

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Antonio Luiz Martins Gutheil

**PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE  
(CDP): UM ESTUDO DE CASO**

Santa Maria, RS  
2023

**Antonio Luiz Martins Gutheil**

**PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE (CDP): UM  
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Manejo de sítio específico de solo e planta, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luís Santi

Santa Maria, RS,

2023

MARTINS GUTHEIL, ANTONIO LUIZ  
PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE (CPD):  
UM ESTUDO DE CASO / ANTONIO LUIZ MARTINS GUTHEIL.  
2023.  
66 p.; 30 cm

Orientador: ANTONIO LUIS SANTI  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em  
Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. VARIABILIDADE ESPACIAL 2. AMBIENTE DE PRODUÇÃO 3.  
INTERAÇÕES 4. PRODUTIVIDADE I. SANTI, ANTONIO LUIS II.  
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, ANTONIO LUIZ MARTINS GUTHEIL, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Antonio Luiz Martins Gutheil**

**PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE (CDP): UM  
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Manejo de sítio específico de solo e planta, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

**Aprovado em 04 de Setembro de 2023:**

---

**Dr. Antônio Luis Santi (UFSM)**

(Presidente/Orientador)

---

**Dr. Alexandre Russini**

---

**Dr. André Luis Vian**

Santa Maria, RS

2023

## DEDICATÓRIA

*A minha esposa Emanuele Lacerda Arndt pelo carinho, afeto, dedicação que tanto admiro e aos meus filhos Rafael Arndt Gutheil e Gabriela Arndt Gutheil minhas razões de viver.*

*A minha querida família, que tanto admiro, dedico o resultado do esforço realizando ao longo deste percurso.*

Dedico esse título a vocês!

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus, essa força maior, que me guia e ilumina meus pensamentos, agradeço também pela minha determinação de poder lutar por meus objetivos.

Dedico essa dissertação de mestrado à todas as pessoas que eu conheci nesse período, a troca de experiência me mostrou algo novo e importante na minha vida profissional.

Agradeço aos meus Pais falecidos Lucia Martins Gutheil e Hélio Gutheil, pelo amor, carinho, compreensão, respeito, educação que me ensinaram e instigaram minhas maiores virtudes e por todo o esforço em poder tornar meus sonhos possíveis.

A minha esposa Emanuele Lacerda Arndt, pelos incentivos, pela compreensão, e a confiança em mim depositada.

Agradeço ao professor Doutor Antônio Luís Santi por sua amizade e orientação ao longo de minha caminhada acadêmica, a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, através do PPGAP- Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão pela oportunidade.

Aos meus colegas de PPGAP, especialmente ao Guilherme Lobato e Geraldo Gerlach por todas as experiências compartilhadas, pelas parcerias nos trabalhos, pela amizade que fiz, meu muito obrigado.

E agradeço também a empresa Bayer do Brasil pela confiança e credibilidade e por me apoiarem nesse projeto de aprimoramento profissional, e a todos os demais colegas de empresa por sempre estarem dispostos a ajudar, a ensinar. A todos aqueles que não foram lembrados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização de meu mestrado, os meus sinceros agradecimentos.

## EPÍGRAFE

*“Só fazemos melhor aquilo que repetidamente insistimos em melhorar.  
A busca da excelência não deve ser um objetivo, e sim um hábito”.*

*Aristóteles*

*“Livros não mudam o mundo,  
quem muda o mundo são as pessoas.  
Os livros só mudam as pessoas”.*

*Mario Quintana*

## RESUMO

### PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE (CDP): UM ESTUDO DE CASO

Autor: Antonio Luiz Martins Gutheil

Orientador: Antônio Luis Santi

O plantio direto diminui a emissão de gases estufa, o que é muito positivo para o planeta. Isso se deve ao fato de esse sistema ser muito utilizado para a produção de grãos no Brasil, como feijão, soja, milho, arroz e trigo. Tais produções não demandam o preparo do solo, reduzindo bastante a emissão de gases. A geração atual de produtores(as) agrícolas colhe os frutos da busca contínua da ciência quando o assunto é diagnosticar e tratar apenas os problemas existentes, sempre da forma mais correta possível. Hoje, a melhor forma de ser assertivo e correto no manejo de áreas agrícolas é adotando os chamados Ambientes de Produção (zonas de alto, médio e baixo potencial produtivo), com objetivo de conhecer os fatores que compõem a formação de determinado solo e suas interações hídricas, físicas, químicas e/ou morfológicas com a cobertura vegetal. Com isso este trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espacial dos diferentes ambientes de produção, cruzando dados para obtenção de bons diagnósticos, prognósticos e transformar dado em informação passível de tomada de decisão. Este manejo visou o aprimoramento das áreas visando tratar de uma situação no espaço e no tempo, ou seja, delimitar regiões para ser mais assertivos. Assim a compreensão e a aplicação dos diferentes ambientes de produção formam diferenciadas para alcançar sustentabilidade e alavancar rentabilidade ao produtor. O estudo foi conduzido a partir do ano agrícola 2017 até 2021 nas 13 áreas participantes do Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade. As análises foram realizadas em áreas de plantio direto, distribuídas em 13 municípios do Norte do RS.

**Palavras-chave:** Variabilidade espacial. Ambiente de produção. Interações. Produtividade.

## ABSTRACT

### PROJECT BUILDING AND CHALLENGING PRODUCTIVITY (CDP): A CASE STUDY

Autor: Antonio Luiz Martins Gutheil

Orientador: Antônio Luis Santi

Direct planting reduces the emission of greenhouse gases, which is very positive for the planet. This is due to the fact that this system is widely used for the production of grains in Brazil, such as beans, soybeans, corn, rice and wheat. Such productions do not require soil preparation, greatly reducing gas emissions. The current generation of agricultural producers reaps the fruits of the continuous search for science when it comes to diagnosing and treating only existing problems, always in the most correct way possible. Today, the best way to be assertive and correct in the management of agricultural areas is to adopt the so-called Production Environments (high, medium and low fertility zones), with the aim of knowing the factors that make up the formation of a given soil and its water interactions, physical, chemical and/or morphological with the vegetation cover. Thus, this work aimed to evaluate the spatial variability of the different production environments, crossing certain data to obtain good diagnoses, prognoses and transform data into information that can be used for decision making. This management aimed at improving the areas in order to deal with a situation in space and time, that is, to delimit regions to be more assertive. Thus, the understanding and application of the different production environments are differentiated to achieve sustainability and leverage profitability for the producer. The Study was conducted from the 2017 agricultural year until 2021 in the 13 areas participating in the Building and Challenging Productivity Project. The analyzes were carried out in no-tillage areas, distributed in 13 municipalities in the North of RS.

**Keywords:** spatial variability. Production environment. Interactions. Productivity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Logotipo e nome do projeto elaborado e utilizado nas ações, eventos e publicações .....	13
Figura 2 – Base georreferenciadas com os 440 produtores da base do Projeto no RS.....	14
Figura 3 – Modelo base da operação do Projeto CDP.....	15
Figura 4 – Geolocalização das áreas do Projeto CDP - Fase 1.....	17
Figura 5 – Geolocalização das áreas do Projeto CDP na Fase 2. ....	19
Figura 6 – Exemplo ilustrativo da definição de ambientes e dos escorres através do algoritmo IGA em uma das áreas de estudo.....	20

### ARTIGO I

Figura 1 – Localização das 13 áreas experimentais do norte do Estado do Rio Grande do Sul onde foi realizado o estudo.....	28
Figura 2 – Teores de fósforo no solo, potássio no solo, pH em água e Saturação de alumínio nas camadas 0,00 a 0,15m (Esquerda) e 0,15 a 0,30m (Direita) em 13 áreas de lavoura no norte do RS .....	31
Figura 3 – Valores de pH em água, Saturação de Bases, Saturação de Alumínio e Boro no solo, nas camadas 0,00 a 0,15m (Esquerda) e 0,15 a 0,30m (Direita) em 13 áreas de lavoura no norte do RS. ....	34
Figura 4 – Teores de Cálcio, Magnésio e Relação Cálcio/Magnésio e Boro, nas camadas 0,00 a 0,15m (Esquerda) e 0,15 a 0,30m (Direita) em 13 áreas de lavoura no norte do RS. ....	36

### ARTIGO II

Figura 1 – Localização das áreas experimentais no estado do Rio Grande do Sul. ....	47
Figura 2 – Demonstração de grade amostral utilizada nas 9 áreas estudadas. ....	49
Figura 3 – Demonstração da definição dos ambientes de produção ou zonas de manejo em uma das áreas estudadas considerando a produtividade das culturas e dados de fertilidade da área. ....	50
Figura 4 – Mapa temático de argila (%) na camada de 0 – 0,15 m de profundidade das nove áreas estudadas. ....	52
Figura 5 – Mapa temático de argila (%) na camada de 0,15 – 0,30 m de profundidade das nove áreas estudadas.....	53
Figura 6 – Ambientes de produção das nove áreas estudadas.....	54
Figura 7 – Mapa temático de resistência do solo à penetração (kPa) na camada de 0,15 – 0,20 m de profundidade das nove áreas estudadas. ....	55
Figura 8 – Mapa temático de resistência do solo à penetração (kPa) na camada de 0,20 – 0,25 m de profundidade das nove áreas estudadas. ....	56
Figura 9 – Resistência do solo à penetração médio nas amostragens em grade e nos ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivos nas áreas A, B e C. ....	57
Figura 10 – Resistência do solo à penetração médio nas amostragens em grade e nos ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivos nas áreas D, E e F.....	58
Figura 11 – Resistência do solo à penetração médio nas amostragens em grade e nos ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivos nas áreas G, H e I. ....	59

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1 – Tabela 1. Análises descritiva dos atributos químicos de solo nas camadas de 0,00 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m. ....	29
--	----

### ARTIGO II

Tabela 1 – Tamanho em hectares das diferentes áreas estudadas, sua respectiva localização e número de pontos amostrais obtidos por área. ....	48
Tabela 2 – Tamanho em hectares das diferentes áreas estudadas, sua respectiva localização e número de pontos em cada zona de manejo, zona de baixa (ZB), zona de média (ZM) e zona de alta (ZA).....	50

## LISTA DE SIGLAS

ACP	Análise dos Componentes Principais
AP	Agricultura de Precisão
B	Boro
Ca	Cálcio
Cl	Cloro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CPD	Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
Fe	Ferro
GNSS	Sistema de Navegação por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IA	Inteligência Artificial
IGA	Índice de Gestão Ambiental
K	Potássio
kPa	kilopascal
LAPSul	Laboratório de Agricultura de Precisão do Sul
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
P	Fósforo
RP	Resistência a Penetração
RS	Rio Grande do Sul
S	Enxofre
SBCS-NRS-RS/SC	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPD	Sistema de Plantio Direto
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UGD	Unidade de Gestão Diferenciada

USB	Universal Serial Bus
ZM	Zonas de Manejo
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE (CDP): UM ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>13</b>
1.1	ESTRATÉGIA DE NEGÓCIOS DO PROJETO CDP .....	15
1.1.1	Missão .....	15
1.1.2	Visão.....	15
1.1.3	Valor.....	16
1.1.4	Pilares estratégicos.....	16
1.2	FASES DO PROJETO CDP.....	16
1.2.1	Fase I.....	16
1.2.1.1	<i>Cronograma das ações</i> .....	18
1.2.1.1.1	<b>Diagnóstico</b> .....	18
1.2.1.1.2	<b>Recomendações e implementações</b> .....	18
1.2.1.1.3	<b>Acompanhamento e avaliação</b> .....	18
1.2.2	Fase II .....	19
1.2.2.1	<i>Índice de Gestão Ambiental (IGA) - CONNECTFARM</i> .....	20
1.2.3	Fase III.....	22
<b>2</b>	<b>ARTIGO I – DIAGNOSTICO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E VERTICAL DA FERTILIDADE DO SOLO – ESTUDO DE CASO PROJETO CDP .....</b>	<b>24</b>
2.1	RESUMO.....	24
2.2	ABSTRACT .....	24
2.3	INTRODUÇÃO .....	25
2.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	27
2.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
2.6	CONCLUSÃO .....	37
	REFERÊNCIAS .....	37
<b>3</b>	<b>ARTIGO II – RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO DIAGNOSTICADA EM GRADE AMOSTRAL E EM AMBIENTES DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>39</b>
3.1	RESUMO.....	39
3.2	ABSTRACT .....	39
3.3	INTRODUÇÃO .....	40
3.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	41
3.4.1	<b>Sistema de plantio direto</b> .....	<b>41</b>
3.4.2	<b>Rotação de culturas</b> .....	<b>42</b>
3.4.3	<b>Agricultura de precisão</b> .....	<b>43</b>
3.4.4	<b>Amostragem em grade</b> .....	<b>44</b>
3.4.5	<b>Unidade de Gestão Diferenciada (UGD) ou Zonas de Manejo (ZM)</b> .....	<b>45</b>
3.4.5	<b>Resistência a penetração</b> .....	<b>46</b>
3.5	MATERIAL E MÉTODOS .....	47
3.5.1	<b>Avaliação da Resistência a Penetração (RP)</b> .....	<b>50</b>
3.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
3.7	CONCLUSÕES .....	60
	REFERÊNCIAS .....	60

## 1 PROJETO CONSTRUINDO E DESAFIANDO A PRODUTIVIDADE (CDP): UM ESTUDO DE CASO

Esse estudo de caso visa compartilhar as experiências, desafios e os principais dados gerados nas fases iniciais do Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade (CDP). Esse projeto (Figura 1) idealizado e iniciado em 2017 tem como objetivos realizar uma integração de tecnologias (multicamadas) e desenvolver um novo conceito de posicionamento para as culturas da soja, milho, trigo e arroz. Ser o maior Projeto de integração de soluções agronômicas com objetivo de aumento de produtividade para as grandes culturas, otimizando recursos e maximizando resultados.

A partir de observação da dificuldade dos agricultores do Rio Grande do Sul (RS) em alcançarem médias elevadas de produtividade em áreas de sequeiro e sob irrigação de pivô central, também grupos de produtores que utilizam a agricultura de precisão (AP) e não alcançavam altos índices de produção.

Figura 1 – Logotipo e nome do projeto elaborado e utilizado nas ações, eventos e publicações



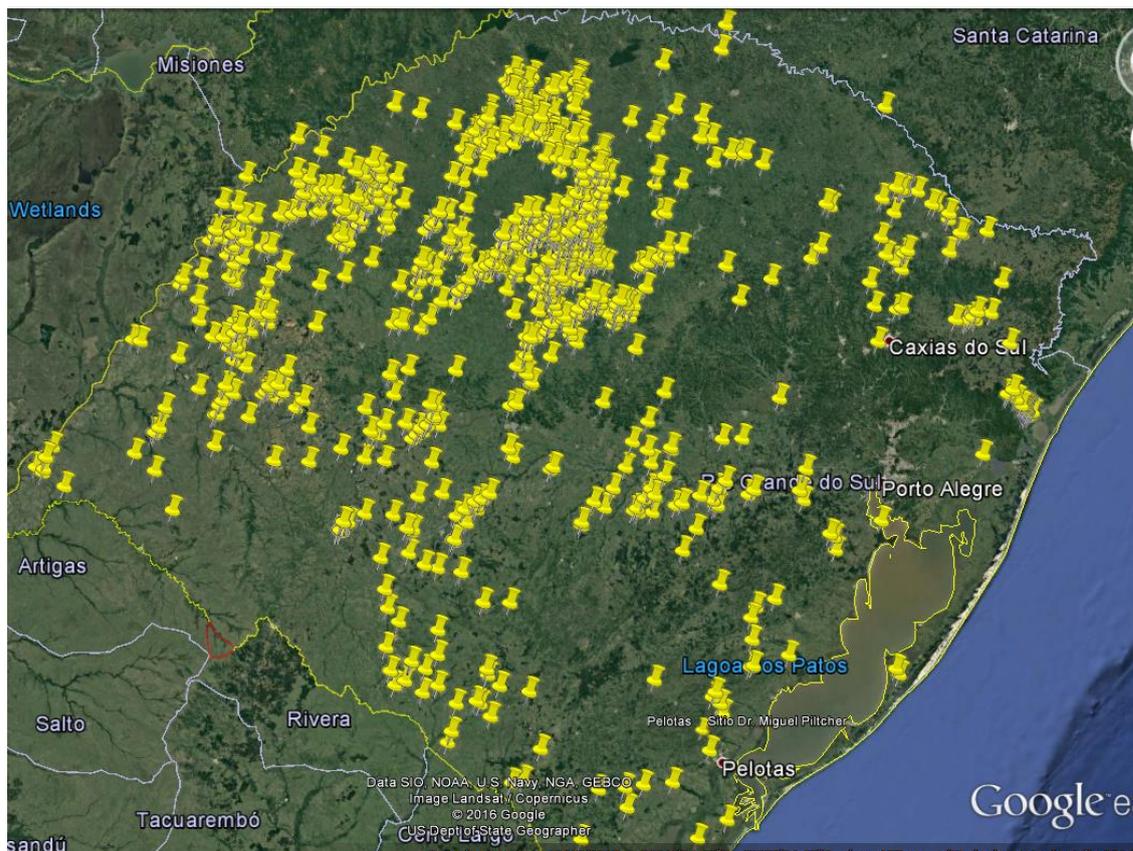
Fonte: CDP.

Com essa motivação o Projeto CDP, tem o desafio de criar um novo conceito de agricultura digital e gerar um modelo de atendimento “Agricultura 4.0”, através da integração de diagnósticos, recomendações e aplicações por ambientes de produção. Outros desafios é aumentar a eficiência do uso da água, de fertilizantes e o sequestro de carbono, contribuindo para um modelo de negócio inovador que conecta pessoas e tecnologias para uma agricultura mais eficiente, rentável e sustentável.

O projeto CDP foi idealizado a partir das integrações das marcas da Bayer (Seeds, Crop e Digital), empresas parceiras (Mosaic e Stoller) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Campus Frederico Westphalen através do LAPSul. Além da disponibilização e

recomendação de tecnologias modernas e inovadoras visando o aumento da produtividade e rentabilidade do produtor, o projeto tem como desafio abranger mais de meio milhão de hectares, conectando só no RS 440 produtores (figura 2) e um potencial de mercado em negócios de R\$ 1 bilhão em insumos para soja, trigo e milho. Além disso, objetiva-se integrar a base de dados de fertilidade, dos produtores participantes, com a resposta genética das cultivares/híbridos e manejos de ambientes de produção.

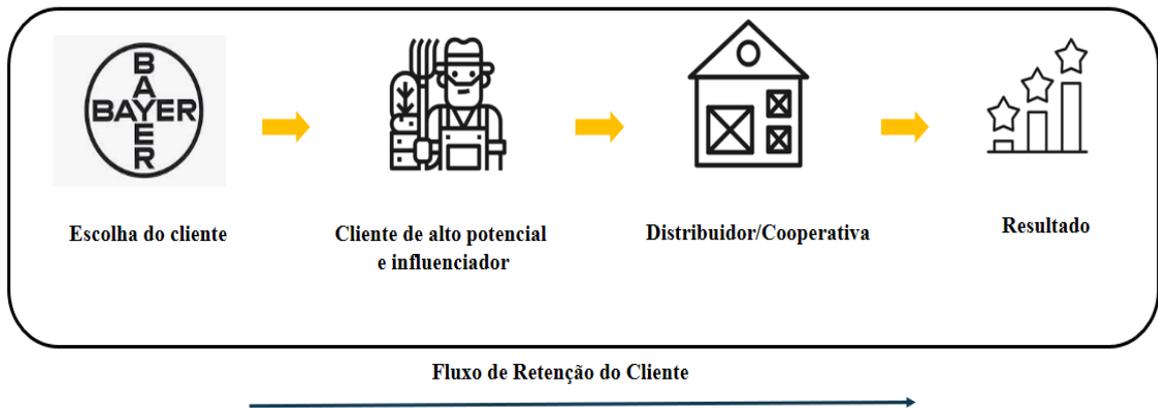
Figura 2 – Base georreferenciadas com os 440 produtores da base do Projeto no RS.



Fonte: Autor

A base do modelo de operação do atendimento (figura 3) implementado no projeto, visa atender a integração entre as empresas (serviços), produtores (encontro periódicos) e distribuidores (venda), conectando processos para melhoria da eficácia de vendas, novos serviços de dados e avanços tecnológicos, buscando uma maior sustentabilidade, produtividade e rentabilidade.

Figura 3 – Modelo base da operação do Projeto CDP.



Fonte: Autor e Projeto CDP

Como as empresas do ramo agrícola necessitam constantemente de acesso a informação, o Projeto tem grande potencial para integrar a utilização de dados para vendas técnicas e também pode ser a base para integração tecnológica e digital em pequenos agricultores.

O CDP tem como principal objetivo levar valor ao agricultor, através de um projeto de serviços especializados.

Os estudos em colaboração entre o setor público-privado são fundamentais para atualização técnica, e aceleração no entendimento do impacto das recomendações e integração de soluções agronômicas para o sul do Brasil.

## **1.1 ESTRATÉGIA DE NEGÓCIOS DO PROJETO CDP - (SEPARAR POR SUB ITENS, Missão, Visão e Valor)**

### **1.1.1 Missão**

Aumentar a produtividade e a rentabilidade do produtor através de um sistema sustentável de produção agrícola.

### **1.1.2 Visão**

Conhecer de forma detalhada cada talhão da lavoura dos produtores que fazem parte do projeto CDP através de estratégias da AP e digital, sobrepondo informações para tomar decisões visando a otimização da produtividade.

### 1.1.3 Valor

Comprometimento com o produtor rural, inovação e qualidade.

### 1.1.4 Pilares estratégicos

O projeto CDP tem suas bases de pesquisas e desenvolvimento alicerçado em quatro pilares:

- Solo: equilibrado, estruturado, fonte de sequestro de CO<sub>2</sub> e proposição e planejamento de sistema de rotação de cultura;
- Planta: combinação de genética (biotecnologia e sanidade), com base de dados de fertilidade, física e biologia do solo;
- Ambiente: favorável, definido e quantificado e qualificado. Uso efetivo do histórico e aplicação do manejo resultando em uma maior resposta de produtividade.
- Prescrições: utilizando taxa de fertilizantes, genéticas, taxa de sementes e defensivos agrícolas conforme os ambientes de produção.

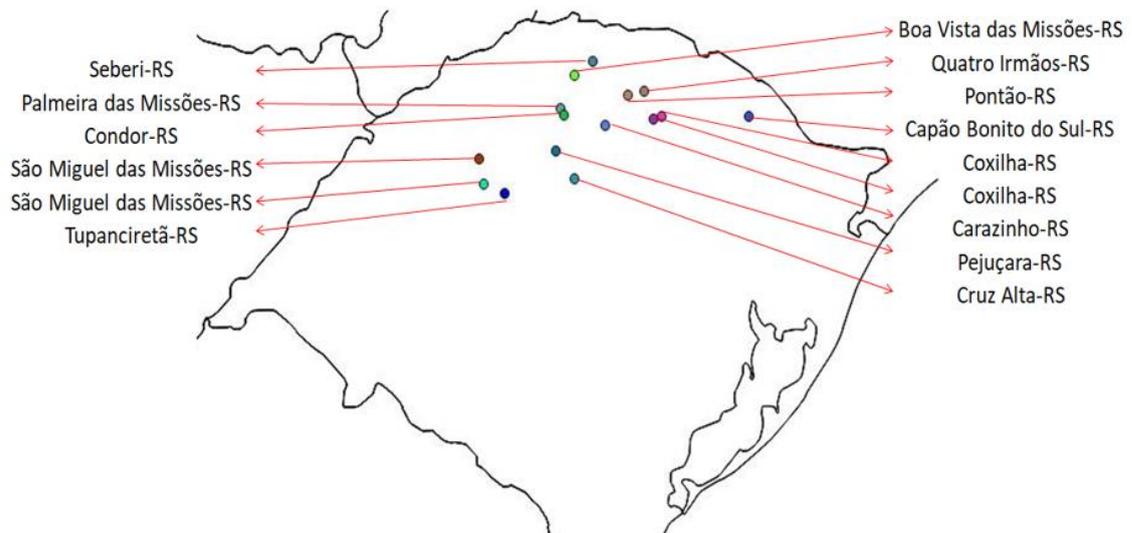
## 1.2 FASES DO PROJETO CDP

O Projeto CDP foi implementado e subdividido em três fases, com objetivo de integração de dados e ganhos de inteligência, através de pesquisa e desenvolvimento e tecnologias, disponibilizadas pelas empresas participantes, garantindo assim, ao produtor recomendações específicas para cada talhão da propriedade através dos diagnósticos.

### 1.2.1 Fase I (incluir o Sumário tabela 1)

A primeira fase do projeto, foi introduzida no ano agrícola 2017, com a adesão de 13 produtores tecnificados e que utilizam a AP (agricultura |precisão), cujas propriedades estão geolocalizadas na região norte do Estado do RS (figura 4), caracterizadas pelo tipo de solo e sistema de irrigação (tabela 1), totalizando 46.350 ha e área de intervenção do Projeto CDP 1.380 ha. Participaram desta fase quatro empresas parceiras: Bayer (Dekalb, FieldView, Monsoy, Roundup, Intacta RR2 PRO), Monsanto, Stoller, CropMetrics e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) extensão Frederico Westphalen – RS (LAPSul).

Figura 4 – Geolocalização das áreas do Projeto CDP - Fase 1.



Fonte: Autor e CDP

**Tabela 1 – Caracterização dos tipos de solos das áreas Projeto CDP - Fase 1 (.Ajustar a tabela)**

Município RS	Tipo de Solo	Area Irrigada ou Sequeiro	Área ha - CDP
Pejuçara	Latossolo Vermelho Istroférrico	Sequeiro	110
Capão Bonito do Sul	Latossolo Vermelho Distróficos	Sequeiro	92
São Miguel das Missões	Latossolo Vermelho Distróficos	Irrigada	80
São Miguel das Missões	Latossolo Vermelho Distróficos	Sequeiro	81
Quatro Irmãos	Latossolo Vermelho Aluminico	Sequeiro	73
Condor	Latossolo Roxo	Sequeiro	98
Boa Vista das Missões	Nitossolo vermelho Distrófico	Irrigada	104
Coxilha	Latossolo Vermelho Distróficos	Sequeiro	72
Tupanciretã	Latossolo Vermelho Aluminico	Sequeiro	130
Palmeira das Missões	Latossolo Vermelho Distroficio Aluminoférrico	Irrigada	142
Pontão	Latossolo Vermelho Distróficos	Sequeiro	84
Seberi	Nitossolo Vermelho Distrófico	Irrigada	134
Coxilha	Latossolo Vermelho Distróficos	Irrigada	96
Cruz Alta	Latossolo Vermelho Distróficos	Sequeiro	84
<b>Total</b>			<b>1.380</b>

Fonte: Autor e CDP

### *1.2.1.1 Cronograma das ações*

#### **1.2.1.1.1 Diagnóstico**

Nas 13 áreas do projeto, foi realizada o diagnóstico de fertilidade química e física (figura 4) através da análise e coleta de solos em duas profundidades (0-0,15 m e 0,15-0,30 m). A grade amostral utilizada foi aleatória simples com um ponto por ha com 15 amostras simples para compor uma amostra composta com auxílio de um quadriciclo instrumentado. Nos mesmos pontos amostrais também foi realizada análise de compactação do solo com auxílio de um penetrômetro automatizado marca Falker acoplado em quadriciclo. Todas as tomadas de decisões do projeto são baseadas no diagnóstico que levam em consideração o solo, planta e ambientes de produção.

#### **1.2.1.1.2 Recomendações e implementações**

São de responsabilidade das empresas parceiras o posicionamento de produtos (sementes, químicos, fertilizantes), identificar fatores limitantes (correções calagem, gessagem) rotação de culturas, práticas de manejo integrado e auxiliar nas tomadas de decisões por talhões. É de responsabilidade do produtor a adoção da agricultura digital (AP e FieldView), assegurar a execução das recomendações contidas no boletim técnico gerado pelo projeto, usar os produtos recomendados (obedecer doses e momentos), implementar os manejos propostos (curto, médio e longo prazo), observar e analisar os resultados obtidos e posteriormente estender as tecnologias para o restante da propriedade.

Todas as prescrições do projeto são baseadas em um banco de dados com mais de 500 fórmulas desenvolvidas em trabalhos a campo através de amostragens, avaliações, reamostragens e aferições ao longo de mais de 15 anos de trabalho do LAPSul/UFSM.

#### **1.2.1.1.3 Acompanhamento e avaliação**

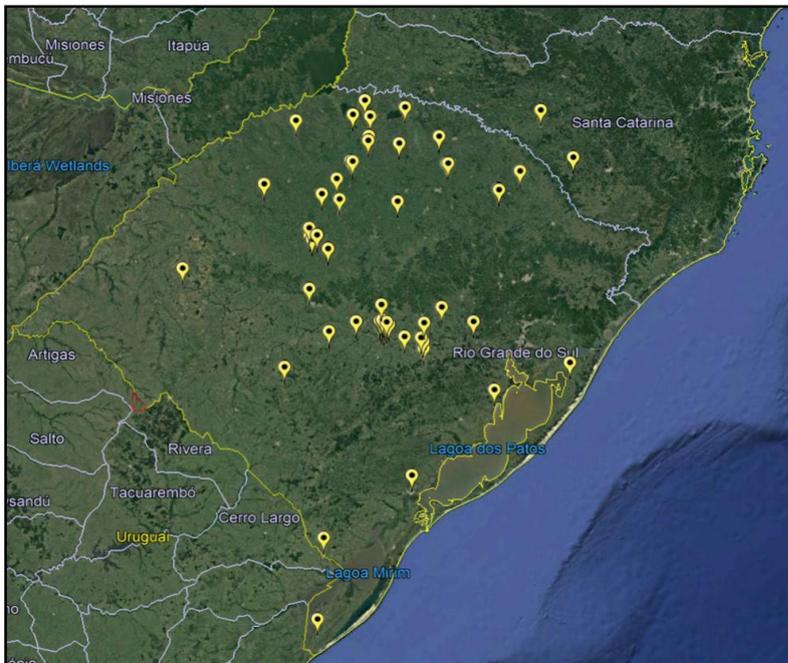
Na primeira fase do Projeto CDP foi gerado mais de 3.000 amostras de solo (camadas 0 – 0,15m e 0,15-0,30m) e foram analisados mais de 5.000 pontos de resistência do solo a penetração na camada 0 – 0,60 m de profundidade com leituras centímetro a centímetro, gerados mais de 300 mapas de diagnósticos e realizado mais de 200 visitas de acompanhamento técnico, envolvendo mais de 20 pessoas diretamente no projeto (empresas parceiras e consultorias). Também o monitoramento das ações do plano corrigindo os desvios e avaliação de todo o

trabalho realizado durante o ciclo da cultura (produtividade x recomendações) e eficiência técnica.

### 1.2.2 Fase II

A segunda fase do projeto, foi implementado no ano agrícola 2019. Nessa Fase deu-se a adesão de 44 produtores, cujas propriedades estão geolocalizados no Estado do RS e SC (figura 5), totalizando uma área 137.845 ha e área de intervenção do projeto de 2.541 ha. Nesta etapa houve a participação de três empresas: Bayer (Dekalb, Agroceres, Agroeste, FieldView, Monsoy, Roundup, Intacta2 Xtend), SprayExpertm, ConnectFarm (Consultoria) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) extensão Frederico Westphalen – RS (LAPSul).

Figura 5 – Geolocalização das áreas do Projeto CDP na Fase 2.



Fonte: Autor e CDP

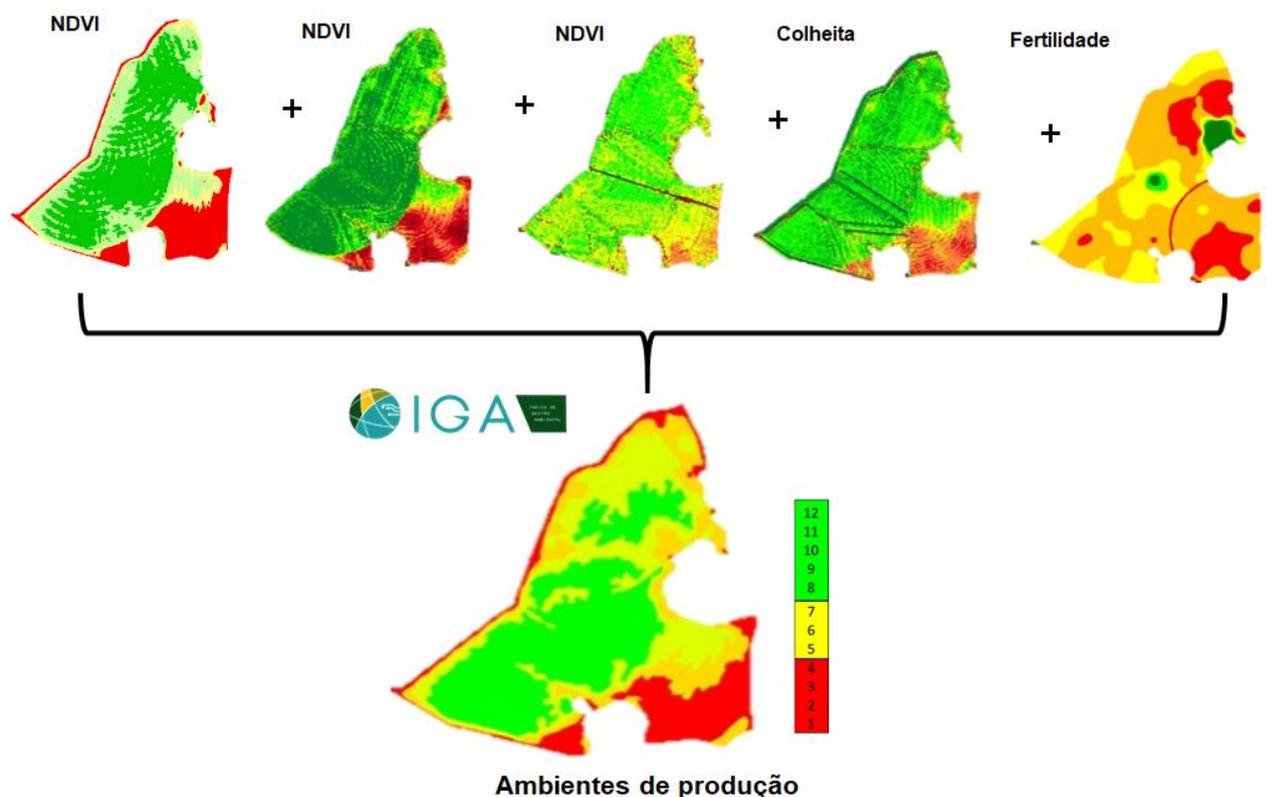
Nas 44 áreas do projeto na Fase II, foi realizada o diagnóstico de fertilidade química e física através da análise e coleta de solos em duas profundidades (0-0,15 m e 0,15-0,30 m), utilizando-se uma grade amostral irregular por zona de manejo numa relação uma amostra para cada 10 ha, análise de compactação do solo com auxílio de penetrômetro automatizado marca Falker, coleta de informações do histórico de adubação e calagem, histórico de sistema de produção dos últimos quatro anos, geração de mapas temáticos de solo e planta, através das ferramentas do FieldView, e gestão de custos.

### 1.2.2.1 Índice de Gestão Ambiental (IGA) - CONNECTFARM

O Índice de Gestão Ambiental (IGA) é um algoritmo de inteligência artificial (IA) desenvolvido pela empresa ConnectFARM. Essa tecnologia foi implementada no projeto a partir da Fase II, e está baseado em um banco de dados com mais de 105 mil análises de solo, cruzamento de mais de 10 anos de mapas de colheita e históricos de recomendações variáveis de corretivos e fertilizantes. O IGA leva em consideração a interpolação de atributos do solo, de plantas e do ambiente (qualidade química, física e biológica)  $\times$  genética  $\times$  clima.

O algoritmo IGA se torna mais inteligente e assertivo, para cada talhão da fazenda, à medida que vai aumentando a bases dos dados do ambiente onde está sendo aplicado a inteligência. Esse índice tem uma avaliação com score de 01 a 12, tendo como nota mínima 01 caracterizada por um ambiente de baixa qualidade e nota máxima 12 caracterizada como um ambiente de alta qualidade (figura 6).

Figura 6 – Exemplo ilustrativo da definição de ambientes e dos escores através do algoritmo IGA em uma das áreas de estudo.

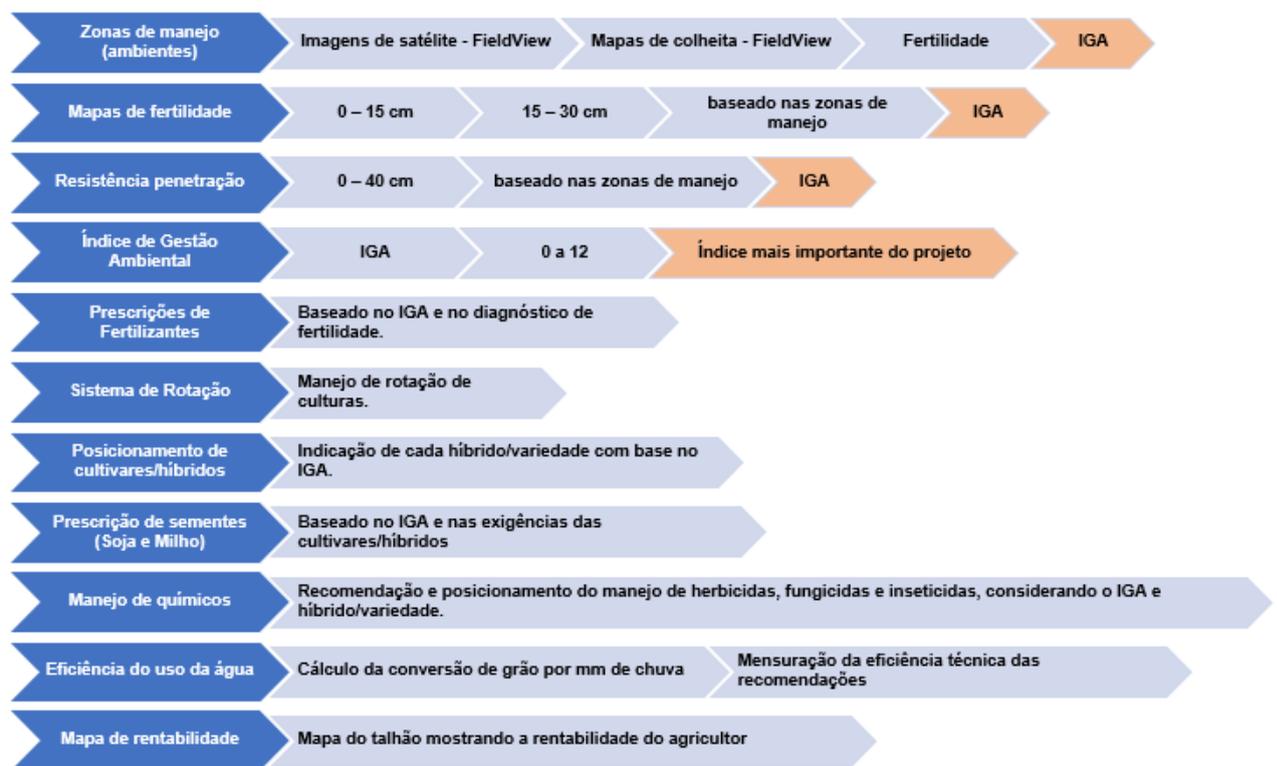


Fonte: ConnectFarm

### 1.2.2.2 Benefícios e entregas aos Produtores – INCLUIR NA LEGENDA ITENS E FIGURA

Nesta fase II do projeto CDP tem como benefício aos produtores a entrega técnica de onze produtos pela consultoria, usando a metodologia do projeto. (Figura 7)

Figura 7 – Produtos avaliados na metodologia CDP



Fonte: Autor

### 1.2.3 Fase III

A terceira fase do projeto, foi implementada no ano agrícola 2020 até 2022, com a adesão de 77 produtores, cujas as propriedades estão situadas nos Estados do RS e SC, totalizando uma área 205.000 ha e área de intervenção do projeto de 26.890 ha. Nesta etapa houve a participação de três empresas: Bayer (Dekalb, Agrocere, Agroeste, FieldView, Monsoy, Roundup, Intacta2 Xtend), SprayExpertm, ConnectFarm (Consultoria) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) extensão Frederico Westphalen – RS (LAPSul).

Nas 77 áreas do projeto da Fase III, foi utilizado o algoritmo IGA para definição de ambientes de produção alto, médio e baixo potencial, baseado na inteligência artificial aprimorada através da análise dos dados obtidos nas etapas iniciais (Fase I e Fase II). A partir dos ambientes definidos foi realizada a coleta de solo direcionada em três pontos de cada ambiente, totalizando nove pontos georreferenciados por área. As coletas foram realizadas nas camadas de 0-0,15m e 0,15 – 0,30m, para determinação dos parâmetros químicos e físicos do solo.

Nos mesmos pontos foi realizada também avaliação de resistência do solo a penetração com auxílio de um penetrômetro automatizado acoplado em um quadriciclo nos mesmos moldes das Fases I e II. Também foram obtidas informações do histórico de adubação e calagem e histórico de rotações de culturas.

Essa Fase do projeto pode ser considerada uma quebra de paradigmas onde não mais se olha a gestão das áreas a partir da agricultura de precisão (AP) clássica com uso de grade regular e foco apenas na fertilidade do solo e passa-se a olhar a planta como o foco principal e a interação dos atributos químicos, físicos e biológicos. O IGA permitiu uma pesquisa reversa olhando o sistema de produção na ótica da planta por integrar imagens de satélites através do histórico do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do talhão e,

posteriormente as coletas de solo, integra também as variáveis de solo no sentido de não apenas quantificar os ambientes de produção mas qualifica-los.

Como resultados preliminares o trabalho foi estruturado em dois artigos sendo o artigo I referente a análises químicas analisadas na Fase I e o artigo II referente a resistência do solo a penetração.

## **2 ARTIGO I – DIAGNOSTICO DA VARIABILIDADE ESPACIAL E VERTICAL DA FERTILIDADE DO SOLO – ESTUDO DE CASO PROJETO CDP**

### **2.1 RESUMO**

A fertilidade do solo é considerada um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das áreas destinadas para a produção de grãos. Nesse contexto, o conhecimento a respeito das condições de fertilidade ao longo do perfil da camada arável é crucial para aumentar a produtividade. Portanto, o presente estudo objetivou analisar a variabilidade espacial e vertical da fertilidade do solo nas 13 áreas participantes do Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade. As análises foram realizadas em áreas de plantio direto, distribuídas em 13 municípios do Norte do RS. As áreas foram georreferenciadas e realizada coletas de solo em grid amostral considerando um ponto por hectare, totalizando 1.266 pontos de coletas nas camadas de 0,0-0,15 m e 0,15-0,30 m. Para cada ponto amostral foi retirado 8 subamostras ao redor do ponto georreferenciado, em até 10 metros de distância. Realizou-se a análise das amostras de solo e foi detectado que a camada superficial tende a ter teores de nutrientes mais elevados devido a forma de manejo. Em sua maioria, os teores estão de médio a alto. As técnicas utilizadas para conhecer a variabilidade espacial e vertical da fertilidade do solo contribuem para o manejo racional do solo, planta e atmosfera, controlando de forma mais precisa a produtividade das culturas.

Palavras-chave: Variabilidade espacial e vertical. Agricultura de precisão. Produtividade.

### **2.2 ABSTRACT**

Soil fertility is considered one of the main factors responsible for the low productivity of areas destined for grain production. In this context, knowledge about fertility conditions along the arable layer profile is crucial to increase productivity. Therefore, the present study aimed to analyze the spatial and vertical variability of soil fertility in the 13 areas participating in the Building and Challenging Productivity Project. The analyzes were carried out in no-till areas, distributed in 13 municipalities in the North of RS. The areas were georeferenced and soil samples were collected in a sampling grid considering one point per hectare, totaling 1,266 collection points in the 0.0-0.15 m and 0.15-0.30 m layers. For each sample point, 8 sub-samples were taken around the georeferenced point, up to 10 meters away. The analysis of the soil samples was carried out and it was detected that the superficial layer tends to have higher nutrient contents due to the management method. Most of the levels are medium to high. The techniques used to know the spatial and vertical variability of soil fertility contribute to the rational management of the soil, plant and atmosphere, controlling crop yield more precisely.

Key words: Spatial and vertical variability. Precision agriculture. Productivity.

## 2.3 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) trouxe diversos benefícios para agricultura, principalmente na conservação dos recursos naturais, resultando na redução da perda de solo e água. O SPD está fundamentado em três pilares básicos, sendo eles: o revolvimento mínimo do solo, a conservação de cobertura vegetal ou palhada na superfície do solo e a diversificação de espécies vegetais cultivadas em rotações (CASÃO JUNIOR; ARAÚJO; LLANILLO, 2012). Os efeitos refletem em alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que resultam em um sistema produtivo de qualidade (CASTOLDI et al., 2012).

Os solos brasileiros apresentam boas propriedades físicas, mas quimicamente são solos com baixa fertilidade natural. No entanto, quando melhorados quimicamente, apresentam grande potencial agrícola, possibilitando alta tecnificação e produtividade. Diante disso, a correção da acidez do solo é o primeiro passo para a correção química, pois resulta no fornecimento de cálcio, magnésio e íons OH na solução do solo, neutralizando  $H^+$  e o  $Al^{3+}$  tóxico, que precipita em  $Al(OH)_3$  não tóxico às plantas, aumentando os valores de pH em água e saturação por bases, além de reduzir os teores de saturação de alumínio (AGUIAR, 2019).

Para obtenção de informações e avaliação de disponibilidade de nutrientes nas áreas de cultivo, deve-se realizar a análise de solo. Juntamente com essa prática, denota-se a importância da agricultura de precisão (AP) para diagnosticar as principais limitações e necessidades de cada propriedade. De acordo com Pinheiro (2016), a AP constitui um conjunto de técnicas que permitem o gerenciamento localizado dos cultivos, promovendo a otimização dos custos para produção agrícola, em razão de que são definidos manejos adequados para obter resultado máximo da cultura.

Segundo Ronquim (2010), os nutrientes principais, também chamados de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S), são absorvidos pela planta em maior proporção quando comparado aos micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mo, Cl e Mn). Os macro e micronutrientes se encontram nos minerais, na matéria orgânica e dissolvidos na solução do solo, onde a planta cresce, se alimentando através das raízes. Entretanto, os nutrientes podem estar em uma forma que as raízes não conseguem absorver, assim, para que se tornem disponíveis as plantas, o solo deve ser bem manejado.

O fósforo (P) é um elemento constituído por compostos derivados do ácido ortofosfórico e, menos comum, dos pirofosfatos (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Os fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, fazem parte da dinâmica do fósforo no solo, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e às

propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008). O SPD proporciona aos solos, em função do tempo de cultivo, maiores concentrações de P na forma lábil, e ao decorrer dos anos menor participação da forma não-lábil em uma mesma classe de solo (TOKURA et al., 2002).

O potássio (K) é um dos macronutrientes mais demandados pela planta depois do nitrogênio, sendo um mineral com alta mobilidade. Segundo Kinpara (2003), os solos brasileiros, em sua maioria, possuem carência em K. Isso se deve ao fato de que este nutriente precisa estar em sua forma solúvel para ser absorvido pela planta, a qual possui facilidade em lixiviação no perfil de solo. Este nutriente é responsável pelo balanço iônico nas células vegetais, além de participar de funções regulatórias, como por exemplo o controle osmótico dos estômatos.

Como estratégia no SPD, são utilizadas plantas de cobertura com alta capacidade de absorver K e de produzir MS, deixando uma fonte expressiva deste nutriente para as culturas sucessoras (CASTOLDI et al., 2012). Se conduzida de forma adequada, esta prática pode também reduzir perdas desse nutriente por lixiviação, pois ele permanece a maior parte do tempo no tecido vegetal vivo, ficando protegido de tal perda (ROSOLEM et al., 2010).

Os macronutrientes cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) apresentam importância para as culturas e são exigidos em grandes quantidades. Segundo Tiecher et al. (2016), o enxofre é encontrado na forma orgânica e para que a demanda por este macronutriente seja suprida, é de extrema importância o teor de matéria orgânica e sua mineralização no solo. O cálcio no solo comporta-se como cátion bivalente ( $\text{Ca}^{2+}$ ), podendo ser fortemente adsorvido aos coloides, absorvidos pelas plantas e organismos do solo, estar na solução do solo, ou ser lixiviado. O conteúdo de cálcio no solo é função do material de origem do mesmo (rocha), sendo influenciado pela sua textura, teor de matéria orgânica e pela remoção das culturas (SENGIK, 2003).

A inter-relação entre os nutrientes cálcio e magnésio na nutrição vegetal está relacionada às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (ORLANDO FILHO et al., 1996).

Além dos macronutrientes que apresentam importância no crescimento e desenvolvimento de plantas, há os micronutrientes, que são exigidos em menores quantidades pelas plantas. Com base em Tiecher et al. (2016), na maioria dos solos encontrados no Rio

Grande do Sul e Santa Catarina, denota-se quantidades naturais suficientes para as demandas das culturas.

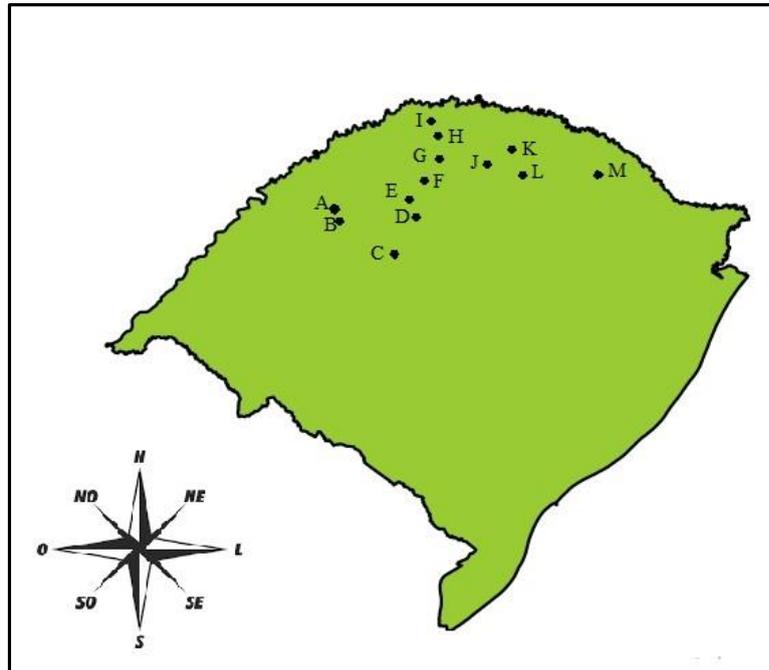
Dentre estes micronutrientes, exemplifica-se o Boro (B), geralmente encontrado na forma de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) principalmente nas camadas mais superficiais do solo, onde ocorre sua formação que está associada à presença de matéria orgânica (SANTOS, 2017). Em solos com pH neutro, o boro encontra-se na solução do solo e pode ser absorvido tanto pelas raízes quanto pelas folhas. Nesse contexto, esse micronutriente é importante para formação de novos tecidos, por constituir a parede celular e membrana plasmática, participando da divisão celular que ocorre nas plantas.

Contudo, o interesse em avaliar a qualidade do solo tem aumentado por considerá-lo aspecto fundamental na manutenção e na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Considera-se que a fertilidade do solo seja um dos principais fatores responsáveis pela baixa produtividade das áreas destinadas para a produção de grãos. Isto pode ocorrer em função das adubações utilizadas não suprirem as quantidades exportadas de nutrientes (VARASCHINI, 2012). Nesse contexto, o estudo teve como objetivo avaliar a fertilidade do solo, espacial e vertical, através do georreferenciamento e de coletas de solo em grid amostral em áreas de plantio direto.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado dentro do Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade (CDP), em 13 áreas de lavouras comerciais manejadas com Agricultura de precisão, dispostas na região norte do Rio Grande do Sul (Figura 1). Para tanto, com o auxílio da empresa ConnectFARM, realizou-se o georreferenciamento das áreas e coletas de solo em *grid* amostral considerando um ponto por hectare. Nas 13 áreas totalizou-se 1.266 pontos de coletas nas camadas de 0,0 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m por meio do equipamento SoloDrill da Falker® acoplado em um quadriciclo. Para cada ponto amostral foi retirado 8 sub-amostras ao redor do ponto georreferenciado, em até 10 metros de distância, para reduzir o efeito da meso e microvariabilidade, resultantes da aplicação de fertilizantes na linha da semeadura ou outro possível problema de manejo do passado.

Figura 1 – Localização das 13 áreas experimentais do norte do Estado do Rio Grande do Sul onde foi realizado o estudo



Legenda: São Miguel das Missões (A e B), Tupanciretã (C), Cruz Alta (D), Pejuçara (E), Condor (F), Palmeira das Missões (G) Boa Vista das Missões (H), Seberi (I), Sarandi (J), Quatro Irmãos (K), Coxilha (L), Capão Bonito do Sul (M).

As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solo da UFRGS e após processadas. Os dados foram analisados pela equipe técnica do LAPSul e da empresa ConnectFARM, empregando a estatística descritiva e a distribuição das observações em intervalos de classes sugeridos para o estudo e entendimento da disponibilidade de cada nutriente em diferentes camadas, utilizando o programa de planilha eletrônica Excel 2019.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observar os valores de médias dos atributos químicos, identifica-se que as maiores médias estão encontradas na camada de 0,00 m a 0,15 m (tabela1). O que é justificado pelas constantes calagens e adubações realizadas superficialmente nas propriedades.

Tabela 1 – Análises descritiva dos atributos químicos de solo nas camadas de 0,00 a 0,15 m e 0,15 a 0,30 m.

Atributos Químicos	Média	Mediana	Moda	DP	Variância	Mín.	Máx.
	Profundidade de 0,00 a 0,15 m						
pH em água	5.43	5.40	5.50	0.34	0.12	3.80	6.50
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	11.08	9.40	11.00	7.30	53.25	1.60	64.00
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	152.41	148.50	144.00	64.07	4105.04	36.00	400.00
M.O (%)	3.12	3.10	3.10	0.59	0.35	0.70	5.50
Ca (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	6.44	6.40	6.00	1.57	2.46	2.40	17.70
Mg (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2.75	2.70	2.60	0.81	0.66	0.90	10.80
CTC (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	14.90	14.40	14.10	3.25	10.59	7.46	34.90
v %	65.00	67.00	68.00	11.09	123.09	16.00	92.00
m %	1.97	0.00	0.00	3.53	12.45	0.00	30.30
Rel.Ca/Mg	2.42	2.30	2.10	0.50	0.25	1.50	7.70
S (mg.dm <sup>-3</sup> )	17.33	14.00	11.00	12.24	149.82	0.00	175.00
B (mg.dm <sup>-3</sup> )	0.56	0.50	0.50	0.17	0.03	0.00	1.40
Profundidade de 0,15 a 0,30 m							
pH em água	5.29	5.30	5.40	0.37	0.14	4.00	6.60
P (mg.dm <sup>-3</sup> )	5.51	4.10	2.30	5.41	29.25	0.40	100.00
K (mg.dm <sup>-3</sup> )	102.06	88.00	68.00	57.40	3294.29	24.00	371.00
M.O (%)	2.50	2.50	2.40	0.56	0.31	0.60	4.80
Ca (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	5.09	5.00	5.30	1.67	2.78	1.60	14.30
Mg (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	2.28	2.20	2.00	0.86	0.74	0.60	9.80
CTC (cmolc.dm <sup>-3</sup> )	13.54	12.90	11.10	3.79	14.37	6.44	39.10
v %	57.12	59.00	64.00	13.36	178.61	10.00	89.00
m %	5.66	2.45	0.00	8.12	65.97	0.00	41.80
S (mg.dm <sup>-3</sup> )	21.41	16.00	13.00	14.93	222.76	0.00	95.00
B (mg.dm <sup>-3</sup> )	0.49	0.50	0.50	0.18	0.03	0.00	1.20

Com relação aos teores de P nas áreas estudadas, na camada de 0,00 m a 0,15m, 20,54% das amostras apresentaram valores no intervalo de 0 a 5 mg.dm<sup>-3</sup> (Figura 2), sendo considerado extremamente baixo para a expressão do potencial produtivo das culturas. No entanto 14,06% das amostras estavam com teores acima de 18 mg.dm<sup>-3</sup> tido pela equipe técnica do Projeto CDP como necessária para atingir altas produtividades.

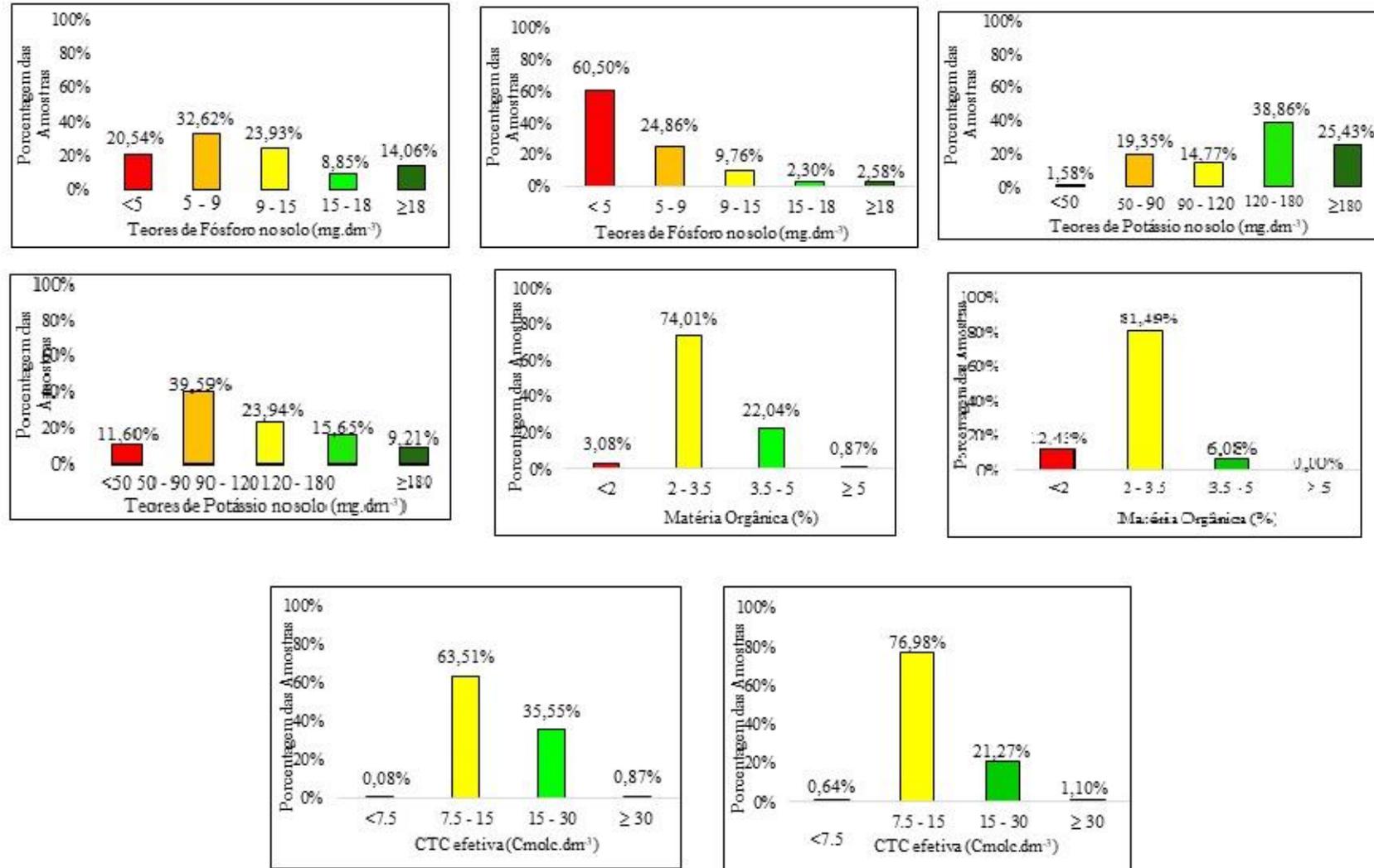
A preocupação é que quando se analisa a camada de 0,15 a 0,30 m essa percentagem sobe para 60,50% das áreas com valores inferiores a 5 mg.dm<sup>-3</sup> e apenas 2,58% estavam com teores acima de 18 mg.dm<sup>-3</sup>, o que demonstra haver limitação vertical e a necessidade de se

pensar estratégias para melhorar os teores de P no perfil de solo, sendo o P, um macronutriente de baixa mobilidade no solo (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Os teores de potássio no solo apresentam grande contribuição, quase 80% das amostras analisadas da camada mais superficial (79,06%) apresentaram valores superiores a  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  de potássio e mesmo na camada inferior a 0,15 m esse elemento permaneceu com 48,80% das amostras acima desse valor, considerado adequado para uma boa expressão do potencial, resultando em baixa necessidade de correção desse elemento (1,58%) (Figura 2). Uma das razões para que isso ocorra deve-se a esforços da consultoria e dos produtores em utilizar fórmulas de fertilizantes mais concentrados com potássio, além do manejo com planos de rotação de culturas altamente eficazes na ciclagem deste nutriente.

De acordo com os teores de MO, altera-se as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, interferindo no crescimento e desenvolvimento das plantas. Sendo assim, é possível observar na maioria das áreas, teores médios de MO em ambas as camadas (Figura 2). Na maior parte das áreas analisadas deve-se elevar o teor de MO para maior ou igual a 5%, nas camadas mais superficiais e mais profundas.

Figura 2 – Teores de fósforo no solo, potássio no solo, pH em água e Saturação de alumínio nas camadas 0,00 a 0,15m (Esquerda) e 0,15 a 0,30m (Direita) em 13 áreas de lavoura no norte do RS



Em relação a CTC do solo, tanto na camada mais superficial quanto na camada mais profunda, a maioria das áreas estão com teores médios. Teores altos são atingidos em 35,55% e 21,27% das amostras nas camadas mais superficiais e mais profundas, respectivamente. Altos teores de CTC influenciam na estabilidade do solo, disponibilidade de nutrientes, no pH do solo e a reação do solo com fertilizantes (PAVINATO; ROSOLEN, 2008). Com isso o teor que se deseja atingir para ótimo desenvolvimento das culturas é maior ou igual  $30 \text{ Cmolc.dm}^{-3}$  (Figura 2).

Mesmo na camada mais profunda (0,15 a 0,30 m) não há um número expressivo de amostras com valores baixos de CTC, demonstrando que nas áreas estudadas é possível melhorar rapidamente a fertilidade, isso porque são maiores as de cátions, como cálcio, magnésio, potássio que são nutrientes essenciais para as plantas. Para que os teores da CTC do solo passem de baixo e médio para alto é preciso investir em manejo conservacionista, combinando a forma e a característica da adubação utilizada.

Ao observar os resultados de pH em água, denota-se que 41% das amostras estão com valores médios de pH na camada superficial, reduzindo para 30,29% na camada mais profunda. Por outro lado, 56% das áreas estão com valores baixos na camada superficial e 66,39% na camada de 0,15 a 0,30 m (Figura 3). Para o bom desenvolvimento das principais culturas da região Sul, o pH adequado é de 5,5-6,0. Segundo Faquin (2005), os macronutrientes, têm sua disponibilidade aumentada a valores de pH próximos a neutralidade (6,0-6,5). Sendo assim, nota-se a necessidade de calagem na maioria das áreas analisadas para que os valores de pH fiquem próximos a neutralidade, contribuindo para o desenvolvimento das culturas.

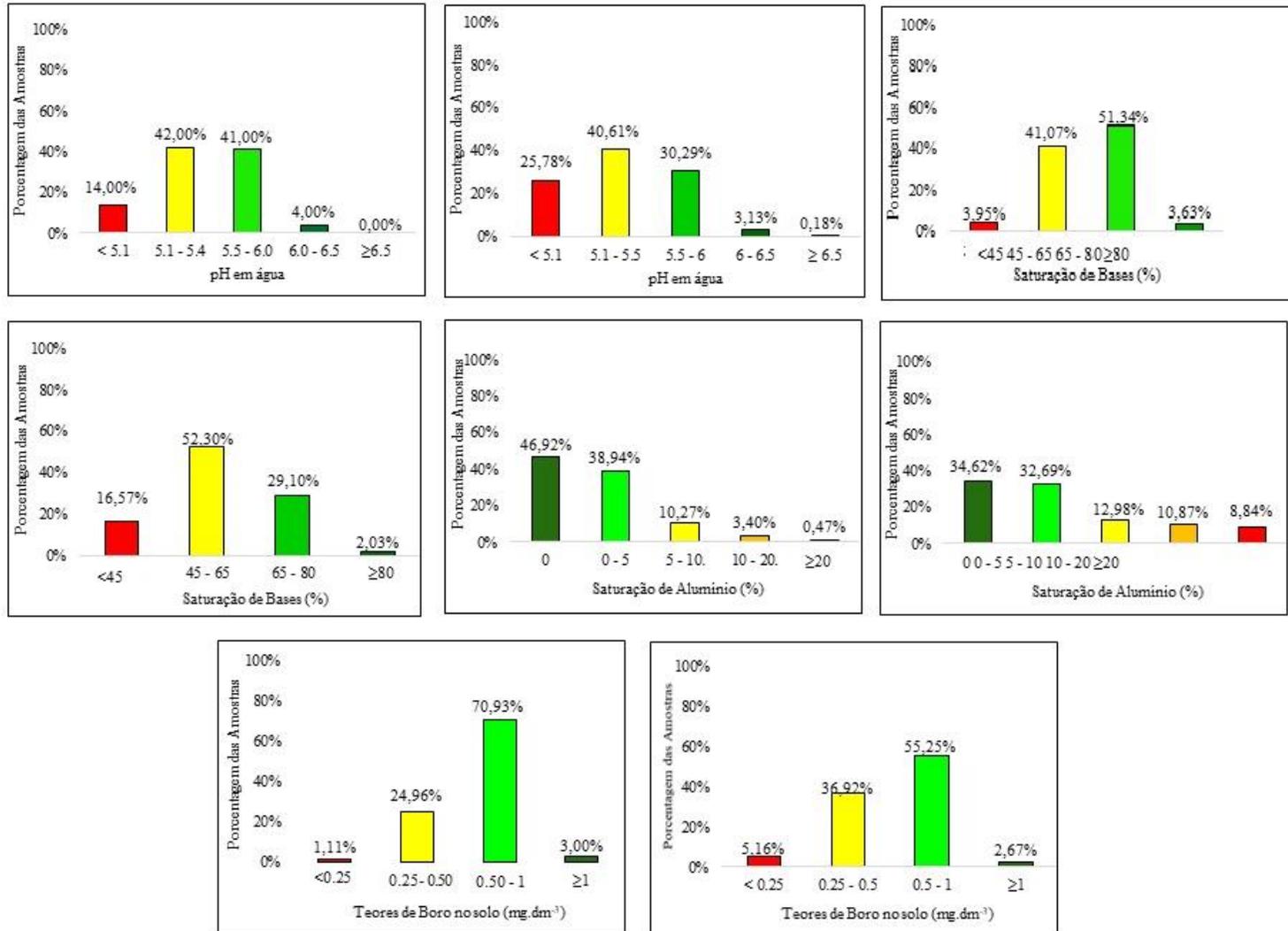
Semelhante aos valores de pH em água, a saturação por base é considerada baixa em 41,07% e 52,30% das amostras nas camadas 0-15 cm e 15-30 cm respectivamente (Figura 3). Esse resultado demonstra a necessidade de aumentar o V% na maioria das áreas analisadas para que se obtenha melhores produtividades das culturas. Foram obtidos valores médios em 51,3% das amostras na camada 0,00 a 0,15 m e 29,10% das áreas em camada mais profunda. Segundo Ronquim (2010) a maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor V% entre 50 e 80% e valor de pH entre 6,0 e 6,5. No entanto há necessidade de corrigir os valores para 80%, elevando a fertilidade do solo e a disponibilidade de Ca, Mg e K, diminuindo assim os teores de alumínio trocável.

A saturação de alumínio, está alta em apenas 3,87% das amostras na camada 0,00 a 0,15 m. (Figura 3). Esse valor aumenta na camada mais profunda do solo, abordando 19,71% das amostras. A maioria das amostras estão com valores baixos em ambas as camadas, correspondendo com os valores de pH em água e saturação de bases. O ideal para que a

fertilidade vertical do solo seja melhorada, é que aproximadamente 53% e 65% das amostras analisadas alcancem valores  $<1\%$  nas camadas de 0,00 a 0,15 m e respectivamente.

Os teores de boro (figura 3), são considerados de médio a alto na maior parte das áreas estudadas, para ambas as camadas amostradas de acordo com a SBCS-NRS-RS/SC (2016). Por outro lado, apenas 3,0% e 2,67% das áreas amostradas de 0-15 cm e 15-30 cm, estão com o teor de boro maior ou igual a  $1 \text{ mg.dm}^{-3}$ , resultado que condiz com a expressividade de matéria orgânica, sendo esta, fonte de boro. Com isso, há necessidade de elevar os teores de boro para melhorar a variabilidade vertical e o desenvolvimento das culturas.

Figura 3 – Valores de pH em água, Saturação de Bases, Saturação de Alumínio e Boro no solo, nas camadas 0,00 a 0,15m (Esquerda) e 0,15 a 0,30m (Direita) em 13 áreas de lavoura no norte do RS.



Cálcio, magnésio e enxofre, macronutrientes secundários, são considerados altos na maioria das amostras em ambas as camadas (Figura 4). Na prática, consideram-se satisfatórios os teores desses nutrientes situados na classe “Médio” (DALMAGO et al., 2009). Analisando os teores de cálcio, 82,39% e 52,49% das áreas estão com teores ótimos na camada 0-15 cm e 15-30 cm, respectivamente. Percebe-se que a camada mais profunda tende a ter menos amostras com teores de Cálcio altos, acima de  $5 \text{ cmolc.dm}^{-3}$ . Isto se justifica pela baixa mobilidade de nutriente no solo que é natural e pelo fornecimento de Cálcio via calcário aplicado superficialmente.

Semelhante aos teores de cálcio, 82,86% das áreas (0-15cm) estão com teores de Mg (figura 3) maiores que  $2 \text{ Cmolc dm}^{-3}$ , reduzindo para 62,15% das áreas nas camadas mais profundas, o que é considerado ótimo para desenvolvimento das culturas.

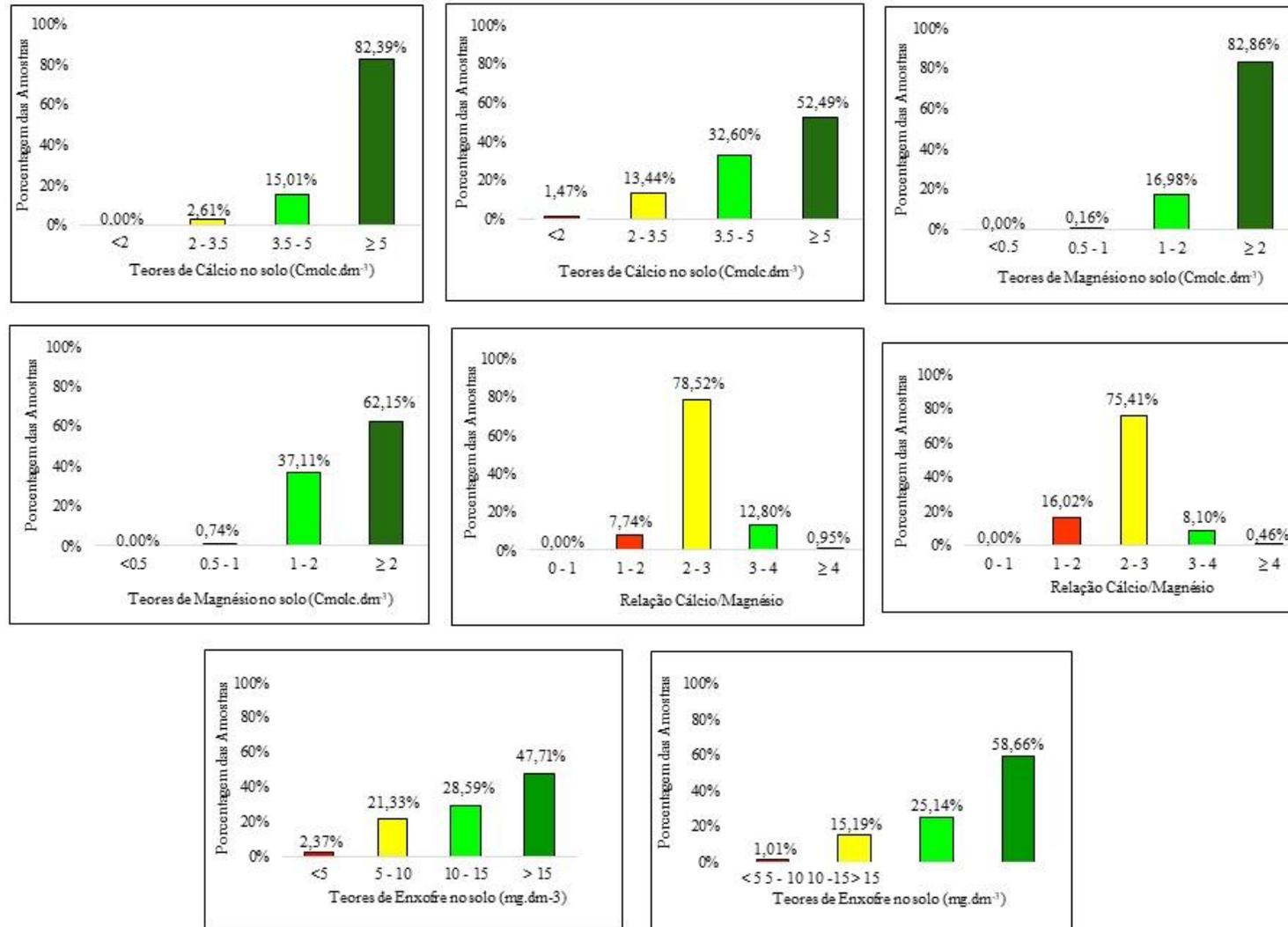
Avaliando os teores de S (figura 3), mais da metade das áreas devem ser corrigidas para teores maiores que  $15 \text{ mg dm}^{-3}$ , nas camadas de 0,0-15 cm. Já nas camadas mais profundas, 41,34% das áreas estão com teores abaixo do ótimo, resultado da característica do nutriente que é altamente sujeito a lixiviação. Segundo Bottega et al. (2013), os bons resultados observados entre os três macronutrientes podem ser explicados pelo sistema de manejo adotado nas propriedades, plantio direto com rotação de culturas.

A relação entre Cálcio e Magnésio, é pouco empregada para diagnosticar a fertilidade ou alguma recomendação desses elementos, quando ambos se encontram em níveis adequados no solo, como no caso da maioria das amostras de solo avaliadas. 78.56 e 74.51% das amostras das camadas 0,00 a 0,15m e 0,15 a 0,30m, respectivamente, estão entre 2 e 3 (Figura 4). Segundo a SBCS-NRS-RS/SC (2016), a produtividade da maioria das culturas não é afetada pela relação Cálcio e Magnésio variando de 0,5 a  $10 \text{ Cmolc.dm}^{-3}$ , quando nenhum dos dois elementos estejam deficientes no solo.

Para a relação Cálcio/Magnésio (Figura 4) o indicado pela SBCS-NRS-RS/SC (2016) é uma relação 3:1, para não haver competição entre Cálcio e Magnésio, assim não provocando excesso ou deficiência de algum desses elementos na planta.

Entretanto 7.74% das amostras na camada 0,00 a 0,15m e 16,02% das amostras na camada 0,15 a 0,30m estão com a relação entre 1 e 2 (Figura 4), sendo considerado ruim, pois há excesso de Magnésio e pouco Cálcio, proporcionalmente o que pode afetar a absorção de Cálcio da planta.

Figura 4 – Teores de Cálcio, Magnésio e Relação Cálcio/Magnésio e Boro, nas camadas 0,00 a 0,15m (Esquerda) e 0,15 a 0,30m (Direita) em 13 áreas de lavoura no norte do RS.



## 2.6 CONCLUSÃO

Houve variabilidade vertical entre as camadas amostradas, o que indica um decréscimo nos teores de nutrientes conforme o aumento da profundidade de solo. A maioria dos teores avaliados estão entre “médio” e “alto”. Portanto, a fertilidade do solo vai influenciar diretamente na produtividade das culturas, sendo imprescindível o conhecimento sobre a mesma para que o manejo do solo seja realizado racionalmente.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, V. F. **Aplicação de corretivos de acidez e condicionador do solo na implantação de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça**. 2019. 33 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.
- BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 1-9, 2013.
- CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANILLO, R. F. **Plantio direto no Sul do Brasil: fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista**. Londrina: IAPAR, 2012. 77 p.
- CASTOLDI, G.; FREIBERGER, M. B.; CASTOLDI, G.; COSTA, C. H. M. Manejo da adubação em sistema plantio direto. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, n. 1, p. 62-74, 2012.
- DALMAGO, G. A.; ACOSTA, A. S.; SANTI, A.; GREHS, R.; PIRES, J. L. F.; FAGANELO, A.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; SATTTLER, A.; PEREIRA, F. T. F.; GUARIENTI, E. M.; CARVALHO, O. S.; VIEIRA, O. V.; ANTUNES, J. M.; FERREIRA, P. E. P.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; GUEDES, A. A. M. Fertilidade do solo das Unidades de Referência. In: DALMAGO, G. A. et al. **Contribuições da Embrapa Trigo e da Embrapa Transferência de Tecnologia ao desenvolvimento sustentável da reforma agrária no Rio Grande do Sul: ações e atividades realizadas de 2005 a 2008**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. (Documentos Online, 110). Disponível em: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do110\\_7.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do110_7.htm). Acesso em: 10 jan. 2020.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. 2005. 179 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Curso de Pós-Graduação “*Lato Sensu*” a Distância Solos e Meio Ambiente, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- KINPARA, D. I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. 1. ed. Planaltina: Documentos Embrapa Cerrado, 2003. 27 p.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V. C.; CARMELLO, Q. A. C.; BEAUCLAIR, E. G. F. Relações K, Ca e Mg de solo, areia quartzosa e produtividade da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 14, n. 5, p. 13-17, 1996.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

PINHEIRO, R. Agricultura de precisão: estudos de uma tecnologia favorável, na suscitação de melhoras na qualidade de técnicas empregadas no campo por José Paulo Molin. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v. 2, n. 1, p. 53-71, 2016.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 1. ed. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 p.

ROSOLEM, C. A.; SGARIBOLDI, T.; GARCIA, R. A.; CALONEGO, J. C. Potassium leaching as affected by soil texture and residual fertilization in tropical soils. **Journal Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, n. 16, p. 1934-1943, 2010.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576-586, 2008.

SANTOS, E. R. F. **Distribuição dos teores de boro em dois solos de diferentes texturas em função da aplicação localizada de ácido bórico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. Maringá: Núcleo Pluridisciplinar de Pesquisa e Estudo da Cadeia Produtiva do Leite, Universidade Estadual de Maringá, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - NÚCLEO REGIONAL SUL (SBCS-NRS-RS/SC). **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 11. ed. S. l.: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

TIECHER, T.; MARTINS, A. P.; PERETTO, É. J. S.; FINK, J.R.; SANTOS, L. S.; DENARDIN, L. G. O.; TIECHER, T. L. **Evolução e estado da fertilidade do solo no Norte do Rio Grande do Sul e Sudoeste de Santa Catarina**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 53 p.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.

VARASCHINI, A. D. C. **Avaliação da fertilidade do solo na agricultura de precisão**. 2012. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

### **3 ARTIGO II – RESISTÊNCIA DO SOLO A PENETRAÇÃO DIAGNOSTICADA EM GRADE AMOSTRAL E EM AMBIENTES DE PRODUÇÃO**

#### **3.1 RESUMO**

O georreferenciamento é uma importante ferramenta disponibilizada na agricultura de precisão, que permite avaliações a campo em amostragens por grade ou por ambientes de produção, assumindo a finalidade da investigação da variabilidade de uma lavoura. A resistência do solo à penetração é uma forma analítica para avaliar o nível de compactação de um solo agrícola, apresentando um baixo custo e alta qualidade de resolução. O objetivo desse trabalho foi avaliar a amostragem da resistência do solo a penetração baseada em malha amostral comparada a amostragem em ambiente de produção. O estudo foi realizado em nove áreas agrícolas (totalizando 766 ha e 840 pontos). Foram realizadas avaliações de resistência do solo à penetração em amostragens por grade (100 x 100 m) e amostragens por ambientes, definindo três ambientes de produção. As avaliações foram procedidas com um penetrômetro que efetua a leitura a cada centímetro de solo, até 0,60 m de profundidade (4 amostras por ponto amostral). Também foi coletado solo para quantificação do teor de argila. Os resultados obtidos de argila e de resistência do solo à penetração, assumiram variabilidade espacial e vertical na maioria das áreas estudadas. Quando se compara as amostragens realizada em grade com as de ambientes de produção, assume baixo nível de diferenciação. A amostragem dirigida por ambiente de produção permite uma agilidade nas coletas sem reduzir a qualidade, reduzindo a mão-de-obra e custos.

Palavras-chave: Amostragem por ambiente. Amostragem por grade. Resistência à penetração.

#### **3.2 ABSTRACT**

Georeferencing is an important tool available in precision agriculture, which allows field evaluations in grid sampling or production environments, assuming the purpose of investigating the variability of a crop. Soil resistance to penetration is an analytical way to evaluate the compaction level of an agricultural soil, presenting a low cost and high resolution quality. The objective of this work was to evaluate the soil resistance sampling to penetration based on sampling mesh compared to sampling in production environment. The study was conducted in nine agricultural areas (totaling 766 ha and 840 points). Soil penetration resistance evaluations were carried out in grid sampling (100 x 100 m) and environment sampling, defining three production environments. Evaluations were performed with a penetrometer that reads each cm of soil up to 0.60 m depth (4 samples per sampling point). Soil was also collected to quantify the clay content. The results obtained from clay and soil penetration resistance assumed spatial and vertical variability in most of the studied areas. When comparing grid sampling with production environment sampling, it assumes low level of differentiation. Only area G allowed greater differentiation when comparing the low and high zone samples with the grid. Sampling driven by production environment enables agile collection without losing quality, reducing labor and costs.

Keywords: Environment sampling. Grid sampling. Penetration.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) tem suma importância para a agricultura brasileira por dispensar o revolvimento do solo e preservar a cobertura vegetal com emprego de rotação de cultura, assim promovendo marcantes alterações qualitativas no sistema (FREIRE; VASCONCELLOS; FRANÇA, 2001). Conforme Santi et al. (2014a) este sistema visa a conservação do solo e a sustentabilidade do ambiente agrícola. Por tanto os diferentes pesquisadores da área e seus trabalhos mostram com propriedade a relevância deste sistema.

Após o importante momento da adoção do SPD, um novo cenário agrícola começou a tomar forma, chamado de Agricultura de Precisão (AP), tendo o mesmo propósito de sustentabilidade, porém com a intenção de compreender as diferentes causas da variabilidade de uma lavoura. Assim surge a AP no Brasil a partir de 1998 com o mapeamento da produtividade das culturas de grãos (MANTOVANI; COELHO; MATOSO, 2005), essa forma da aplicação de tecnologia foi fundamentada no gerenciamento da variabilidade espacial e temporal, a fim de melhorar o desempenho das culturas e a qualidade ambiental, de forma a associar todos os aspectos da produção agrícola (PIERCE, NOWAK, 1999). Esta ascensão da AP foi possível a partir do georreferenciamento das áreas agrícolas. Conforme Cherubin et al. (2016) em escala comercial, no Brasil a amostragem georreferenciada é a principal ferramenta de AP.

Um procedimento muito utilizado a partir dos avanços no conhecimento da AP, em especial o georreferenciamento, é a amostragem em grade. Esta forma de realizar a amostragem em uma lavoura, objetiva caracterizar o todo de uma área ou talhão a partir da avaliação de apenas uma pequena porção representativa do mesmo (COLAÇO; MOLIN, 2014), através da elaboração de malhas ou grids amostrais com auxílio de programas computacionais da AP.

Com os estudos e metodologias propostos na AP, conhecimentos dos profissionais do meio, surgiu uma valiosa forma de gestão na propriedade rural, a fim de estimar diferentes ambientes de produção em um mesmo “talhão”. Esta gestão pode ser chamada de zonas de manejo (ZM) ou unidade de gestão diferenciada (UGD), cujo significado de ambos os termos é definir os locais da lavoura que retratam um conjunto de características semelhantes permitindo o seu agrupamento em ambientes de produção (EITELWEIN et al., 2016). Estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de diferenciar zonas de manejo, baseando-se no desempenho nas plantas em campo, histórico de mapeamento da produtividade (SCHWALBERT; CORASSA; AMADO, 2016), bem como utilizando-se informações sobre relevo e características do solo (EITELWEIN et al., 2016).

O mapeamento das propriedades físicas do solo é outra forma analítica disponibilizada pela AP e a maneira de questionar as causas da variabilidade de uma área. Entre os atributos físicos do solo com potencial para a detecção da variabilidade espacial na escala de lavoura comercial, destaca-se a resistência a penetração (RP), como sendo uma forma de avaliar o nível de compactação do solo (TORMENA; ROLOFF, 1996).

A RP trata-se da resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo e seus valores podem ser observados em kilopascal (kPa). Qualquer alteração significativa que ocorra na estrutura do solo por algum processo (exemplo o efeito da compactação) provocará mudanças na resistência mecânica deste e no próprio crescimento das plantas (PEDROTTI et al., 2001). Os valores de RP têm importância no que diz respeito ao crescimento radicular, segundo Taylor, Roberson e Parker Jr. (1966), mostra que muitos pesquisadores, utilizam o valor de 2.0 Mpa (2000 KPa) como o limite crítico ao desenvolvimento radicular das plantas.

Com a demanda de gerenciamento das propriedades rurais através de ferramentas de AP, surgiu então uma nova forma de gestão da propriedade, que é a avaliação de RP em zonas de manejo, visando entender os dados coletados a campo nos diferentes ambientes de produção.

Tendo em vista a importância deste tema, o estudo teve por objetivo avaliar a amostragem da resistência do solo a penetração baseada em grade comparada a amostragem em ambiente de produção.

### 3.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.4.1 Sistema de plantio direto

O SPD foi um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura, que consiste no cultivo sem o revolvimento do solo, também se trata de uma prática para manter a qualidade deste e das tecnologias de produção agrícola disponíveis (FLORA, 2019). De acordo com Amado et al. (2007) o SPD é uma das mais eficientes estratégias para melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola. Este sistema além de fundamentar-se na ausência de revolvimento do solo, também é baseado em cobertura permanente do solo e na rotação de culturas, o que favorece o acúmulo de material orgânico pela sua menor taxa de decomposição e menores perdas por erosão, esses fatores provocam alterações marcantes nos atributos físico-hídricos do solo (STONE; SILVEIRA; MOREIRA, 2006). Quando analisado este sistema de cultivo, observa-se sua contribuição na maior agregação do solo (por não haver mobilização),

assim expressado pela porcentagem de agregados maiores que 2 mm e pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (STONE; SILVEIRA, 2004).

A partir do SPD consolidado, ou seja, de longa duração é possível melhorar a qualidade física e o armazenamento de água no solo (CALONEGO; BORGHI; CRUSCIOL, 2011; MORAES et al., 2016). Com base neste sistema e na garantia de suas premissas, tratando-se do mínimo revolvimento do solo, rotação de culturas e produção de palhada para cobertura permanente tem mostrado ser a melhor saída para solucionar limitações de ordem física nos solos, além de proporcionar um ambiente mais pujante a produção de biomassa vegetal e também dispor dos fatores que fomentam os mecanismos de conversão de resíduos vegetais em estoque de carbono orgânico mais estável no perfil, garantindo e potencializando reduções nas emissões de CO<sub>2</sub> (RESENDE et al., 2016). Conforme Flora (2019) a quantidade e a qualidade da palha mantida sobre a superfície do solo estão diretamente ligadas ao propósito do SPD e ao seu sucesso na produção agrícola.

### **3.4.2 Rotação de culturas**

A realização de planos de rotação de cultura e a utilização de plantas de cobertura no SPD promove mudança de ordem qualitativa e na estabilidade do sistema, pois os recursos disponíveis são utilizados de forma mais eficiente (água, nutrientes e luz), além de propiciar o aumento na fertilidade do solo, devido ao aumento do teor de matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes, também trazer marcantes melhorias nas suas propriedades físicas e biológicas (CORREIA; DURIGAN, 2008). Os sistemas rotacionados no lugar da simples sucessão de culturas (soja-trigo), ou seja, diferentes espécies de plantas ocupando todo o período do tempo, apresentaram unidades morfológicas de solo menos compactas e poucas raízes com deformidades, também foi observado níveis significativamente mais altos de biomassa microbiana de carbono e nitrogênio nos sistemas com plantio direto (SILVA et al., 2014). Optar por consórcio de espécies de plantas ou utilizar coberturas de inverno com diferentes desenvolvimentos radiculares, pivotante e fasciculado, proporciona redução na RP do solo (SANTI et al., 2014b).

Consideram para Santi et al. (2017) a importância do manejo da variabilidade do solo, com isso precisa-se a solidificação de sistemas de rotação visando mitigar o vazio outono/inverno. Outro estudo mostra com propriedade a importância da cobertura vegetal, como descreve Diekow et al. (2005), a adoção do SPD e a adição de leguminosas com alto aporte de resíduos torna os sistemas de produção agrícola mais sustentáveis nas regiões

subtropicais, além de tratar-se de um manejo ou estratégia adequada para melhorar a qualidade do solo.

Outro aspecto a ser destacado sobre a rotação de culturas é que a cobertura contínua do solo atua como barreira cinética da água, por meio da decomposição e mineralização da matéria orgânica, auxiliando na estabilidade dos agregados e conseqüentemente na estruturação do solo (DIEKOW et al., 2005). Segundo Sá et al. (2015) em áreas sob SPD sabe-se que para se alcançar valores maiores de matéria orgânica do solo são necessários maiores aportes anuais de resíduos com fontes de carbono. Ainda Resende et al. (2016), descreve que preferencialmente os valores de matéria seca ao ano devem estar acima de 10 toneladas por hectare. Desta maneira vale lucidar a importância da rotação de culturas dentro de uma propriedade rural e os seus impactos na qualidade do sistema.

### **3.4.3 Agricultura de precisão**

A AP tem sido aplicado na agricultura a fim de melhorar a eficiência no gerenciamento na propriedade com a utilização de tecnologias da informação, assim é possível determinar com precisão as variações que ocorrem em uma área, vinculando dados espaciais e aplicando o conceito de gestão de culturas (VALENTE et al., 2011). Para Machado et al. (2004) o uso de tecnologias fornecida pela AP foi aprimorado com técnicas de posicionamento geográfico preciso, por meio de informações obtidas via satélite.

A inserção de tecnologias dentro das técnicas de AP tem suma importância, mas sempre devem ser associadas aos conhecimentos da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, tanto no espaço quanto no tempo, considera-se como princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO; VIEIRA, 2005). Como relatam Luchiari Junior et al. (2004), a adoção de práticas de AP possibilita preservar e rastrear a qualidade da produção agrícola, mostrando reais ganhos econômicos e benefícios ambientais.

Como descreve Valente et al. (2011), a adoção em campo da AP pode ser representada como um processo cíclico de cinco etapas que abrange coleta de dados, diagnóstico, análise de dados, operação de campo de precisão e avaliação práticas de gerenciamento, objetivando melhorar a produtividade, a lucratividade e a qualidade do ambiente.

Para Mantovani, Coelho e Matoso (2005) apresentam a metodologia da AP com contexto semelhante ao citado acima, porém sendo resumida em 3 etapas, a primeira consiste na coleta das informações no campo ou mapeamento de uma lavoura, a segunda caracteriza-se com a interpretação destas informações e a terceira é baseada na aplicação ou tomada de

decisão, a partir das interpretações dos dados gerados. As técnicas integradas e a visão da AP como um todo, garantiram e maximizaram o potencial genético de produção das culturas, as estratégias de manejo isoladas ou baseadas em apenas adventos de tecnologias ou ferramentas específicas, sozinhas não refletem na estabilidade de produção (SANTI et al., 2013).

Além disso consideram como grandes interessados na adoção e aplicação de técnicas de AP, os produtores de grãos que adotam o SPD, normalmente, pela sua maior familiarização com diversos sistemas, no que diz respeito as práticas conservacionistas do solo, rotação de culturas e manejos integrados de pragas e doenças (MACHADO et al., 2004).

#### **3.4.4 Amostragem em grade**

O uso da amostragem em grade em lavouras comerciais foi possível após adoção de práticas de AP no Brasil, sendo atualmente a mais utilizada no país, especialmente a amostragem de solo (COLAÇO; MOLIN, 2014). A amostragem em grade com a definição do “grid” amostral a ser trabalhado trata-se de um procedimento que objetiva caracterizar o todo de uma área ou talhão a partir da avaliação de apenas uma pequena porção representativa do mesmo (COLAÇO; MOLIN, 2014). Essa forma de amostragem deve ser realizada a partir do georreferenciamento da área que irá ser trabalhada, fazendo inicialmente a demarcação do seu perímetro.

A área é demarcada via caminhamento, utilizando um receptor de sistema de navegação por satélite (GNSS), ou demarcando o perímetro utilizando imagens de satélite com auxílio de softwares, tais como Google Earth®, em seguida, o arquivo das coordenadas deve ser transferido para um computador ou dispositivo que contenham software ou aplicativo para geração da malha amostral, definindo-se a forma e dimensão da malha para sobreposição da mesma sobre área, por último para completar a elaboração da malha amostral são plotados os pontos amostrais, no centro ou nas intersecções das quadrículas (CHERUBIN et al., 2016).

Na maioria dos estudos da AP em lavouras comerciais é observado a plotagem da grade amostral no formato quadricular. Quanto ao tamanho da célula da malha amostral, segundo Cherubin et al. (2015) tem correlação direta entre o número de amostras coletadas e a qualidade dos resultados obtidos, sendo umas das questões mais críticas na elaboração de uma amostragem.

A amostragem em grade promove a investigação detalhada da variabilidade de uma lavoura, para isso deve-se optar sempre por amostragens densas (maior número de pontos possíveis) e cuidadosas, principalmente na obtenção das amostras, o que pode elevar os custos

de análises laboratoriais, outra grande limitação é haver amostragem excessiva em subáreas (baixa variabilidade) do talhão e insuficientes em outras (alta variabilidade) (CHERUBIN et al., 2016).

### **3.4.5 Unidade de Gestão Diferenciada (UGD) ou Zonas de Manejo (ZM)**

A unidade de gestão diferenciada (UGD) ou zonas de manejo (ZM), cujo significado de ambos os termos é definir os locais da lavoura que retratam um conjunto de características semelhantes permitindo o seu agrupamento (EITELWEIN et al., 2016), como por exemplo, através de uma sequência de mapas de produtividade, identificando a variabilidade temporal de uma mesma área e indicando o que foi obtido em cada local (MOLIN, 2002). Como descreve Santi et al. (2013) para identificar zonas que representam ambientes de potencial produtivo diferenciado e estáveis temporalmente, deve-se realizar a sobreposição de mais de três safras, na mesma área, em conjunto com a integração de mais de uma cultura.

Após o procedimento metodológico de sobreposição dos mapas de colheita, define-se as zonas de manejo a partir de critérios pré-estabelecidos, delimitando os ambientes de produção da área em 3 classes, de acordo com os percentuais de produtividade, por exemplo, classe 1 <95%, classe 2 de 95% a 105% e classe 3 >105% da média geral da lavoura (CHERUBIN et al., 2016). Conforme descrito por Eitelwein et al. (2016), a delimitação das zonas de manejo requer um amplo conjunto de dados georreferenciados da área, tais como informação do relevo, solo e produtividade. Nessa linha, Molin (2002) considera que as unidades de manejo podem ser identificadas com informações de produtividade ou do solo, ou indicadores compostos.

Como relata Schwalbert, Corassa e Amado (2016), em um fluxograma, as fases para delimitação das zonas de manejo: coleta de dados no campo, filtragem (eliminar erros durante a aquisição dos dados) e interpolação (estimar os valores dos atributos em locais onde eles não foram amostrados), sobreposição de diferentes mapas e a próxima etapa é a delimitação propriamente dita, realizando a análise dos componentes principais (ACP) com ferramentas estatísticas e também torna-se necessário o uso de aproximações matemáticas através dos algoritmos de agrupamento (cluster).

A investigação da dinâmica da qualidade físico-hídrica e o funcionamento do solo em cada uma das zonas homogêneas assumem diferenciação, assim como a divisão de glebas em zonas homogêneas para adoção do manejo por sítio-específico, permite entender o manejo na qualidade física do solo (OLIVEIRA et al., 2014). Por tanto esta é mais uma ferramenta da AP

que proporciona estudar e entender a variabilidade das lavouras comerciais, além de permitir agilidade nas avaliações a campo, especialmente para a avaliação de resistência do solo a penetração.

### **3.4.5 Resistência a penetração**

A RP trata-se da resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (PEDROTTI et al., 2001). A compactação do solo pode ser descrita como a resistência mecânica à penetração radicular e a mudança nos valores dessa variável, ou seja, o solo mostrando-se com impedimento físico (compactação) em alguma camada, resulta em restrição do volume do solo explorado pelas raízes e seu comprimento (MEROTTO JR.; MUNDSTOCK, 1999).

Segundo Tavares Filho e Tessier (2009), a RP efetuada através de um penetrômetro digital simula o impedimento mecânico ao crescimento radicular, por isso apresenta significado biológico e pode indicar a qualidade física do solo. Os dados de RP dentro de uma lavoura comercial assumem rapidez na avaliação e são economicamente viáveis, também permitem elevada resolução espacial por gerar um bom número de observações (TAVARES FILHO; TESSIER, 2009). Segundo estudo de Girardello et al. (2014a), uma das estratégias eficientes para determinar a espacialização de áreas com elevada resistência à penetração, utilizando mapas temáticos da RP, por meio de sistema de informação geográfica (SIG).

A avaliação de RP torna-se uma alternativa para avaliar a condição de desenvolvimento das plantas, assim muitos pesquisadores estudam os valores críticos dessa variável e o quanto essa pode influenciar nas culturas. Estudo de Merotto Jr. e Mundstock (1999) relata que 3500 kPa como limite crítico de resistência à penetração de raízes. Para Girardello et al. (2014b), o valor crítico de resistência à penetração é de 3000 kPa (estudo realizado em Latossolo Vermelho) e ainda descreve que valores de 5000 kPa de RP podem gerar redução de 38 % na produtividade da cultura da soja. Porém, Taylor, Roberson e Parker Jr. (1966) mostram que muitos pesquisadores utilizam o valor de 2000 kPa como o limite crítico. Inúmeros trabalhos mostram diferentes valores de RP como críticos ao desenvolvimento radicular, porém cada planta tem sua especificidade comportamental, cada tipo de solo e sua condição de umidade tem sua resposta.

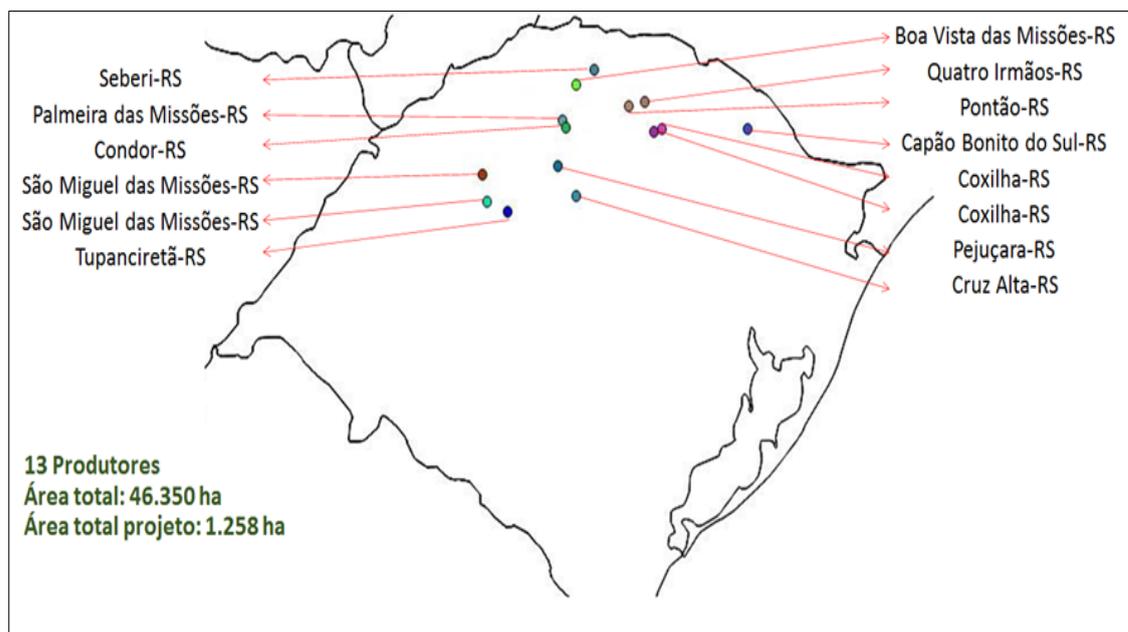
Em estudo desenvolvido por Santi et al. (2014b), os autores salientam a importância da variabilidade espacial e temporal da resistência do solo a penetração, onde as causas estão atreladas ao tipo de cobertura de solo e a condição de umidade no momento da coleta,

respectivamente. Ainda Merotto Jr. e Mundstock (1999), destacam que o teor de umidade e a densidade do solo, tem influência direta na variabilidade da avaliação da RP. Outros estudos mostram que os dados de RP assumem total relação com a umidade do solo, a mesma pode mudar rapidamente de uma possível condição limitante para outra não-limitante (Secco et al., 2009). Devido a isso a avaliação da resistência do solo a penetração deve ser de maneira criteriosa, mas quando bem conduzida a campo traz a informação do nível de compactação do solo em uma área ou ponto específico da mesma, assim tornando-se uma ferramenta útil para AP dentro de uma propriedade rural.

### 3.5 MATERIAL E MÉTODOS

O Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade – ConectFARM congrega 13 áreas de monitoramento na região Norte do RS (figura 1), porém para esse estudo, foram analisadas nove áreas conforme tabelas 1 e 2. Todas localizadas na região norte do estado do Rio Grande do Sul (RS), abrangendo uma área de 766 ha com total de 840 pontos. Todas as áreas estudadas apresentam o SPD consolidado, emprego de rotação de culturas e histórico de manejo com a adoção de práticas de AP.

Figura 1 – Localização das áreas experimentais no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConectFarm/CDP.

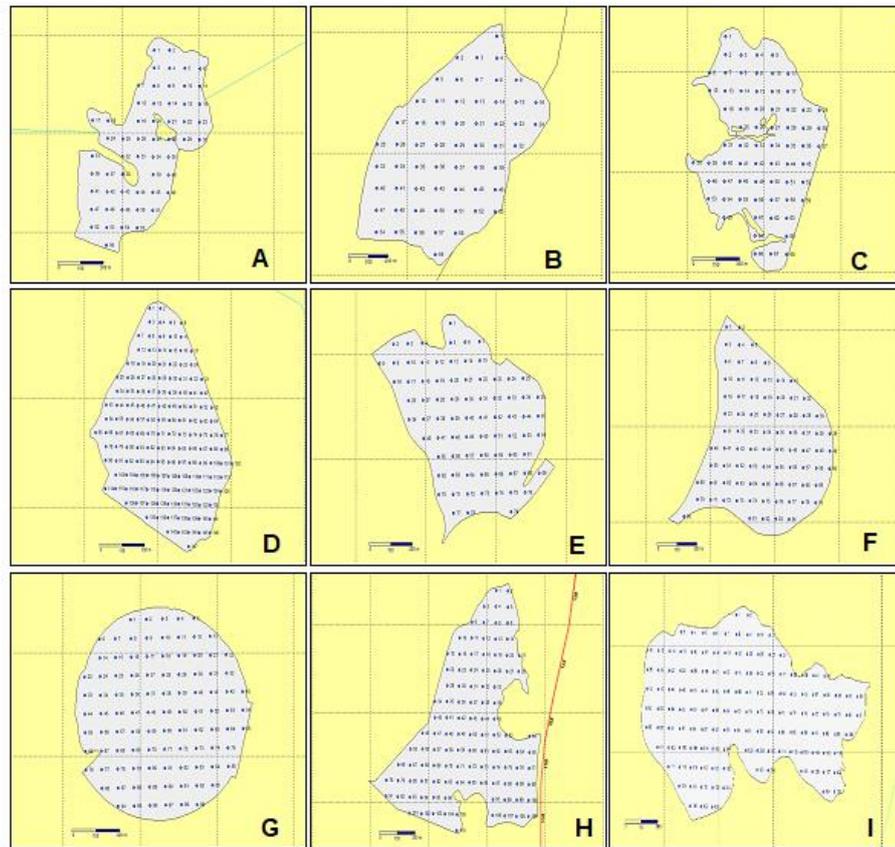
A amostragem da resistência do solo a penetração foi realizada em malha amostral regular de 100 m x 100 m, com quatro repetições em cada ponto amostral, totalizando para as nove áreas 3360 leituras. Apenas na área localizada em Boa vista das Missões a malha foi gerada de 50 m x 50 m (Tabela 1). As malhas amostrais foram geradas por meio do programa CR Campeiro 7.35 (GIOTTO, 2019), após a obtenção dos contornos das nove áreas, sendo adquirido através do projeto construindo e desafiando a produtividade - ConnectFarm/CDP, pelo método de caminhamento dos extremos da área com uso de sistema de posicionamento global (GPS) de navegação (GPS de mão) nas diferentes áreas. A figura 2 exemplifica o contorno das áreas com seus pontos amostrais.

Tabela 1 – Tamanho em hectares das diferentes áreas estudadas, sua respectiva localização e número de pontos amostrais obtidos por área.

<b>Área</b>	<b>Município</b>	<b>Tamanho da Área (ha)</b>	<b>Número de pontos amostrais</b>
<b>A</b>	Quatro Irmãos	56	56
<b>B</b>	Coxilha	59	59
<b>C</b>	Coxilha	68	68
<b>D</b>	Boa Vista das Missões	73	147
<b>E</b>	São Miguel das Missões	79	79
<b>F</b>	Cruz Alta	84	84
<b>G</b>	São Miguel das Missões	99	99
<b>H</b>	Pejuçara	110	110
<b>I</b>	Condor	138	138

Fonte: autor

Figura 2 – Demonstração de grade amostral utilizada nas 9 áreas estudadas.

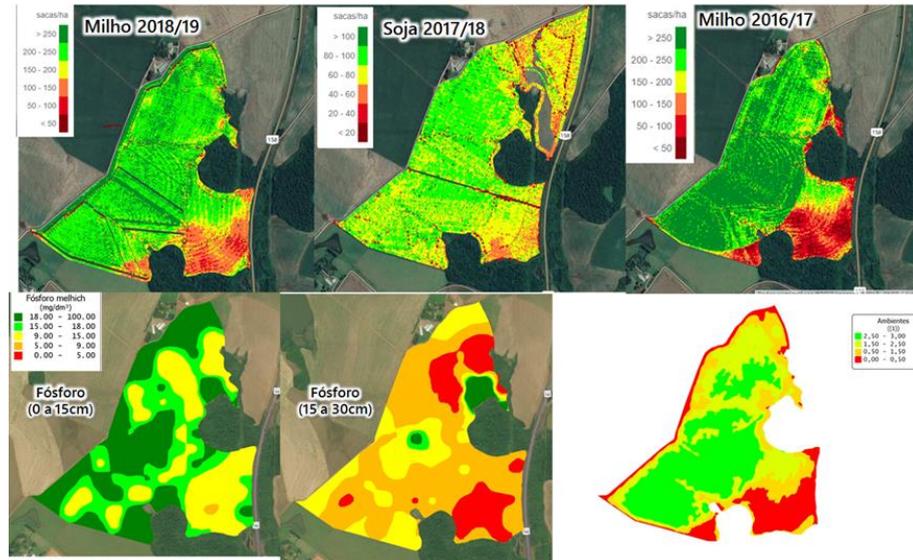


Legenda: A) área A (município: Quatro Irmãos); B) área B (município: Coxilha); C) área C (município: Coxilha); D) área D (município: Boa Vista das Missões); E) área E (município: São Miguel das Missões); F) área F (município: Cruz Alta); G) área G (município: São Miguel das Missões); H) área H (município: Pejuçara); I) área I (município: Condor).

Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade – ConnectFarm/CDP.

Para a definição dos ambientes de produção foram utilizados a sobreposição de dados históricos de produtividade, atributos químicos e físicos do solo e também mapas diagnósticos de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (figura 3). Os algoritmos para geração desses ambientes fazem parte da inteligência da empresa ConectFARM sendo disponibilizado já gerados para fins desse estudo.

Figura 3 – Demonstração da definição dos ambientes de produção ou zonas de manejo em uma das áreas estudadas considerando a produtividade das culturas e dados de fertilidade da área.



Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFarm/CDP.

Em cada área foram definidos três ambientes (zona de alta, zona de média e zona de baixa produtividade) e, definidos pontos para as avaliações como apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Tamanho em hectares das diferentes áreas estudadas, sua respectiva localização e número de pontos em cada zona de manejo, zona de baixa (ZB), zona de média (ZM) e zona de alta (ZA).

Área	Município	Tamanho da área (ha)	Número de pontos ZB	Número de pontos ZM	Número de pontos ZA
A	Quatro Irmãos	56	2	2	2
B	Coxilha	59	2	2	2
C	Coxilha	68	3	4	4
D	Boa Vista das M.	73	2	3	3
E	São Miguel das M.	79	3	3	2
F	Cruz Alta	84	3	3	3
G	São Miguel das M.	99	4	3	3
H	Pejuçara	110	3	3	2
I	Condor	138	4	5	5

Fonte: autor.

### 3.5.1 Avaliação da Resistência a Penetração (RP)

A avaliação de RP foi realizada com um penetrômetro digital automático da marca Falker modelo PenetroLog PLG1020®, utilizando-se uma haste com 0,60 m de comprimento, cone com diâmetro de 12,81 cm e ângulo de cone de 25,00°. O equipamento é acionado por um

sistema hidráulico que está acoplado no quadriciclo que realiza a leitura em velocidade constante a fim de evitar possíveis erros amostrais. O equipamento possui interface no painel para armazenagem das medições (podem ser visualizadas instantaneamente) para transferência de dados por cartão de memória ou USB.

Esse aparelho é um medidor eletrônico que avalia a resistência física que o solo exerce mediante a penetração de uma haste metálica rígida, essa avaliação foi realizada na profundidade de 0 a 0,60 m, sendo quatro amostras por ponto amostral. Os valores de RP foram obtidos em kilopascal (kPa) a cada centímetro de profundidade. O solo, no momento das leituras, encontrava-se com umidade em capacidade de campo, a fim de evitar variações nas diferentes avaliações.

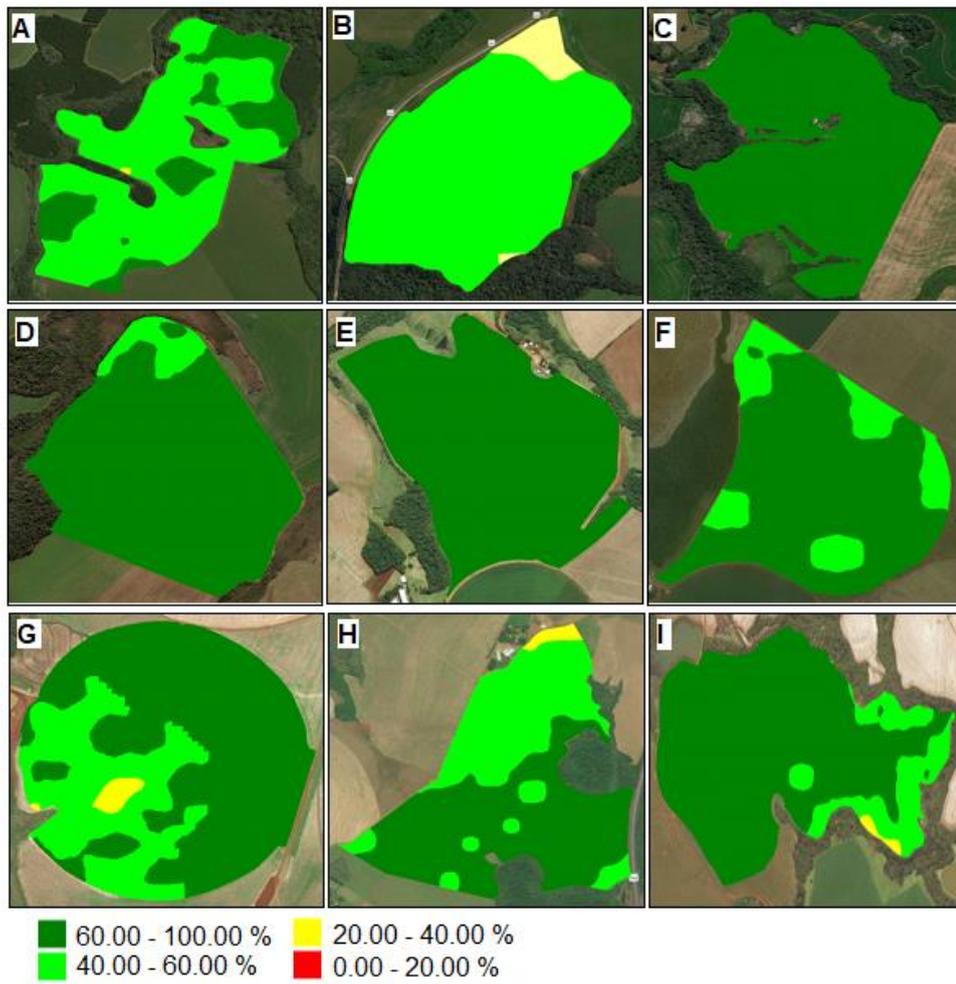
Após a transferência das leituras de RP do equipamento para o computador, foram gerados os gráficos em grade através da média dos pontos, de zona de baixa, zona de média e zona de alta com a média dos pontos de cada zona das nove áreas do projeto. Também foi coletado solo nas camadas 0 – 0,15 m e 0,15 -0,30 m para avaliação do teor de argila. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da UFRGS.

### 3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados quanto ao teor de argila como mostra nos mapas temático (figura 4 e 5) assumem variabilidade espacial e vertical na maioria das áreas estudadas, exceto as áreas C e E, devido às suas texturas de solo se demonstrarem extremamente argilosa, situando-se apenas no intervalo de 60 a 100% em área total e nas diferentes camadas. Em estudos como de Ferreira, Fernandes e Curi (1999) mostram que as propriedades físicas associadas à estrutura (diâmetro dos agregados) foram marcadamente influenciadas pela composição mineralógica da fração argila.

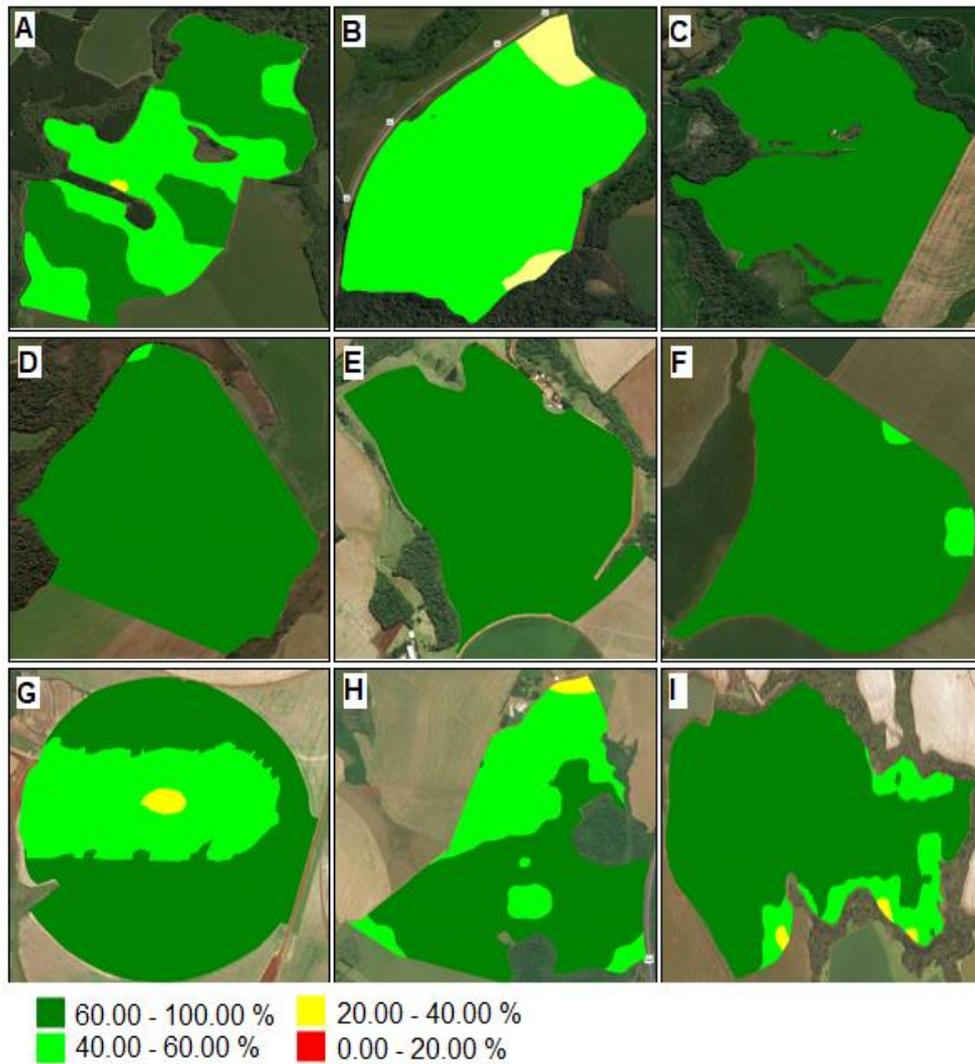
É importante mencionar que os mapas temáticos de argila das áreas A, B, D, F, G, H e I (figuras 4 e 5), mesmo apresentando variabilidade espacial e vertical quanto aos teores de argila não influenciaram nas avaliações de RP do solo por apresentarem semelhante e elevados teores de argila. Todas as áreas do presente estudo as avaliações de RP foram realizadas em capacidade de campo do solo, evitando que a umidade do solo possa influenciar nos dados coletados. Pois em estudos como de Santi et al. (2014b) as avaliações de RP do solo apresentaram variabilidade temporal, devido os teores de umidade no solo durante as avaliações.

Figura 4 – Mapa temático de argila (%) na camada de 0 – 0,15 m de profundidade das nove áreas estudadas.



Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFarm/CDP.

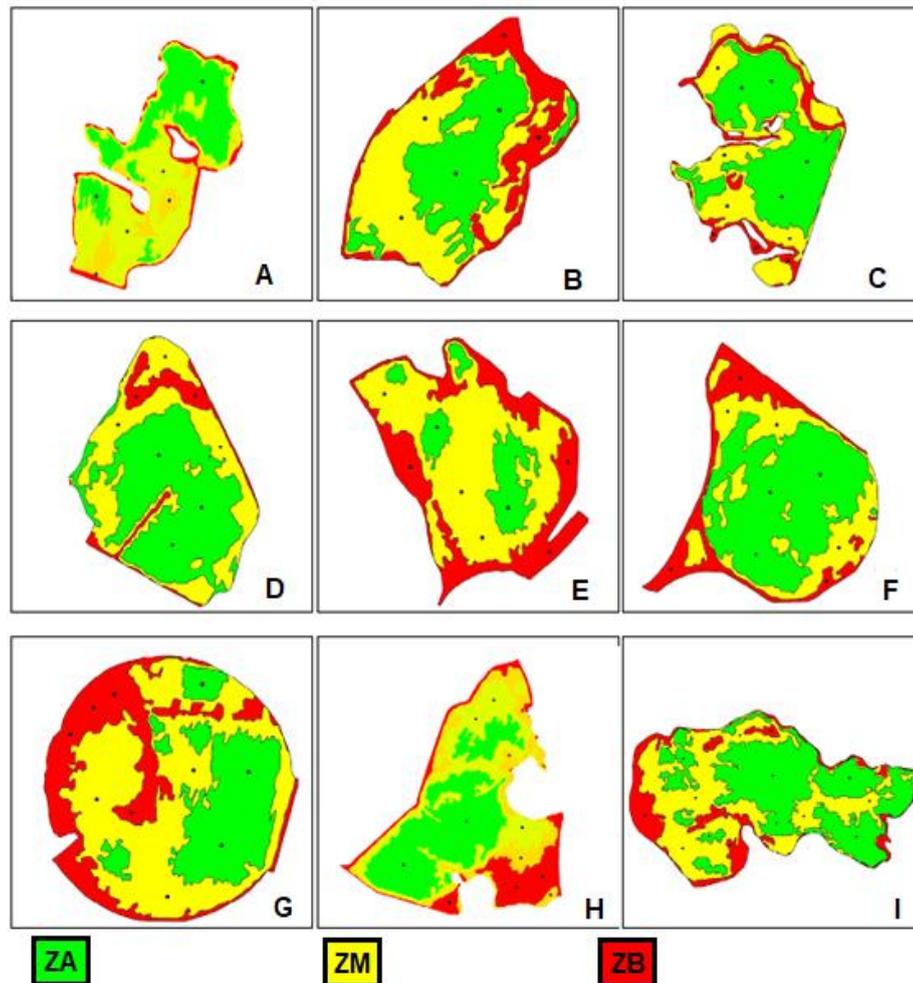
Figura 5 – Mapa temático de argila (%) na camada de 0,15 – 0,30 m de profundidade das nove áreas estudadas.



Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFarm/CDP.

Os mapas dos ambientes de produção (figura 6), mostra a variabilidade espacial das 9 áreas do projeto, onde pode-se identificar a zona de baixa ocorrendo normalmente nas extremidades da área enquanto que as zonas de média e alta estão direcionadas mais ao centro.

Figura 6 – Ambientes de produção das nove áreas estudadas.



Legenda: ZA) zona de alta; ZM) zona de média; ZB) zona de baixa.

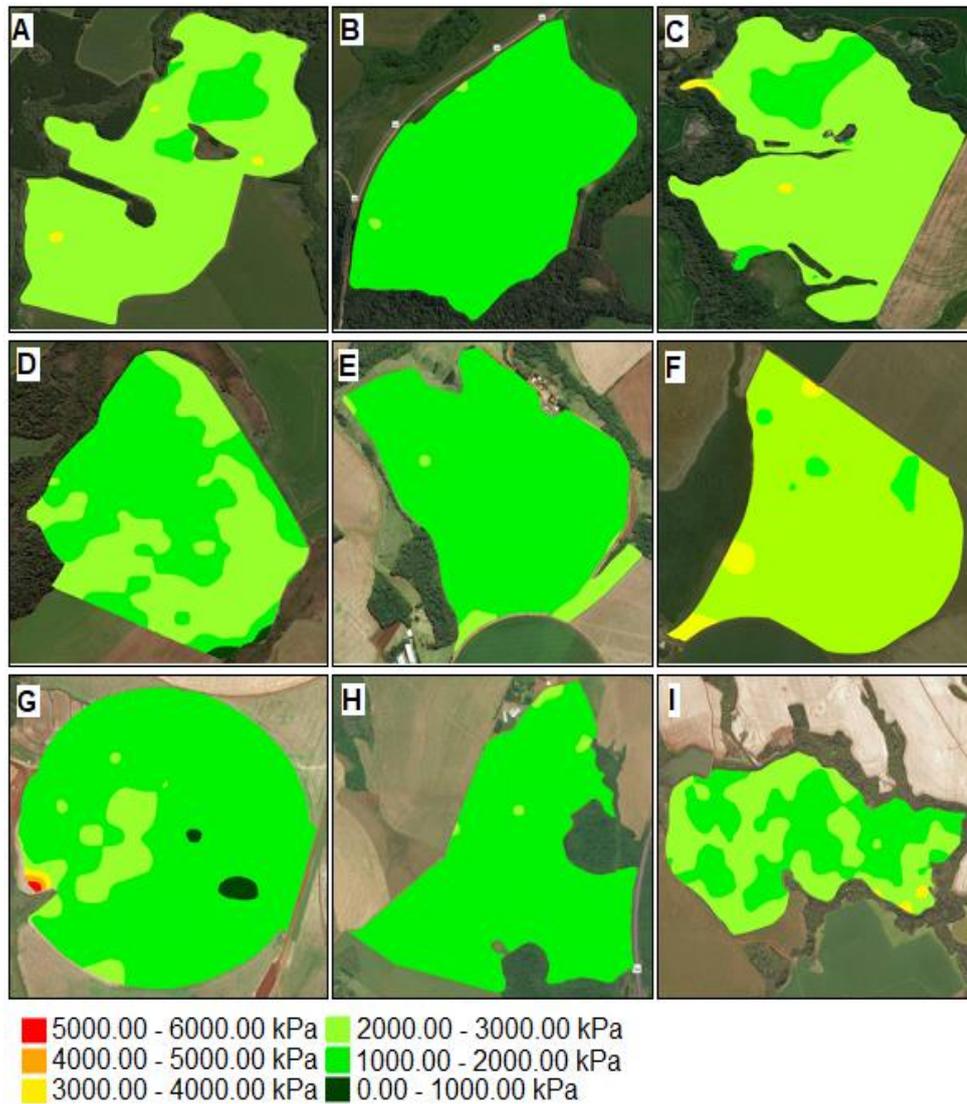
Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFarm/CDP.

As nove áreas apresentaram pouca diferença quando se compara a leitura média de RP na camada de 0,15 – 0,20 m com a camada de 0,20 – 0,25 m (figura 7 e 8), muito provavelmente que esse fato seja explicado por serem as camadas com maiores leituras de RP, apresentando maior e semelhante nível de compactação superficial, o que resultou em pequenas variações entre as camadas e em algumas áreas (especialmente a B, E e H) a variabilidade espacial foi baixa.

Outro fato que é observado nos mapas temáticos (figuras 7 e 8) pontos específicos da área dentro de um intervalo de RP mais alto em relação a outras regiões, segundo Silva, Reichert e Reinert (2004), tem locais mais propensos a compactação, devido às pressões recorrentes por serem regiões de manobras ou de maior tráfego de máquinas, normalmente estes locais estão localizados nas extremidades da lavoura. Apenas a área G tem região situada no intervalo de 5000 a 6000 kPa e 4000 a 5000 kPa na camada de 0,15 - 0,20 m e 0,20 - 0,25 m (figura 7 e 8),

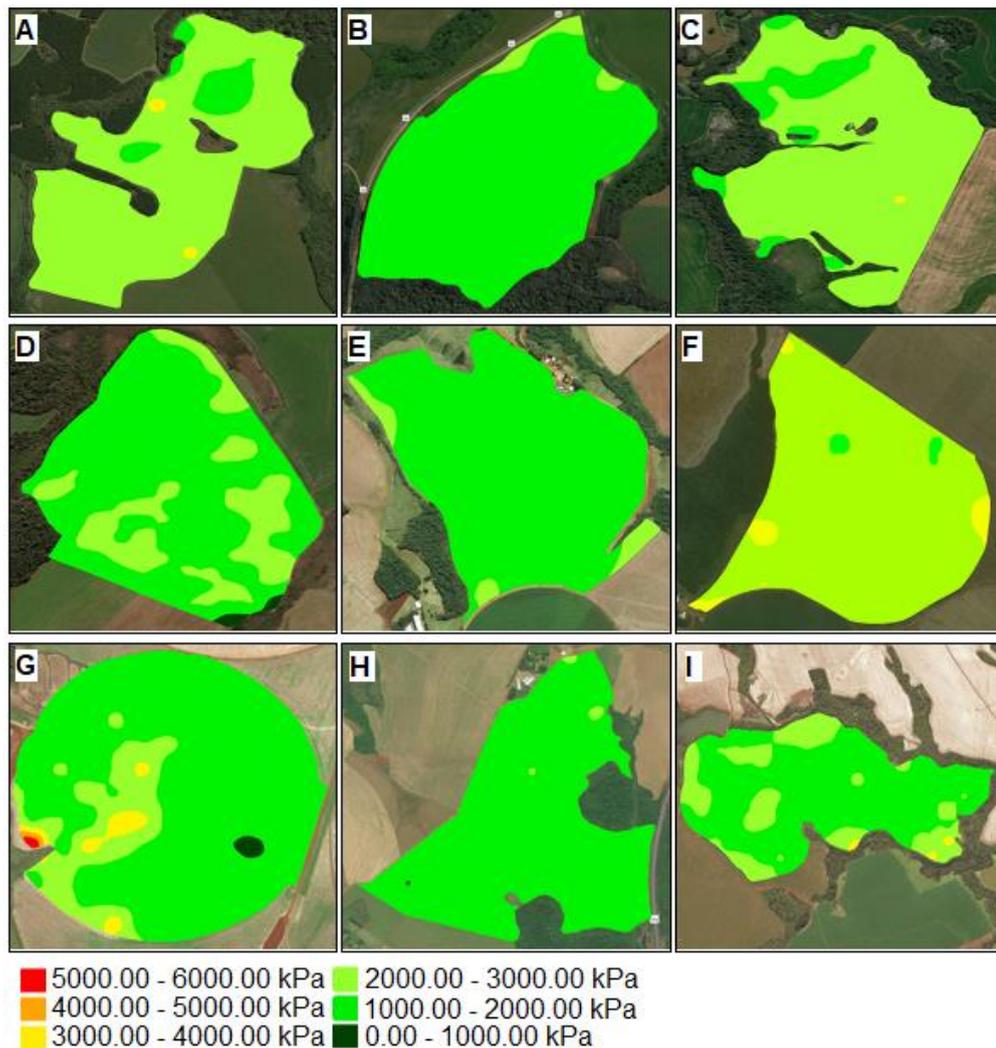
cujo valores estão acima do limite crítico ao desenvolvimento radicular em todas as literaturas revisadas. As demais áreas do projeto estão no intervalo de 3000 a 4000 kPa ou abaixo deste valor em ambas as camadas.

Figura 7 – Mapa temático de resistência do solo à penetração (kPa) na camada de 0,15 – 0,20 m de profundidade das nove áreas estudadas.



Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFarm/CDP

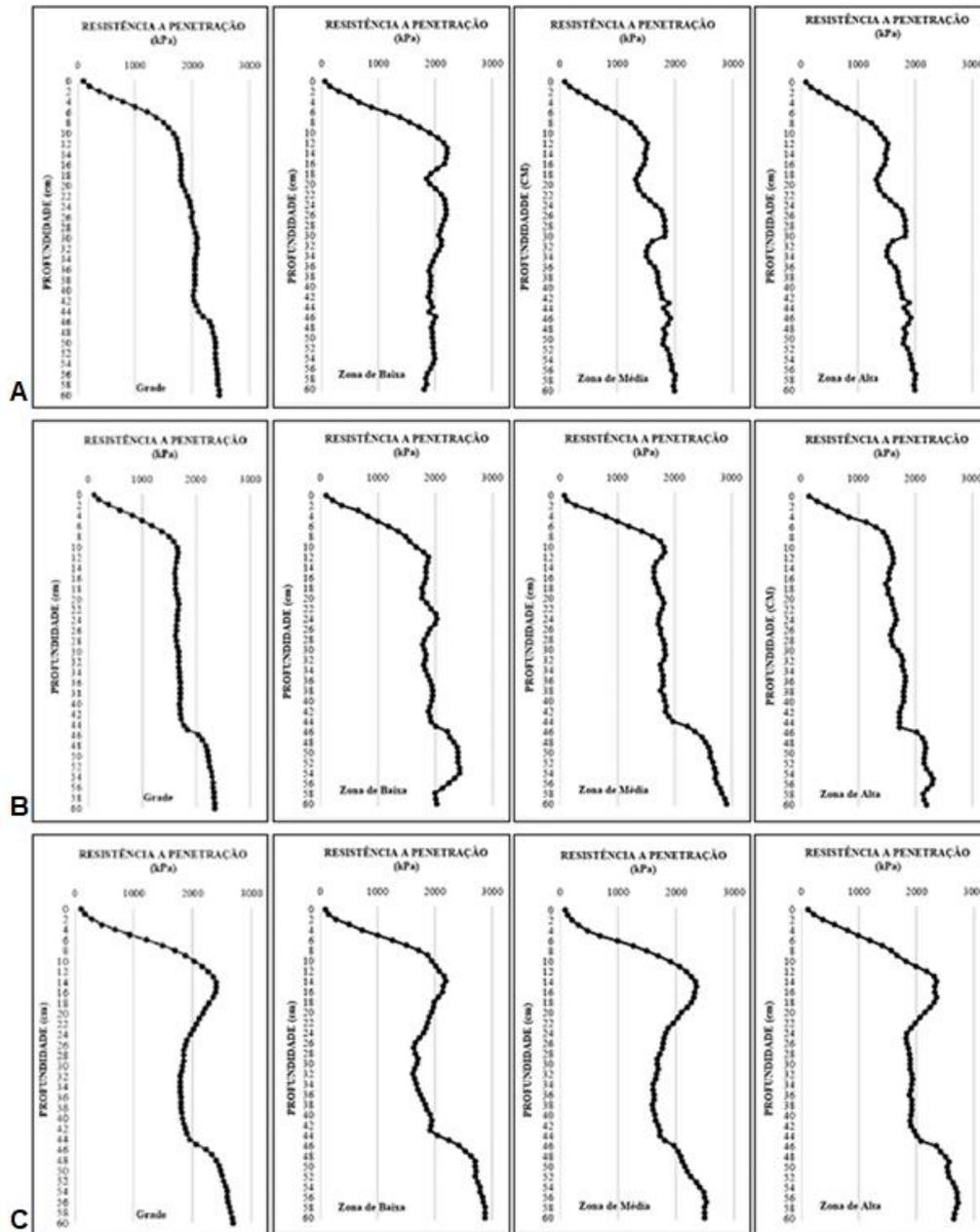
Figura 8 – Mapa temático de resistência do solo à penetração (kPa) na camada de 0,20 – 0,25 m de profundidade das nove áreas estudadas.



Fonte: Projeto Construindo e Desafiando a Produtividade - ConnectFarm/CDP.

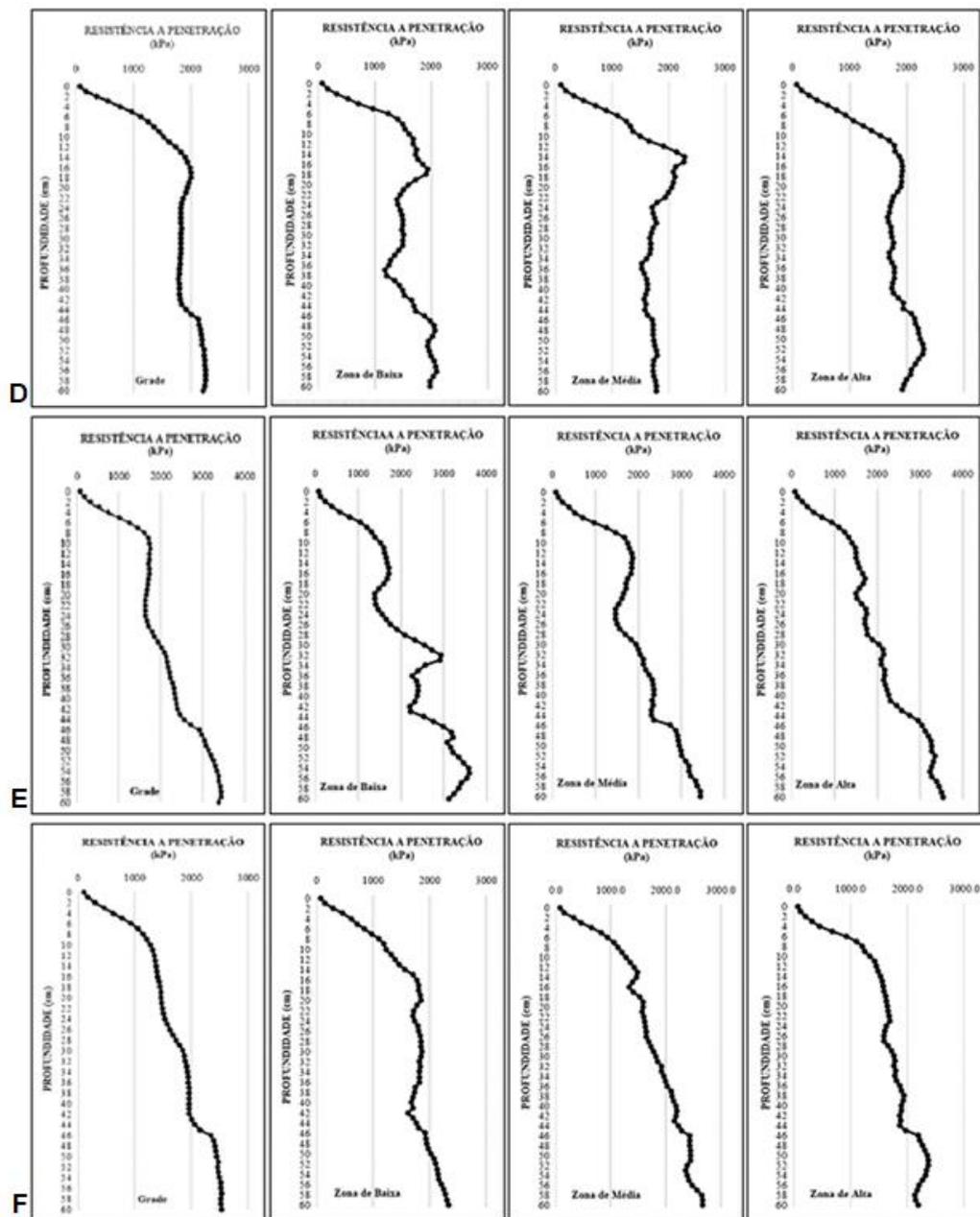
Os dados apresentados nas figuras 9, 10 e 11 demonstram a variação da resistência do solo a penetração no perfil estudado (0,60 m), onde pode-se dar ênfase na camada de 0,15 a 0,20 m e 0,20 – 0,25 m pôr assumir maiores valores de leituras na maioria das áreas. Avaliações de resistência do solo a penetração no estudo de Assis e Lanças (2005), indicam em áreas de plantio direto de longa duração, a camada avaliada com maior nível de compactação foi nas profundidades de 0,10 – 0,20 m e 0,20 – 30 m, evidenciando possíveis restrições à penetração de raízes.

Figura 9 – Resistência do solo à penetração médio nas amostragens em grade e nos ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivos nas áreas A, B e C.



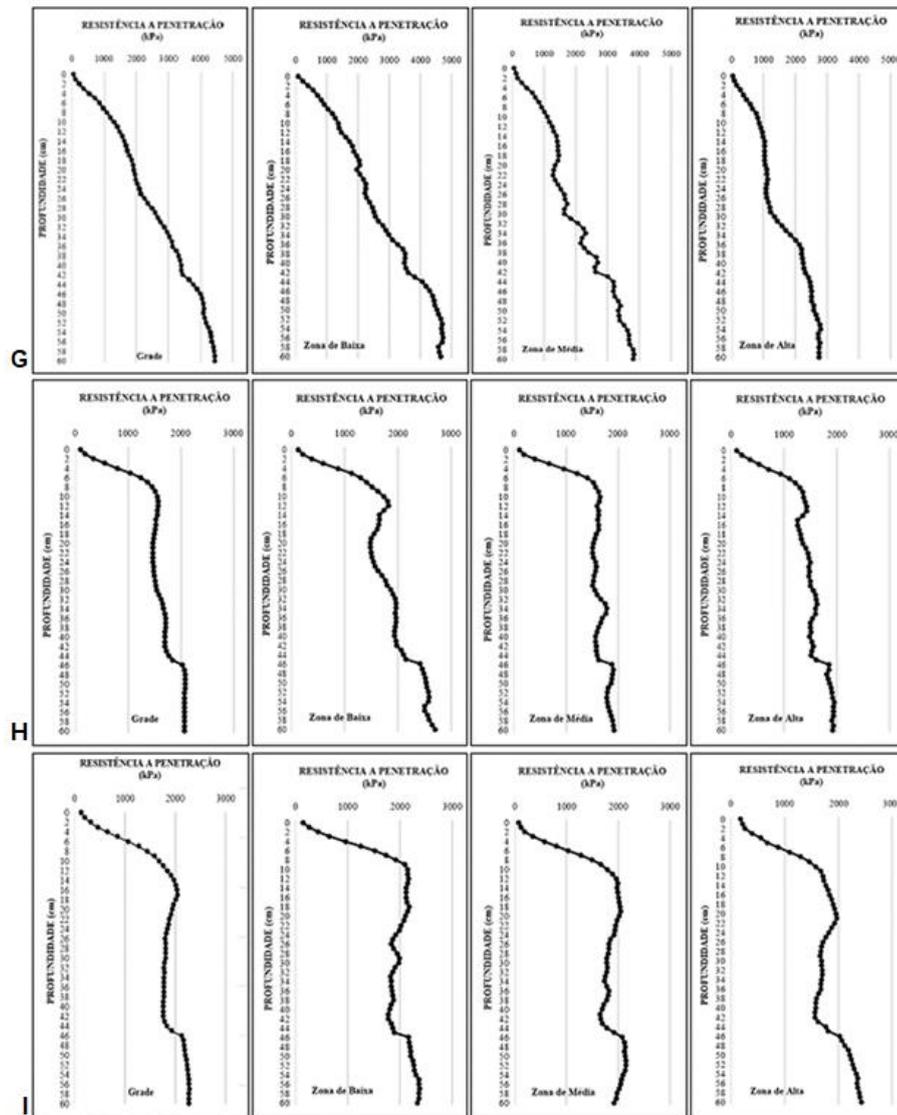
Fonte: Autor.

Figura 10 – Resistência do solo à penetração médio nas amostragens em grade e nos ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivos nas áreas D, E e F.



Fonte: Autor.

Figura 11 – Resistência do solo à penetração médio nas amostragens em grade e nos ambientes de baixo, médio e alto potencial produtivos nas áreas, H e I.



Fonte: Autor.

É interessante mencionar que todas as áreas, exceto a área E e G, apresentam valores inferiores ou próximo do limite crítico de 3500 kPa, proposto em estudo de Merotto Jr. e Mundstock (1999) ou de Girardello et al. (2014b) que definiu o valor crítico como de 3000 kPa. A área E possui valores que ultrapassam os 3000 kPa nas camadas inferiores, 0,50 a 0,60 m, tanto nas amostragens por ambientes quanto nas amostragens por grade.

A área G ultrapassa os 3000 kPa nas amostragens em grade, zona de baixa e zona de média, em camadas inferiores do solo, inclusive na zona de baixa chega próximo a 5000 kPa, cujos valores estão acima do limite crítico ao desenvolvimento radicular de todas as literaturas revisadas. Porém, as camadas superficiais destas áreas percebem-se baixo nível de

compactação, estando abaixo ou próximo dos limites críticos ao desenvolvimento radicular das culturas. Também é importante mencionar que as camadas superficiais das áreas E e G quando se compara as amostragens realizada em grade com as de ambientes de produção, assume baixo nível de diferenciação.

Apenas a área G permitiu maior diferenciação, quando comparado as amostragens das zonas de baixa e alta com a de grade nas camadas inferiores a 0,40 m de profundidade (figura 9, 10 e 11). As diferentes camadas avaliadas nas demais áreas estudadas (A, B, C, D, F, H e I) demonstraram baixo nível de diferenciação tanto nas amostragens realizadas por grade quanto nas amostragens por ambientes de produção.

### 3.7 CONCLUSÕES

Os teores de argila de todas as áreas estudadas não influenciaram nas avaliações de RP do solo.

A amostragem de resistência do solo à penetração em ambientes de produção ou zonas de manejo é uma importante forma de gerenciar uma lavoura comercial, pois permite maior agilidade durante a coleta, por reduzir o número de pontos amostrais, consequentemente pode reduzir os custos de amostragem e até mesmo os custos de armazenamento dos dados em plataformas digitais, sem perder a qualidade das informações obtidas.

### REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
- ASSIS, R. L. D.; LANÇAS, K. P. Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 515-522, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400004>. Acesso 19 out. 2019.
- CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2183-2190, 2011.
- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 2, p. 168-177, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v50n2/0100-204X-pab-50-02-00168.pdf>. Acesso em 03 out. 2019.

- CHERUBIN, M. R.; SANTI, A. L.; PIAS, O. H. C.; EITELWEIN, M. T.; BASSO, C. J.; FLORA, L. P. D.; MELO, J. D. Amostragem de solo na agricultura de precisão. In: SANTI, A. L.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T. J. C. (orgs.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: CESPOL, 2016. p. 79-98.
- COLAÇO, A. F.; MOLIN, J. P. Amostragem georreferenciada. **Agricultura de Precisão Boletim Técnico**, Piracicaba, n. 2, p. 1-5, out. 2014. Disponível em: [https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Boletim-T%C3%A9cnico-Amostragem\\_out\\_2014.pdf](https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/04/Boletim-T%C3%A9cnico-Amostragem_out_2014.pdf). Acesso em: 05 nov. 2019.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**. v. 24, n. 4, p. 20-31, 2008. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6947>. Acesso em: 10 out. 2019.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D. P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v. 268, p. 319-328, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-004-0330-4>. Acesso em: 10 out. 2019.
- EITELWEIN, M. T.; SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; DAMIAN, J. M.; CHERUBIN, M. R.; CORASSA, G. M.; BASSO, C. J.; FLORA, L. P. D. **Mapeamento da produtividade de grãos e utilização dos mapas**. Santa Maria – RS: CESPOL, 2016.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 515-524, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n3/04.pdf>. Acesso em: 19 out. 2019.
- FLORA, D. P. D. **Distribuição espacial de massa seca de plantas de cobertura de outono/inverno**. 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2019. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/18723/DIS\\_PPGAAA\\_2019\\_DELLA\\_FLORA\\_DIANDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/18723/DIS_PPGAAA_2019_DELLA_FLORA_DIANDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 12 set. 2019.
- FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. Manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 49-56, jan./fev. 2001. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/485006>. Acesso em: 02 set. 2019.
- GIOTTO, E. **CR Campeiro versão 7.35**. 2019. Disponível em: <http://www.crcampeiro.net/>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014a.
- GIRARDELLO, V.; AMADO, T.; ERTEL, C.; GARLET, L. Benefícios do tráfego controlado de máquinas. **A Granja**, n. 785, p. 34-37, 2014b.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, N. 2, p. 169-177, 2005.

LUCHIARI JUNIOR, A.; SILVA, A. S.; BUSCHINELLI, C. C. A.; HERMES, L. C.; CARVALHO, J. R. P.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S. Agricultura de precisão e meio ambiente. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 19-35. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/164652/1/2005CL-032.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2019.

MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A.; CARMO, C. A. F. S.; MEIRELLES, M.S. P.; MANZATTO, C. V. Estudo de caso em agricultura de precisão: manejo de lavoura de soja na região de Campos Gerais, PR. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. (eds.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 93-112. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175687/1/Agricultura-de-precisao-para-o-manejo-da-fertilidade-do-solo-em-sistema-plantio-direto-2004.pdf>. Acesso em: 02 set. 2019.

MANTOVANI, E. C.; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de precisão. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. E12-13, abr. 2005.

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C. M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p.197-202, 1999. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/35c6/5149d46fbf5ff05d6f0808e93e776c5f1790.pdf>. Acesso em: 25 out. 2019.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R.; LUZ, F. B. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil And Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016.

OLIVEIRA, J. F.; MARCHÃO, R. L.; CORAZZA, E. J.; MALAQUIAS, J. V.; HURTADO, S. M. C.; VILELA, M. F.; GUIMARÃES, M. F. Qualidade física do solo em zonas homogêneas para adoção do manejo sítio-específico. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, Á. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (eds.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 231-238.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 25, n. 3, p. 521-529, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>. Acesso em: 20 set. 2019.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Adv. Agronomy**, v. 67, p.1-85, 1999.

RESENDE, A. V.; FONTOURA, S. M. V.; BORGHI, E.; SANTOS, F. C.; KAPPES, C.; MOREIRA, S. G.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; BORIN, A. L. D. C. Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 156, p. 1-19, dez. 2016. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1070008/1/Solosfertilidade1.pdf>.

Acesso em: 17 out. 2019.

SÁ, J. C. M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; LAL, R.; BOUZIBAC, S.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B.; HARTMAN, D. C.; BERTOLONI, C. G.; ROSA, J.; FRIEDRICH, T. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. **Land Degradation e Development**, v. 26, p. 531-543, 2015. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2218>. Acesso em: 19 out. 2019.

SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; SILVA, R. F.; DA ROS, C. O. Definição de zonas de produtividade em áreas manejadas com agricultura de precisão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 3, p. 510-515, 2013. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v8i3a2489>. Acesso em: 07 out. 2019.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; KOPPE, E.; BERTOLLO, A. M.; MENEGOL, D. R.; SILVA, D. A. A.; SILVA, V. R. Plantas de cobertura de inverno e a variação espacial e temporal da resistência do solo a penetração. **Revista Plantio Direto**, v. 140, p. 10-20, 2014a.

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; GAVIRAGHI, R.; BISOGNIN, M. B.; BASSO, C. J.; FLORA, L. P. D.; CASTRO, D. M.; FLORA, D. P. D. Multifuncionalidade de biomassas de cobertura do solo e agricultura de precisão. **Revista Plantio Direto**, v. 137/138, p. 16-23, 2014. Disponível em: <https://www.plantiodireto.com.br/storage/files/137-138/3.pdf>.

SANTI, A. L.; DAMIAN, J. M.; FLORA, D. P. D.; BRIGNONI, E.; FORNARI, E. Z.; SOUZA, F. M.; GERLACH, L. F.; BARCELLOS, P. A.; JUNG, C. Variabilidade dos cultivos de inverno e os impactos nos cultivos de verão. **Revista Plantio Direto**, v. 155, p. 29-35, 2017. Disponível em: <https://www.plantiodireto.com.br/storage/files/155/6.pdf>.

SCHWALBERT, R. A.; CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C. Definição de zonas de manejo utilizando “multi-layers” e sensoriamento “on-the-go”: definições e uso. In: SANTI, A. L.; SEBEM, E.; GIOTTO, E.; AMADO, T. J. C. (orgs.). **Agricultura de precisão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: CESPOL, 2016. p. 233-249.

SECCO, D.; REINERT, D.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000100010>. Acesso em: 25 set. 2019

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil and Tillage Research**, v. 142, p. 42-53, 2014. Disponível em: <http://www.bashanfoundation.org/contributions/Hungria-M/2014.-Hungria-STR.pdf>. Acesso em: 25 set. 2019.

- SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n2/a10v34n2>. Acesso em: 25 set. 2019.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. D.; MOREIRA, J. A. A. **Atributos físico-hídricos do solo sob plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 39 p. (Documentos, 191). Disponível em: <https://www.docstity.com/pt/atributos-fisicos-e-hidricos-do-solo-sob-plantio-direto/4716781/>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Atributos físico-hídricos de um latossolo vermelho submetido a diferentes preparos e rotações de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **A inserção da engenharia agrícola em projetos nacionais**. Campinas: Unicamp: Embrapa Informática Agropecuária, 2004. p. 1-4. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/207475/1/cbea-2004.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.
- TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Compressibility of Oxisol Aggregates under no-till in response to soil water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1525-1533, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600002>. Acesso em: 12 set. 2019.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR., J. J. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966. Disponível em: [https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1966/07000/Soil\\_Strength\\_Root\\_Penetration\\_Relations\\_for.2.aspx](https://journals.lww.com/soilsci/Citation/1966/07000/Soil_Strength_Root_Penetration_Relations_for.2.aspx). Acesso em: 15 out. 2019.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 333-339, 1996.
- VALENTE, J.; SANZ, D.; BARRIENTOS, A.; DEL CERRO, J.; RIBEIRO, A.; ROSSI, C. An air-ground wireless sensor network for crop monitoring. **Sensors**, v. 11, p. 6088-6108, 2011. Disponível em: <https://cyberleninka.org/article/n/384776.pdf>. Acesso em: 17 out. 2019.