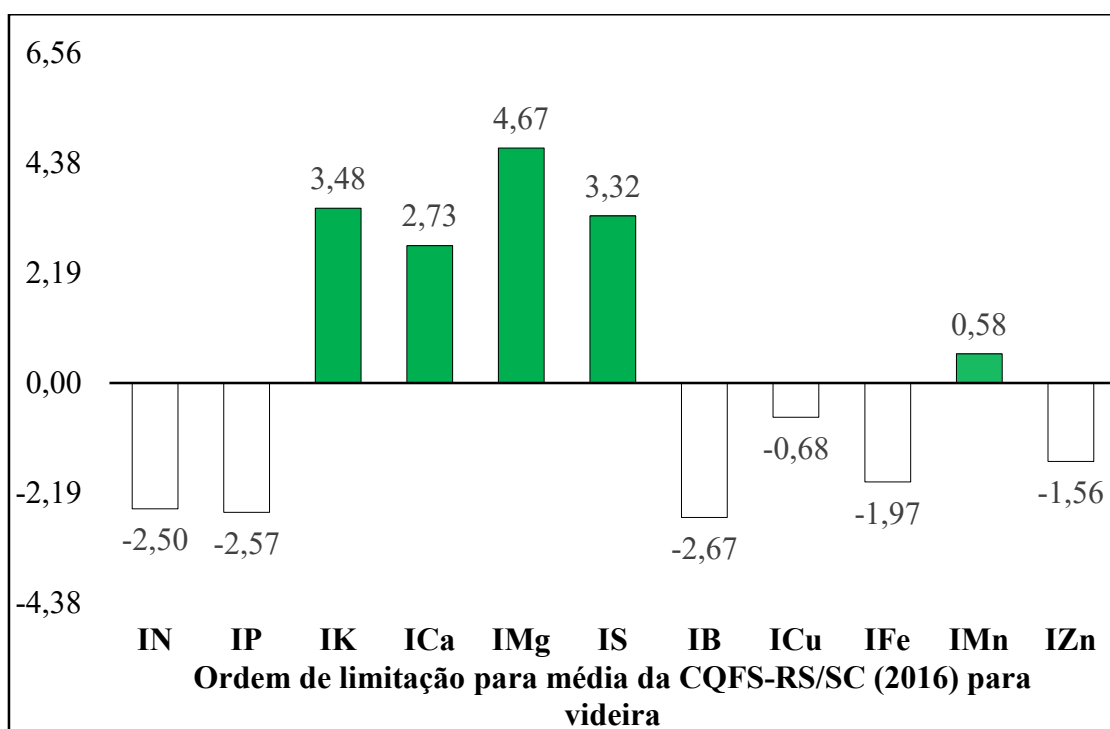


Figura 3 - Comparação entre as concentrações médias recomendadas para videiras (CQFS-RS/SC, 2016) e o índice de desequilíbrio nutricional (CND-r<sup>2</sup>) da população de alta produtividade.

Esses resultados demonstram que o atual sistema regional de interpretação das concentrações de nutrientes em folhas de videiras promove o desbalanço nutricional. Além disso, fica claro que apenas um padrão de recomendação para videiras cultivadas em dois Estados do Brasil, RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016) é insatisfatório, reforçando a necessidade de geração de valores de referências foliares localmente (ROZANE *et al.*, 2015; PAULA *et al.*, 2021).

Com a construção dos índices CND a partir do banco de dados de videiras, os viticultores poderão utilizar esta ferramenta, analisando os teores foliares de nutrientes em seus vinhedos, a fim de avaliar seu estado nutricional com base no banco de dados gerado na sua região. Este procedimento permitirá o ajuste da aplicação dos fertilizantes, sendo utilizados os que são realmente necessários, o que possibilita maiores produtividades, diminuição do potencial de contaminação de solos e águas (PARENT *et al.*, 2013), além de melhorar a rentabilidade da atividade pela aplicação dos nutrientes realmente demandados pela cultura.

Na Tabela 4 é apresentada a relação do índice CND-r<sup>2</sup> de todos os talhões com a produtividade que, conforme a equação polinomial, apresentou coeficiente de determinação

próximo a zero ( $R^2 = 0,05$ ), classificada como correlação ( $r = 0,22$ ) fraca (DANCEY & REIDY, 2006). Os dados não forneceram informações suficientes para explicar se a produtividade de uva está associada significativamente aos índices de balanço nutricional calculados pelo método. Acredita-se que os baixos índices de correlação se devem a outros fatores que influenciam a produtividade e que não estão relacionados à nutrição das plantas.

Através do método CND calculou-se os índices CND para cada um dos nutrientes, relacionados com seus respectivos teores de nutrientes em folha. Os modelos matemáticos elaborados pela análise de regressão para os nutrientes Ca, Mg, Cu, Mn e Zn, (Tabela 4), obtiveram coeficientes de correlação de Pearson superiores a 80% ( $r > 0,80$ ), classificados como de forte correlação (DANCEY & REIDY, 2006).

Tabela 4 - Modelos estatísticos das relações entre os teores de nutrientes e os índices CND em folhas de videira.

Nutriente	Modelo <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>	Nível Crítico <sup>(2)</sup>
N	$IN = -0,0000x^2 + 0,0008x - 11,2411^*$	0,24	21,1 g kg <sup>-1</sup>
P	$IP = 0,0000x^2 - 0,0004x + 0,1727^*$	0,44	6,7 g kg <sup>-1</sup>
K	$IK = -0,0000x^2 + 0,0007x - 4,2185^*$	0,06	9,0 g kg <sup>-1</sup>
Ca	$ICa = -0,0000x^2 + 0,0005x - 2,7403^*$	0,81	6,5 g kg <sup>-1</sup>
Mg	$IMg = 1,9839\ln(x) - 14,5065^*$	0,7	1,5 g kg <sup>-1</sup>
S	$IS = -0,0000x^2 + 0,0024x - 3,4906^*$	0,41	2,0 g kg <sup>-1</sup>
B	$IB = 0,0197x - 2,5916^*$	0,35	131,8 mg kg <sup>-1</sup>
Cu	$ICu = 0,6938\ln(x) - 2,5030^*$	0,97	36,9 mg kg <sup>-1</sup>
Fe	$IFe = 0,0200x - 1,7408^*$	0,19	87,0 mg kg <sup>-1</sup>
Mn	$IMn = 1,0646\ln(x) - 6,4077^*$	0,94	411,1 mg kg <sup>-1</sup>
Zn	$IZn = 1,2279\ln(x) - 6,0835^*$	0,88	141,8 mg kg <sup>-1</sup>
Produtividade	$CND-r^2 = 0,0000x^2 - 0,0004x + 17,2841^*$	0,05	-

\* significativo a 1% para o teste de variância constante e Kolmogorov-Smirnov; <sup>(1)</sup> Modelo estatístico da análise de regressão, relacionando os teores de nutrientes com os seus respectivos índices; <sup>(2)</sup> Valores de nível crítico (NC), ou teor adequado, obtidos ao atribuir valor nulo aos índices das equações de cada nutriente.

Os NC (Tabela 4) que correspondem aos teores adequados para cada nutriente no tecido vegetal foram obtidos igualando os índices de cada equação à zero. Os resultados dos modelos

lineares e polinomiais de segunda ordem, pela primeira raiz da fórmula de Bhaskara ( $x' = (-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2})/2a$ ), foram adicionados e subtraídos pelo valor de  $2/3$  do desvio-padrão dos teores de cada nutriente, estabelecendo as FS (Tabela 5).

Tabela 5 - Faixas de suficiência de nutrientes consideradas adequadas em amostras de folhas de videiras obtidas pelo método CND no presente estudo, em comparação com recomendações estabelecidas por outros autores para a mesma cultura cultivada no Brasil.

Referências	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg <sup>-1</sup>					
CND Uva Farroupilha <sup>(1)</sup>	20-24	5,5-7,8	7,8-10,1	4,2-8,6	1,0-2,0	1,5-2,5
Rozane <i>et al.</i> (2020) <sup>(1)</sup>	24-30	2.9-3.8	11-14	12-16	2.6-3.3	3.1-3.8
CQFS-RS/SC (2016) <sup>(2)</sup>	16-24	1.2-4.0	8-16	16-24	2.0-6.0	-
Quaggio and Raij (1997) <sup>(3)</sup>	30-35	2.4-2.9	15-20	13-18	4.8-5.3	3.3-3.8
Melo <i>et al.</i> (2018) <sup>(4)</sup>	24-30	2.9-3.9	11-14	12-16	2.6-3.3	3.1-3.8

Referências	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg <sup>-1</sup>				
CND Uva Farroupilha <sup>(1)</sup>	111-151	37-137	72-102	137-686	52-237
Rozane <i>et al.</i> (2020) <sup>(1)</sup>	27-41	10-14	91-142	398-586	148-254
CQFS-RS/SC (2016) <sup>(2)</sup>	30-65	-	60-150	30-300	25-60
Quaggio & Raij (1997) <sup>(3)</sup>	45-53	18-22	97-105	67-73	30-35
Melo <i>et al.</i> (2018) <sup>(4)</sup>	26-39	10-14	89-140	390-578	150-256

<sup>(1)</sup> Faixas normais obtidas pelas equações igualadas à zero  $\pm 2/3$  do desvio-padrão dos constituintes de cada nutriente; <sup>(2)</sup> e <sup>(3)</sup> amostragens realizadas no início do amadurecimento das bagas (viração da cor); <sup>(4)</sup> amostragem de peciolo.

As FS adequadas para a avaliação de cada nutriente em folhas de videira foram diferentes das observadas em outros estudos realizados no Brasil (Tabela 5). As FS propostas para a realização do diagnóstico nutricional a partir dos teores de nutrientes em folhas foram confrontadas com as faixas indicadas para as videiras cultivadas no estado do RS (MELO, 2018; CQFS-RS/SC., 2016), onde o presente estudo foi realizado. Também, foram comparadas aos resultados observados por Quaggio & Raij (1997), no estado de São Paulo, Brasil. As maiores divergências entre os padrões adequados de nutrientes em folha recomendados no manual que orienta o maior estado produtor de uvas (CQFS-RS/SC, 2016) e o presente estudo foram

observados em P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn. A grande divergência nas FS de Mn e Zn deve-se a aplicações de fungicidas realizadas para o controle e prevenção de doenças em folhas e cachos, como também ocorrem em inúmeras outras frutíferas, como por exemplo em citros (ROZANE *et al.*, 2015).

A aplicação do método CND no banco de dados do presente estudo apresentou FS com números absolutos menores para os macronutrientes N, K, Ca, Mg e S e, com menor amplitude para os nutrientes N, K e Fe do que o relatado na literatura (Tabela 5). Serra *et al.* (2010) consideraram que a menor amplitude da faixa de suficiência uma informação positiva, pois permite maior precisão na avaliação dos resultados do conteúdo foliar.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As associações de multi-nutrientes foram mais eficazes do que a análise de um único nutriente para identificar a limitação de um determinado elemento em relação a produtividade de videiras. Os índices CND- $r^2$  foram eficazes em estabelecer o estado nutricional das videiras 'Moscatto Branco' e 'Bordô', em relação a produtividade e a concentração de nutrientes em folhas de N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn em níveis deficientes, adequados e excessivos.

A proposição dos níveis críticos (NC) e faixas de suficiência (FS) de nutrientes em folhas coletadas no pleno florescimento possibilita a definição da real necessidade da aplicação de nutrientes em vinhedos. Isso poderá contribuir na racionalização do uso de fertilizantes, bem como na manutenção de elevadas produtividades. Além disso, poderá auxiliar a diminuir os custos de produção e os impactos ambientais negativos do uso inadequado de fertilizantes em sistema de produção de uvas.

## REFERÊNCIAS

- ANDA. **Principais indicadores do setor de fertilizantes, 2021**. Disponível em: [https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Principais\\_Indicadores\\_2021.pdf](https://anda.org.br/wp-content/uploads/2022/03/Principais_Indicadores_2021.pdf). Acesso em: Acesso em: 18 NOV. 2022.
- AITCHISON, J. **The Statistical Analysis of Compositional Data**. J. R. Stat. Soc. Ser. B (Stat. Methodol.) 1982, 44, 139–160. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1982.tb01195.x>
- AITCHISON, J. **Principles of compositional data analysis**. Inst. Math. Stat. Lect. Notes Monogr. Ser. 1994, 73–81. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/lnms/1215463786>
- ALI, K., MALTESE, F., CHOI, Y. H., VERPOORTE, R. **Metabolic constituents of grapevine and grape-derived products**. Phytochem. Rev. 9, 2010, p. 357–378. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11101-009-9158-0>
- ARAGÃO, A. CONTINI, E. **O AGRO no Brasil e no Mundo: um panorama do período de 2000 a 2021**. Contini e Aragão, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/26187851/O+agro+no+Brasil+e+no+mundo/098fc6c1-a4b4-7150-fad7-aaa026c94a40>. Acesso em: Acesso em: 18 NOV. 2022.
- BALDE, E., COLUCCI, E., GIOACCHINI, P., VALENTINI, G., ALLEGRO, G., PASTORE, C., FILIPPETTI, I., TOSELLI, M. **Effect of post-bloom foliar nitrogen application on vines under two level of soil fertilization in increasing bud fertility of ‘Trebiano Romagnolo’ (*Vitis vinifera* L.) vine**. Sci. Hort. (Amsterdam). 218, p. 117–124, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.017>
- BEAUFILS, E. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. 1st ed. Pietermaritzburg, 1973.
- BRUNETTO, G., CERETTA, C.A., DE MELO, G.W.B., KAMINSKI, J., TRENTIN, G., GIROTTO, E., FERREIRA, P.A.A., MIOTTO, A., TRIVELIN, P.C.O. **Contribution of nitrogen from agricultural residues of rye to ‘Niagara Rosada’ grape nutrition**. Sci. Hort. (Amsterdam). 169, 2014, 66–70. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2014.02.019>
- BRUNETTO, G., CERETTA, C.A., DE MELO, G.W.B., GIROTTO, E., FERREIRA, P.A.A., LOURENSI, C.R., DA ROSA COUTO, R., TASSINARIA, A., HAMMERSCHMITT, R.K., DA SILVA, L.O.S., LAZZARETTI, B.P., DE SOUZA KULMANN, M.S., CARRANCA, C. **Contribution of nitrogen from urea applied at different rates and times on grapevine nutrition**. Sci. Hort. (Amsterdam). 207, 2016, p. 1–6. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.05.002>
- BRUNETTO, G., LORENSINI, F., CERETTA, C.A., GATIBONI, L.C., TRENTIN, G., GIROTTO, E., MIOTTO, A., LOURENZI, C.R., DE MELO, G.W. **Soil Phosphorus Fractions in a Sandy Typic Hapludaft as Affected by Phosphorus Fertilization and Grapevine Cultivation Period**. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 44, p. 1937–1950, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.794819>

BRUNETTO, G., RICACHENEVSKY, F.K., STEFANELLO, L.O., DE PAULA, B.V., DE SOUZA KULMANN, M.S., TASSINARI, A., DE MELO, G.W.B., NATALE, W., ROZANE, D.E., CIOTTA, M.N., BRIGHENTI, A.F., COMIN, J.J., LOURENZI, C.R., LOSS, A., SCHMITT, D.E., ZALAMENA, J., DE CONTI, L., TIECHER, T.L., DE SOUZA, A.L.K., DE BEM, B.P. Diagnosis and management of nutrient constraints in grape. In: **Fruit Crops**. Elsevier, p 693–710, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00047-2>

CARRANCA, C., BRUNETTO, G., TAGLIAVINI, M. **Nitrogen Nutrition of Fruit Trees to Reconcile Productivity and Environmental Concerns**. *Plants* 7, 4, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants7010004>

CHEN, L., WALLHEAD, M., REDING, M., HORST, L., ZHU, H. **Control of Insect Pests and Diseases in an Ohio Fruit Farm with a Laser-guided Intelligent Sprayer**. *Horttechnology*, 30, p. 168–175, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04497-19>

CIOTTA, M. N. ; CERETTA, CARLOS A. ; KRUG, A. ; BRUNETTO, G.; NAVA, G . **Grape (*Vitis vinifera* L.) production and soil potassium forms in vineyard subjected to potassium fertilization**. *Revista Brasileira de Fruticultura (ONLINE)*, v. 43, p. 1-11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452021682>

CQFS-RS/SC. BRUNETTO, G.; Ernani, P.; Melo, G.W.B.; Nava, G. Adubação de Videira. In **Manual de Calagem e Adubação Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC; Comissão de Química e Fertilidade: Porto Alegre, Brazil, 2016; p. 189–232.

DANCEY C. P., Reidy J. **Estatística sem matemática para psicologia: usando SPSS para Windows**. Porto Alegre: Artmed; 2006.

DE CONTI, L.; CERETTA, C.A.; MELO, G.W.B.; TIECHER, T.L.; STEFANELLO, L.; GARLET, L.P.; MIMMO, T.; CESCO, S.; BRUNETTO, G. **Intercropping of young grapevines with native grasses for phytoremediation of Cucontaminated soils**. *Chemosphere*, 2019, 216, p. 147–156, Disponível em: <https://doi:10.1016/j.chemosphere.2018.10.134>.

DE SOUZA, H.A.; ROZANE, D.E.; AMORIM, D.A.; DIAS, M.J.T.; MODESTO, V.C.; NATALE, W. **Assessment of nutritional status of guava seedlings using preliminary DRIS norms and sufficiency ranges**. *J. Plant Nutr.* 2015, 38, 1611–1618. Disponível em: <https://doi:10.1080/01904167.2015.1017050>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997, 212 p.

GAINES, T.P.; MITCHELL, G.A. **Boron determination in plant tissue by the azomethine H method**. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1979, 10, 1099–1108, Disponível em: <https://doi:10.1080/00103627909366965>.

HAIR, J. J. F.; BLACK, W. C.; SANT'ANNA, A. S. **Análise Multivariada De Dados**. 6th ed.; Grupo A—Bookman: Porto Alegre, Brazil, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cadastro de localidades brasileiras**. IBGE, 2010. Disponível em: <[https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/estrutura\\_territorial/localidades/](https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/localidades/)>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias, 2017**. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro : IBGE, 2017.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ. **Médias climatológicas**. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2021.

KAMBRIRANDA, D., OBUYA, J., SNOWDEN, J., 2020. Grapevine Improvement through Biotechnology. In: **Genetic Transformation in Crops**. IntechOpen. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/intechopen.91851>

KHALIL, A., SHARMA, M., NAZIR, N., BHAT, R., SUNDOURI, A., BANDAY, S., JAVIED, K. **Impact of Fertilizer and Micronutrients Levels on Growth, Yield and Quality of Grape cv. Sahebi**. *Curr. J. Appl. Sci. Technol.*, 2018, 27, 1–9. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/CJAST/2018/41912>

KHAN, M. N.; MOBIN, M.; ABBAS, Z. K.; ALAMRI, S. A. **Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater**. In *Encyclopedia of the Anthropocene*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018, Volume 5, p. 225–240. ISBN 9780128096659.

KHIARI, L.; PARENT, L.-É.; TREMBLAY, N. **Selecting the high-yield subpopulation for diagnosing nutrient imbalance in crops**. *Agron. J.* 2001a, 93, p. 802–808, Disponível em: <https://doi:10.2134/agronj2001.934802x>.

KHIARI, L.; PARENT, L.E.; TREMBLAY, N. **The phosphorus compositional nutrient diagnosis range for potato**. *Agronomy Journal*, 2001b, v. 93, p. 815-819.

KRUG, F.J.; MORTATTI, J.; PESSENDA, L.; ZAGATTO, E.A.G.; BERGAMIN, H. **Flow injection spectrophotometric determination of boron in plant material with azomethine-H**. *Anal. Chim. Acta*, 1981, 125, p. 29–35. Disponível em: [https://doi:10.1016/s0003-2670\(01\)85046-7](https://doi:10.1016/s0003-2670(01)85046-7).

KUMAR, P.S.S., GEETHA, S.A., SAVITHRI, P., MAHENDRAN, P.P., RAGUNATH, K.P. **Evaluation of DRIS and CND indexes for effective nutrient management in Muscat grapevines (*Vitis vinifera*)**. *J. Appl. Hort*, 2003, 5, p. 76–80.

KURIHARA, C.H.; VENEGAS, V.H.A.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; STAUT, L.A. **Sufficiency range for nutrient concentration in cotton and soybean leaves, defined through DRIS indexes**. *Ceres*, 2013, 60. Disponível em: <https://doi:10.1590/S0034-737X2013000300015>.

LABAIED, M.B., KHIARI, L., GALLICHAND, J., KEBEDE, F., KADRI, N., BEN AMMAR,

N., BEN HMIDA, F., BEN MIMOUN, M. **Nutrient Diagnosis Norms for Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) in Tunisian Oases**. *Agronomy*, 2020, 10, 886. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060886>

LATIFI, Z.; JALALI, M. **Trace element contaminants in mineral fertilizers used in Iran**. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018, 25, 31917–31928, Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1810-z>.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press: London, UK, 2012; 3rd ed.

Melo, G.; Rozane, D.; Brunetto, G. **Identification of the critical levels, sufficiency ranges and potential response to nutrient fertilization in vineyards by the DRIS method**. *Acta Hortic.*, 2018, p. 423–430. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1217.55>

MIMMO, T., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Astolfi, S., Lehto, N., Robinson, B., Brunetto, G., Terzano, R., Cesco, S. **Nutrient availability in the rhizosphere: a review**. *Acta Hortic.* 2018, 1217, 13–28. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1217.2>

MURPHY, J.; RILEY, J. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters**. *Anal. Chim. Acta*, 1962, 27, 31–36. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(00)88444-5).

PARENT, L.E.; DAFIR, M. **A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis**. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1992, v. 117, p. 239-242. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/JASHS.117.2.239>

PARENT, L.É.; ISFAN, D.; TREMBLAY, N.; KARAM, A. **Multivariate nutrient diagnosis of the carrot crop**. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. v. 119, p. 420-426, 1994.

PARENT, L.É.; NATALE, W.; ZIADI, N. **Compositional nutrient diagnosis of corn using the Mahalanobis distance as nutrient imbalance index**. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 89, p. 383-390, 2009.

PARENT, L.-É., 2011. **Diagnosis of the nutrient compositional space of fruit crops**. *Rev. Bras. Frutic.* 33, 321–334. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000100041>

PARENT, S.-É.; PARENT, L.E.; ROZANE, D.E.; NATALE, W. **Plant ionome diagnosis using sound balances: Case study with mango (*Mangifera indica*)**. *Front. Plant Sci.* 2013, 4, 449. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00449>.

PAULA, B. V. ; MARQUES, A. C. R. ; ROZANE, D. E. ; NATALE, W. ; MELO, G. W. B. ; BRUNETO, GUSTAVO . **Kinetic parameters estimation for increasing the efficiency of nutrient absorption in fruit trees**. *Revista Brasileira de Fruticultura (ONLINE)*, 2021, v. 43, p. 1-8.

PIO, R., Souza, F.B.M. de, Kalcsits, L., Bisi, R.B., Farias, D.D.H., 2018. **Advances in the production of temperate fruits in the tropics**. *Acta Sci. Agron.* 41, 39549. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39549>



PRADO, R.M., ROZANE, D.E. **Leaf analysis as diagnostic tool for balanced fertilization in tropical fruits**. In: Elsevier (Ed.), *Fruit Crops*. Elsevier, 2020, p. 131–143. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00011-3>

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V. **Frutíferas**. In *Recomendação de Adubação e Calagem Para o Estado São Paulo—Boletim Técnico 100*; Raij, B.V., Cantarella, H., Quaggio, J.A., Furlani, A.M.C., Eds.; Instituto Agronômico: Campinas, Brazil, 1997, p. 121–125.

QUIROGA, M. J., OLEGO, M. Á., SÁNCHEZ-GARCÍA, M., MEDINA, J. E., VISCONTI, F., COQUE, J. J. R., GARZÓN JIMENO, J. E., 2017. **Effects of liming on soil properties, leaf tissue cation composition and grape yield in a moderately acid vineyard soil**. Influence on must and wine quality. *OENO One* 51, 343. Disponível em: <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2017.51.4.2039>

ROZANE, D. E.; NATALE, W.; PARENT, L. E.; PARENT, S. E.; SANTOS, E. M. H. The CND-Goiaba 1.0 software for nutritional diagnosis of guava (*Psidium guajava* L.) 'Paluma', in Brazil. *Acta Horticulturae*, 2012, v. 959, p. 161-166. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/73599>

ROZANE, D. E.; MATTOS, D.; PARENT, S.-É.; NATALE, W.; PARENT, L. É. **Meta-analysis in the selection of groups in varieties of citrus**. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2015, 46, 1948–1959, Disponível em: <https://doi:10.1080/00103624.2015.1069307>

ROZANE, D.E.; BRUNETTO, G.; MELO, G.W.B.; NATALE, W.; PARENT, S.E.; SANTOS, E.M.H.; ZALAMENA, J.; PARENT, L.E. **Avaliação do estado nutricional de videiras pela Diagnose da Composição Nutricional - CND**. In: MELO, G. W. B.; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C.A. (Org.). *Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras*. 2016. p. 45-60. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156889/1/Avaliacao-do-estadonutricional-de-videiras-pela-Diagnose-da-Composicao-Nutricional-CND.pdf>.

ROZANE, D. E., PAULA, B.V. de; MELO, G. W. B. De; SANTOS, E. M. H. Dos; TRENTIN, E.; MARCHEZAN, C.; SILVA, L. O. S. Da; TASSINARI, A.; DOTTO, L.; NUNES DE OLIVEIRA, F.; NATALE, W.; BALDI, E.; TOSELLI, M.; BRUNETTO, G. **Compositional Nutrient Diagnosis (CND) Applied to Grapevines Grown in Subtropical Climate Region**. *Horticulturae* 6, 56, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/horticulturae6030056>

ROZANE, D. E.; PARENT, L. E.; NATALE, W. **Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status**. *Científica*. (Jaboticabal. Print), v. 44, p. 102-112, 2015.

SERIO, F., MIGLIETTA, P. P., LAMASTRA, L., FICOCELLI, S., INTINI, F., DE LEO, F., DE DONNO, A. **Groundwater nitrate contamination and agricultural land use: A grey water footprint perspective in Southern Apulia Region (Italy)**. *Sci. Total Environ.* 645, 1425–1431, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.241>

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. **Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação do estado nutricional da cultura do algodoeiro**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2010, 34, 97–104, doi:10.1590/s0100-06832010000100010.

SETE, P.B., MELO, G.W.B. de, OLIVEIRA, B.S., FREITAS, R.F., Magro, R.D., Ambrosini, V.G., Trapp, T., Comin, J.J., Gatiboni, L.C., Brunetto, G. **Loss of soil nitrogen and peach yield with the addition of organic compost.** *Ciência Rural* 45, 651–657, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131232>

SILVA, L. O. S.; SCHWALBERT, R. ; SCHWALBERT, R. A. ; DRESCHER, G. ; De Conti L ; POTT, L. P. ; TASSINARI, A. ; KULMANN, M. S. S. ; SILVA, I. C. B. ; BRUNETTO, G. . **Ideal nitrogen concentration in leaves for the production of high-quality grapes cv ‘Alicante Bouschet’ (*Vitis vinifera* L.) subjected to modes of application and nitrogen doses.** *EUROPEAN JOURNAL OF AGRONOMY*, v. 123, p. 126200, 2021.

STEFANELLO, L. O., SCHWALBERT, R., SCHWALBERT, R. A., DE CONTI, L., KULMANN, M. S. de S., GARLET, L. P., SILVEIRA, M. L. R., SAUTTER, C. K., DE MELO, G. W. B., ROZANE, D. E., BRUNETTO, G. **Nitrogen supply method affects growth, yield and must composition of young grape vines (*Vitis vinifera* L. cv Alicante Bouschet) in southern Brazil.** *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 261, 108910, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108910>

STEFANELLO, L.O., SCHWALBERT, R., SCHWALBERT, R.A., DRESCHER, G.L., DE CONTI, L., POTT, L.P., TASSINARI, A., KULMANN, M.S. de S., DA SILVA, I.C.B., BRUNETTO, G. **Ideal nitrogen concentration in leaves for the production of high-quality grapes cv ‘Alicante Bouschet’ (*Vitis vinifera* L.) subjected to modes of application and nitrogen doses.** *Eur. J. Agron.* 123, 126200, 2021.

STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F.S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008, 222 p.

TISDALE, S. L., NELSON, W. L., BEATON, D. J. **Soil fertility and fertilizers.** 4th ed. Macmillan Publishing Company, New York, 1985.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H. **Análises de Solo, Plantas e Outros Materiais.** UFRGS: Porto Alegre, Brazil, 1995.

VAN DEN BOOGAART, K.; TOLOSANA, R.; BREN, M. **“Compositions”: Compositional data analysis in R package.** *Comput. Geosci.* 2013. doi:10.1007/978-3-642-36809-7.

WANG, W., Wu, X., Yin, C., Xie, X., 2019. **Nutrition loss through surface runoff from slope lands and its implications for agricultural management.** *Agric. Water Manag.* 212, 226–231. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.007>

## 5 DISCUSSÃO GERAL

Desde o surgimento da agricultura, o uso e o manejo inadequados do solo geraram processos de degradação e impactos na capacidade dos seres humanos em prover suas necessidades, sendo um desafio histórico à humanidade a manutenção da fertilidade do solo. Com a revolução industrial e, a consequente industrialização da agricultura, rompe-se a integração milenar entre a criação de animais e o cultivo de plantas, que cumpria função essencial na manutenção da capacidade produtiva dos solos, como também as recentes rotações e sucessões de cultivos (EHLERS, 1996; MAZOYER, 2010).

Assim, a partir de meados do século XX, com a consolidação das novas tecnologias industriais voltadas para a agricultura, o ser humano passou a ter meios para o maior controle sobre a natureza e os processos produtivos (EHLERS, 1996; GOODMAN, 1990; ALMEIDA, 2009; CAPORAL e COSCATABEBER, 2004). Nesse processo, com a massificação do uso dos fertilizantes minerais solúveis e sintéticos e a motomecanização, os agricultores foram diminuindo até se desfazerem de seus rebanhos, como também abandonaram as rotações de cultivos e se especializaram no cultivo de grãos e cereais. Os sistemas de produção agrícola tornaram-se simplificados e especializados, com o uso de monoculturas em larga escala, e altamente intensivos no uso de insumos industriais (sementes selecionadas, adubos, agrotóxicos e motomecanização) (EHLERS, 1996).

Dessa forma, com a difusão e a ampliação deste modelo baseado no uso intensivo de insumos industriais, começaram a surgir impactos negativos no âmbito social, ambiental e econômico. Dentre eles, é importante destacar o acelerado êxodo rural, a contaminação do solo, da água e dos alimentos; a degradação dos solos por erosão; a queda no preço relativo dos alimentos e o endividamento dos agricultores. Além disso, este modelo de agricultura é altamente dependente do uso elevado de energias e dos recursos naturais não renováveis, como por exemplo o petróleo e reservas minerais para produção de adubo, padrão que não se sustenta a curto e médio prazo.

Em relação ao solo, é importante frisar que este é considerado um recurso natural não renovável, pelo longo tempo que demora para se formar. Esses exercem funções essenciais para a manutenção dos seres vivos na Terra, como a produção de alimentos e serviços ecossistêmicos. O documento organizado pela ONU, o Estado Mundial do Recurso Solo (FAO, 2015b), apontou que cerca de 33% dos solos estão de moderado a altamente degradados devido a erosão hídrica e eólica, perda de carbono orgânico, desequilíbrio de nutrientes, salinização, contaminação, acidificação, perda de biodiversidade, impermeabilização, compactação e

encharcamento, sendo a atividade agrícola a principal responsável pelos processos de degradação (FAO, 2015b).

Nesse contexto, fica evidente a necessidade urgente de mudanças no uso e manejo do solo. Para isso, é fundamental ter um olhar sistêmico do solo, em que a fertilidade sistêmica do solo é o resultado de interações de diversos componentes relacionados aos seus atributos químicos, físicos e biológicos, “gerada pelo fluxo contínuo de energia e matéria, capaz, de proporcionar o bom funcionamento do solo, revelado na disponibilidade e estoque de nutrientes, fluxos de gases, água e solutos e diversidade e atividade biológica” (ANGHINONI e VEZZANI (2021). A partir dessa compreensão, a fertilidade do solo e, conseqüentemente, o estado nutricional das plantas, não dependem única e exclusivamente da quantidade e da disponibilidade de nutrientes presente no solo e do aporte de adubos, mas sim do seu bom funcionamento do agroecossistema de forma integral.

Atualmente, a forma tradicional de proporcionar a adequada nutrição de plantas está focada na recomendação de calagem e a adubação. Para realizar esta prática em vinhedos na região da “Serra Gaúcha” do RS, a principal referência é o Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016), que a partir do terceiro ano de cultivo, para mudas enxertadas, baseia a recomendação de adubação com base na análise de teores de nutrientes em folhas. Contudo, sabe-se que o comportamento dos diferentes porta-enxertos e copas, cultivadas em diferentes condições edafoclimáticas, têm comportamentos distintos na absorção de nutrientes. Nesse contexto, o presente trabalho propôs de NC e FS de teores de nutrientes em folhas e o desenvolvimento do *software* “CND Uva Farroupilha”, elaborados com base em um banco de dados local, é uma importante evolução para a viticultura da Serra Gaúcha.

A partir de uma abordagem sistêmica para a tomada de decisão sobre a melhor forma de realizar a adubação e as demais práticas de manejo do solo e do sistema de produção, a análise de nutrientes em folhas deve ser realizada em conjunto com outras ferramentas. Os resultados obtidos via CND devem ser integrados à outras análises, como por exemplo, a análise química do solo e/ou com a análise biológica do solo, para uma avaliação holística e interdisciplinar dos sistemas de produção. Quando for necessário o aporte de nutrientes, em uma perspectiva de sustentabilidade, deve-se priorizar o uso de matérias primas locais, oriundos da reciclagem de nutrientes, em detrimento dos insumos originados a partir fontes de recursos naturais não renováveis e extraídos e produzidos em locais distantes, como por exemplo os adubos NPK industriais. Com esse trabalho espera-se contribuir para o uso racional de adubos e mitigar os potenciais efeitos de contaminação do solo, ar e da água, como também,

proporcionar o equilíbrio nutricional dos vinhedos, com o aumento da produtividade e a diminuição dos custos de produção.

No entanto, salienta-se que para melhorar a capacidade produtiva do solo e de prover serviços ecossistêmicos, deve-se minimizar seus processos de degradação, como: erosão, desestruturação, compactação e impermeabilização, contaminação por substâncias tóxicas (adubos, agrotóxicos e outras). Também, deve-se adotar práticas que melhorem a fertilidade do solo através do aumento dos teores de matéria orgânica do solo, da biodiversidade e suas funções, melhoria da estrutura do solo e sua capacidade de armazenagem de água e nutrientes, potencialização dos fluxos de nutrientes e minimize as perdas e da manutenção de cobertura na superfície do solo (plantas, resíduos vegetais e outros). Para isso, é fundamental diminuir o revolvimento e o tráfego de máquinas no solo; cultivar plantas de adubação verde e de cobertura; realizar a sucessão e rotação de cultivos, aumentar a biodiversidade de espécies manejadas (plantas, animais, microrganismo) e o uso criterioso de adubos e corretivos.

## 6 PRODUTOS

Realizou-se a análise dos teores de nutrientes em folhas e o registro da produtividade em 105 vinhedos, 51 da cultivar Bordô e 54 da cultivar Moscato Branco, compondo um banco de dados. Este foi trabalhado utilizando o método CND, elaborando-se um *software* para realizar a avaliação do estado nutricional a partir da análise de nutrientes em folhas completas, coletadas na fase de pleno florescimento, juntamente com os dados de produtividade das videiras. O *software* foi denominado de “CND Uva Farroupilha” e está disponível gratuitamente no seguinte endereço eletrônico: [https://web.registro.unesp.br/sites/cnd\\_uvafarroupilha/](https://web.registro.unesp.br/sites/cnd_uvafarroupilha/).

O *software* indica quais nutrientes estão em excesso, deficiência e normalidade, não fazendo a indicação de quantidade de nutrientes a serem utilizados na adubação. Com isso, é indispensável que a interpretação dos resultados e a recomendação de adubação seja realizada por profissional habilitado, sendo o diagnóstico do equilíbrio nutricional, com base na análise foliar e no uso do *software*, é mais um elemento para fundamentar a recomendação de adubação e demais práticas de manejo relacionadas. É importante salientar, que a interpretação da análise foliar através do CND deve ser, no mínimo, associada a análise química de solo. A realização da análise química do solo e dos teores de nutrientes em folha, são duas ferramentas complementares para avaliar e monitorar o equilíbrio nutricional de plantas.

Além disso, para fins de divulgação e uso prático dos resultados da pesquisa, foram publicados dois boletins técnicos: um intitulado “Proposições de níveis críticos em folhas de videiras”, que está disponível no endereço eletrônico <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230658>; e o outro é intitulado “Diagnóstico da fertilidade do solo e níveis críticos de nutrientes em folhas de videiras ‘Bordô’ e ‘Moscatto Branco’”, que está disponível no endereço eletrônico <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234264>.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa é fruto de um trabalho coletivo, onde houve a integração entre universidades (UERGS, UFSM, UNESP), setor produtivo (associação, cooperativa, empresas e agricultores) e o poder público local (Prefeitura Municipal de Farroupilha). Com a contribuição de cada um foi possível construir um banco de dados que deu origem ao *software* “CND Uva Farroupilha”, tecnologia construída de forma coletiva com diferentes atores interessados no desenvolvimento da cadeia produtiva da uva e com base nas áreas de produção dos vitivinicultores locais, sendo assim uma ferramenta apropriada a realidade de produção da região da Serra Gaúcha.

Com isso, foi possível o desenvolvimento de uma ferramenta prática e operacional, o *Software* “CND Uva Farroupilha”, além de dois boletins técnicos com os resultados parciais da pesquisa. Assim, o presente trabalho espera contribuir para a avaliação e o monitoramento do estado nutricional de videiras na principal região produtora do País. A partir do estudo, espera-se auxiliar técnicos e agricultores na tomada de decisão em relação a aplicação ou não de fertilizantes em solos de vinhedos, bem como contribuir para a avaliação e a adoção de demais práticas de manejo sustentável do solo. Além do mais, objetiva-se contribuir para o melhor equilíbrio nutricional das plantas e mitigar os possíveis efeitos de contaminação da água, ar e do solo pelo aporte excessivo de nutrientes, bem como obter índices satisfatórios de produtividade com qualidade dos frutos e baixos custos de adubação.

Destaca-se que a avaliação para duas cultivares em duas safras é pouco e que é necessário a continuidade das pesquisas, tanto na ampliação do banco de dados do CND Uva Farroupilha, durante mais safras e avaliando outras cultivares, como para desenvolver parâmetros de interpretação e recomendação de doses de nutrientes a serem aportados ao solo. Ademais, é fundamental o desenvolvimento de outras ferramentas complementares para a

avaliação dos agroecossistemas, como por exemplo a análise da atividade biológica do solo, para serem utilizadas de forma integrada às ferramentas já existentes, como a análise química do solo e o CND.

## **8. PERSPECTIVAS DE ESTUDOS**

I) Correlacionar o equilíbrio nutricional das plantas, produtividade dos vinhedos e quantidade de nutrientes no solo com as características biológicas dos solos. Que influências as características biológicas do solo têm no equilíbrio nutricional e na produtividade em vinhedos?

II) Avaliar a relação entre o equilíbrio nutricional das plantas e o grau de incidência de pragas e doenças em vinhedos.

III) Investigar como outras práticas de manejo do solo (adubação orgânica, não revolvimento do solo, uso de plantas de cobertura, não utilização de herbicida e outras) influenciam no equilíbrio nutricional de plantas.

IV) Desenvolver um conjunto de indicadores para avaliar e monitorar a sustentabilidade do uso e manejo do solo em sistemas de produção de uva.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMOVAY, R. “A atualidade do método de Josué de Castro e a situação alimentar mundial”. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília: v. 3-4, p. 81-102, Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, julho-dezembro de 1996.
- AITCHISON, J. The statistical analysis of compositional data. **Journal of the Royal Statistical Society**. Series B (Methodological) , 1982, v. 44, n. 2, p. 139-177.
- AITCHISON, J. **Statistical analysis of compositional data**. New York: Chapman and Hall, 1986. 402 p.
- ALMEIDA, J. Apresentação a quinta edição. *In*: ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2004.
- ALMEIDA, J. Da ideologia do progresso à ideia de desenvolvimento (rural) sustentável. *In*: ALMEIDA, J.; NAVARRO, Z. (Orgs.). **Reconstruindo a agricultura: ideias e ideais na busca do desenvolvimento rural sustentável**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2009.
- ALTIERI, M. A. Entrevista. **Agricultura Sustentável**, Jaguariúna, v.2, n.2, p.5-11, jul./dez. 1995.
- ALTIERI, Miguel. **Biotecnologia agrícola: mitos, riscos ambientais e alternativas**. Petrópolis: Vozes, 2004. p.
- ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. de C.; COSTA, S. E. V. G. de A. **Abordagem sistêmica do solo em sistemas integrados de produção agrícola e pecuária no subtropico brasileiro**. *Tópicos Ci. Solo*, 8:325-380, 2013.
- ANGHINONI, I.; VEZZANI, F. M. *ReVISTA Brasileira de Ciência do solo*. **Systemic Soil Fertility as product of system self-organization resulting from management**. *Rev Bras Cienc Solo*, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGROECOLOGIA. **Quem somos**. Disponível em: <https://aba-agroecologia.org.br/sobre-a-aba-agroecologia/sobre-a-aba/> . Acesso em: 25 NOV. 2022.
- BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p. (*Soil Science Bulletin*, 1).
- BEVERLY, R. B. Fertilizer use efficiency: modified DRIS method for simplified nutrient diagnosis of ‘Valencia’ oranges. **Journal of plant Nutrition**, 1987, v. 10, n. 9-16, p.1. 401-1.408.
- BISSANI, C. A.. GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. De O. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Genesis, 2004.
- BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Produção Nacional de Fertilizantes, Estudos Estratégicos**. Brasília: SAE, 2020, 26 p. Disponível em:



[https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf). Acesso em: Acesso em: 18 NOV. 2022.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050)**. Brasília: SAE, 2021, 195 p.1v.: il.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e Extensão Rural: Contribuições para a Promoção do Desenvolvimento Rural Sustentável**. Brasília: MDA/SAF, 2004.

COMISIÓN MUNDIAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO. **Nuestro futuro comum**. Naciones Unidas, 1987.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. Geocologia: o clima, os solos e a biota. In: ROSS, Jurandyr L. Sanches. (Org.). **Geografia do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2019. 6 ed. 3 reimp. (Didática; 3). P. 67-208.

CQFS-RS/SC. BRUNETTO, G.; Ernani, P.; Melo, G.W.B.; Nava, G. Adubação de Videira. In **Manual de Calagem e Adubação Para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC; Comissão de Química e Fertilidade: Porto Alegre, Brazil, 2016; p. 189–232.

EHLERS, E. **Agricultura Sustentável: Origens e perspectivas de um novo paradigma**. São Paulo: Livros da Terra, 1996.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Revised World Soil Charter**. Rome: FAO, 2015.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Status of the World's Soil Resources**. Rome: FAO, 2015b.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management**. Rome: FAO, 2017.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The international Code of Conduct for the sustainable use and management of fertilizers**. Rome: FAO, 2019.

FÉRTIL. In: **DICIO, Dicionário Online de Português**. Porto: 7Graus, 2022. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/risco/>>. Acesso em: 23/11/2022.

FILHO, J. T.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. **Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais**. R. Bras. Ci. Solo, 23:393-399, 1999.

FIXEN, P. E. **Reservas Mundiais dos Nutrientes de Fertilizantes**. Informações Agronômicas, n. 126, jun. 2009. p. 8-14. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/CE8D1194D310B3E583257A9000139C69/\\$FILE/Page8-14-126.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/CE8D1194D310B3E583257A9000139C69/$FILE/Page8-14-126.pdf)>. Acesso em: 7 jun. 2019.

GLIESSMAN, S. R. (ed.). **Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture**. New York: Springer-Verlag, 1990.

HOLLAND, D. A. The interpretation of leaf analysis. **Journal of Horticultural Science**, 1966, v. 41, n. 4, p. 311-329.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias, 2017**. IBGE, Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro : IBGE, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>>. Acesso em: 09 mai. 2022.

LAGATU, H.; MAUME, L. **Le diagsonic foliaire de la pomme de terre**. Ann. Ecology Nature Agriculture, Montpellier, 1934a, v.22, p.50-158.

LAGATU, H.; MAUME, L. **Recherches sur lê diagnostic foliaire**. Ann. Ecology Nature Agriculture, Montpellier, 1934b, v.22, p. 257-306.

LAPPE, F. M., BAILEY, B. **Against the grain: Biotechnology and the Corporate Takeover of Food**. Monroe, ME: Common Courage Press. 1998.

LIEBIG, Justus von. **Organic chemistry in its application to agriculture and physiology**. Londres: Taylor and Walton, 1840.

LUTZENBERGER, J. A. **Fim do Futuro?** Manifesto Ecológico Brasileiro (3ª edição). Porto Alegre: Movimento, Editora da UFRGS, 1983.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006, 638 p.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das Agriculturas no Mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010.

MELLO, L. M. R. de; MACHADO, C. A. E. **Cadastro vitícola do Rio Grande do Sul: 2013 a 2015**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

MELLO, L. M. R. de. **Comunicado Técnico 223 - Vitivinicultura brasileira: panorama 2020**. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, 2021.

MENDES, I. de C. et al. **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2015.

PARENT, L. E.; DAFIR, M. **A theoretical concept of compositional nutrient diagnosis**. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1992, v. 117, n. 2, p. 239-242.

PIMENTEL, D.; HURD, L. E.; BELLOTTI, A. C.; FORSTER, M. J.; OKA, I. N.; SHOLES, O. D.; WHITMAN, R. J. **Food production and energy crisis**. Science, n.182, p. 443-449, 1973.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo, SP: Nobel, 2002.

REDE BRASILEIRA DE PESQUISA EM SOBERANIA E SEGURANÇA ALIMENTAR (REDE PENSSAN). **II VIGISAN: Encuesta Nacional sobre Inseguridad Alimentaria em el Contexto de la Pandemia de COVID-19 em Brasil**. Rio de Janeiro: Rede Penssan, 2022. Disponível em: <https://olheparaafome.com.br/wp-content/uploads/2022/09/OLHESumExecutivoESPANHOL-Diagramacao-v2-R01-02-09-20224211.pdf>. Acesso em: Acesso em: 18 NOV. 2022.

REINHARDT, D. H. R. C. **Desenvolvimento e sustentabilidade na fruticultura de exportação**. In: TELHADO, S.F.P. e; CAPDEVILLE, G. de (eds. técnicos). (Org.). *Tecnologias poupa-terra*. 01 ed. Brasília: Embrapa, 2021, v. 1, p. 19-42.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017, 573 p.

TONIETTO, J.; ZANUS, M. C.; FALCADE, I.; TAFFAREL, J. C.; GUERRA, C. C. **O regulamento de uso da indicação geográfica Farroupilha: vinhos finos moscatéis**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2017. 46 p.

UPHOFF, N.; ALTIERI, M. A. **Alternatives to conventional modern agriculture for meeting world food needs in the next century (Report of a Bellagio Conference)**. Ithaca, NY: Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development, 1999.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

**Imagem 1.** Reunião entre AFAVIN, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Rural de Farroupilha, UERGS e UFSM. Farroupilha/RS, 01 de julho de 2019.



**Fonte:** AFAVIN

**Imagem 2.** Reunião entre AFAVIN, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Rural de Farroupilha, UERGS e UFSM. Farroupilha/RS, 01 de julho de 2019.



**Fonte:** AFAVIN

**Imagem 3.** Coleta de folhas em áreas da cultivar Bordô. Farroupilha/RS, 25 de outubro de 2019.



Fonte: Acervo do projeto

**Imagem 4.** Coleta de folhas da cultivar bordô. Farroupilha/RS, 25 de outubro de 2019.



Fonte: Acervo do projeto

**Imagem 5.** Visita para inclusão de produtores de uva da cultivar Moscato Branco. Farroupilha/RS, 03 de novembro de 2019.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 6.** Visita a pomar de pêsego durante coleta de frutos em áreas da cultivar Moscato Branco. Farroupilha/RS, 30 de novembro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 7.** Coleta de frutos em áreas da cultivar bordô. Farroupilha/RS, 24 de janeiro de 2020.



Fonte: Acervo do projeto

**Imagem 8.** Contagem de cachos para estimativa de produtividade da cultivar Moscato Branco. Farroupilha/RS, 14 de fevereiro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto



**Imagem 9.** Pesagem de cachos para estimativa de produtividade de uva Moscato Branco. Farroupilha/RS, 14 de fevereiro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 10.** Coleta de amostra de solo em vinhedo de Moscato Branco. Farroupilha/RS, 14 de fevereiro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 11.** Mistura das subamostras de solo. Farroupilha/RS, 14 de fevereiro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 12.** Coleta de solo em vinhedos da cultivar Bordô. Farroupilha/RS, 15 de fevereiro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 13.** Coleta de amostra de solo. Farroupilha/RS, 15 de fevereiro de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 14.** Realização das análises de solo. Santa Maria/RS, 25 de maio de 2020.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 15.** Atividade de apresentação dos resultados parciais da pesquisa, outubro de 2021.



**Fonte:** Acervo do projeto

**Imagem 16.** Atividade de apresentação dos resultados da pesquisa, janeiro de 2022.



**Fonte:** Acervo do projeto