

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL**

**CURSO DE AGRONOMIA**

**RAFAEL DA COSTA GUILMAN**

**RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM ATRAVÉS DE AMOSTRAGEM  
GEORREFERENCIADA COMPARANDO A APLICAÇÃO: TAXA FIXA E VARIÁVEL**

**LARANJEIRAS DO SUL**

**2022**

**RAFAEL DA COSTA GUILMAN**

**RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM ATRAVÉS DE AMOSTRAGEM  
GEORREFERENCIADA COMPARANDO A APLICAÇÃO: TAXA FIXA E VARIÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia-com Ênfase em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Fey

**LARANJEIRAS DO SUL**

**2022**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Guilman, Rafael da Costa  
RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM ATRAVÉS DE AMOSTRAGEM  
GEORREFERENCIADA COMPARANDO A APLICAÇÃO: TAXA FIXA E  
VARIÁVEL / Rafael da Costa Guilman. -- 2022.  
40 f.:il.

Orientador: Drº Rubens Fey

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Agronomia, Laranjeiras do Sul, PR, 2022.

1. agricultura de precisão. 2. GPS. 3. CALCÁRIO. I.  
Fey, Rubens, orient. II. Universidade Federal da  
Fronteira Sul. III. Título.

**RAFAEL DA COSTA GUILMAN**

**RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM ATRAVÉS DE AMOSTRAGEM  
GEORREFERENCIADA COMPARANDO A APLICAÇÃO: TAXA FIXA E VARIÁVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 13/04/2022.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof.ª Dr.ª Rubens Fey– UFFS  
Orientadora



---

Prof. Augusto César Prado Pomari Fernandes  
Avaliador



---

Eng. Agrônomo Jean Sartori  
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, que não pouparam esforços para que eu pudesse concluir meus estudos, minha esposa e aos amigos que Deus me permitiu conhecer durante o curso.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aqui a todos (as) que contribuíram, de alguma maneira, para a realização desta pesquisa, a qual não seria possível sem a colaboração de muitas pessoas. Igualmente agradeço à minha família, aos meus pais José e Delice, meus irmãos Josiane, Josieli, Jean e Roberto (*in memorian*), por todo o zelo e cuidado que sempre tiveram comigo, dando suporte nos momentos em que pensei em desistir e me incentivando a continuar, desprendendo de recursos e tempo para que fosse possível concluir mais uma etapa da minha vida.

À minha esposa Tacieli Casanova Guilman, agradeço o carinho, confiança e incentivo em me tornar um homem melhor.

Minha gratidão aos colegas de turma e de Universidade que fizeram parte desta jornada e que sonharam junto comigo.

Por fim, meu agradecimento especial aos profissionais do Campus Laranjeiras do Sul - PR, especialmente aos colaboradores William, Fran, Everton, Chaline e Silvia. E, um agradecimento especial aos saudosos professores desta instituição, os quais foram fundamentais para minha formação. E toda e total gratidão pelo Filho de Deus, Jesus que me redimiu e me salvou.

## RESUMO

O presente trabalho foi realizado na cidade de Lidianópolis-Pr, na propriedade da família Pacheco e tem como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da utilização de aplicação de calcário, através da recomendação a taxa variável em comparação à taxa fixa, dessa forma buscando traçar um comparativo entre as duas formas de aplicação de corretivos. Foram realizadas coletas de solos georreferenciadas para a amostragem da área e interpolados através de um software, dessa forma gerando os mapas de fertilidade da área e posteriormente as recomendações. A viabilidade econômica da utilização da taxa variável em relação a fixa é expressada com pouca diferença em valores, mais se comparada ao benefício a longo prazo e a utilização da quantidade correta no solo é algo que devemos levar em consideração.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, GPS, Calcário

## **ABSTRACT**

This academic work has been done in the city of Lidianopolis-Pr, on the property of Pacheco's family and it aims to analyze the technical and economic feasibility in the use of limestone application, through the recommendation, the variable rates in comparison to the fix rate, thereby seeking trace a comparative between both forms of corrective application. Georeferenced collect of soil were held to the sampling of areas and interpolated through a software, in this way creating the fertility map of the area and afterward the recommendations. The economic viability in use of variable tax regard to the fix tax is expressed with a few difference in values, but if compared to the long-term benefit and the use of correct quantity in soil is something that we must consider

Keywords: Precision Agriculture,GPS,Limestone

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AP	Agricultura de Precisão
SIG	Sistema de Informação Geográfico
GPS	Global Positioning Systems

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>14</b>
<b>1-REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>15</b>
<b>1.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)</b>	<b>15</b>
<b>1.2 TÉCNICAS CORRETIVAS DE SOLO</b>	<b>17</b>
<b>1.3 GLOBAL POSITIONING SYSTEM E O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO</b>	<b>19</b>
<b>1.4 MAPAS DE FERTILIDADE E RECOMENDAÇÃO</b>	<b>21</b>
<b>1.5 TAXA VARIADA E DISTRIBUIDOR DE TAXA VARIADA</b>	<b>22</b>
<b>2-MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
<b>3- RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>31</b>
<b>3.1 TAXA FIXA</b>	<b>31</b>
<b>3.2 TAXA VARIÁVEL</b>	<b>31</b>
<b>4-CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil vem passando por intensos processos transformativos no que diz respeito ao desenvolvimento de novas tecnologias no setor agrícola. A crescente demanda mundial pelo acesso a produtos agrícolas e florestais em quantidades e com qualidade satisfatória, são os principais responsáveis pela demanda de novas tecnologias que busquem impulsionar este setor, assim, resultando em sucessivas pesquisas na área agronômica com objetivo de propiciar um maior e melhor aproveitamento do solo e por sua vez, numa maior produtividade.

Ainda discorrendo sobre o cenário nacional, o Brasil tornou-se referência no que diz respeito à produtividade agrícola, ganhando cada vez mais destaque no agronegócio mundial. Porém, este reconhecimento só ocorreu em virtude à inúmeros programas de pesquisa e desenvolvimento, melhoramento genético de plantas, mecanização e através da adoção de técnicas de manejo, a exemplo do sistema de Agricultura de Precisão (AP).

Ao implementar técnicas de AP proporciona-se como ferramentas ligadas ao desenvolvimento sustentável do setor agrícola, uma vez que além de ser um algoritmo racional de aplicação de insumos, possibilita também a maximização da área agrícola produtiva e aumento da produtividade, explorando com maior eficácia os recursos produtivos. Desta forma, com o uso e adoção destes procedimentos tecnológicos existentes haverá um direcionamento possibilitando recomendação de aplicação de insumos (corretivos, fertilizantes e defensivos) e uso de recursos naturais de forma mais eficiente, com perspectiva de elevado retorno econômico e baixo impacto ambiental. (BERNARDI et al. 2013).

Uma destas alternativas que vem impulsionando o setor agrícola é a AP, sendo este um sistema baseado na adoção de tecnologias que visam garantir maior gerenciamento dos sistemas de produção intensivos. De acordo Soares e Cunha (2015) com a utilização de práticas de amostragem de solo e o uso de técnicas de aplicação a taxa variável tem sido alguns exemplos de alternativas capazes de gerar maior retorno econômico para o produtor rural e auxiliando uma maior eficiência

sobre o uso solo, causando menor impacto e proporcionando melhores resultados referentes à fertilidade do solo.

Como resposta à adoção de técnicas de AP, podemos obter como retorno da adoção desta técnica a melhoria da fertilidade do solo e conseqüentemente o melhoramento da área cultivada/ produtiva e não objetivando a expansão de mais áreas de cultivo. A prospecção do aumento de produtividade relacionado aos investimentos em tecnologias mais eficientes, fez com que se evitasse o desmatamento de aproximadamente 80 milhões de hectares, ou seja, resultando diretamente na redução dos impactos ambientais e promovendo o correto manejo do uso do solo e dos recursos hídricos ( LOPES et al, 2007).

Outro fator determinante relacionado a necessidade de desenvolvimento de técnicas produtivas mais eficazes, está relacionado à demanda global por alimentação. Vivemos atualmente um crescente aumento populacional e por sua vez uma elevada busca por alimentos que venham a satisfazer tais procuras. Sendo assim, é notório que para se gerar maior quantidade e qualidade de produtos agrícolas, torna-se necessário desenvolver técnicas que maximizem a produção das áreas agrícolas. Nesse sentido, programas de pesquisa na fertilidade do solo vem sendo constantemente estimuladas pelo governo e pela iniciativa privada como alternativa a melhoria na agricultura e aumento da oferta de produtos agrícolas e florestais, podendo assim, evitar o desmatamento em áreas de preservação ambiental e aperfeiçoar o manejo em áreas de terras já cultivadas.

Para Kerber (2016) “os avanços decorrentes da adoção de técnicas relacionadas à agricultura de precisão foram cruciais para o aperfeiçoamento e desenvolvimento da agricultura, principalmente em regiões brasileiras com solos considerados ácidos e de baixa fertilidade.” Sendo este um dos principais fatores relacionado à expansão da fronteira agrícola para regiões com solos mais empobrecidos, como por exemplo o Cerrado, assim buscando consolidar esta região como mais uma região produtiva de grãos e pecuária do Brasil.

Sendo assim, a utilização de técnicas ligadas à agricultura de precisão vem por contribuir com a otimização da área agrícola e da produção, isso ainda atrelado às técnicas conservacionistas e de menor risco ambiental. De forma geral, o atributo principal ligado à agricultura de precisão é a uniformização das áreas agrícolas e

aumento da produtividade, permitindo a máxima exploração do potencial produtivo agrícola e da maximização dos recursos produtivos (Earl et al., 2003).

## Objetivo Geral

-Analisar a viabilidade técnica e econômica da utilização de aplicação de calcário a taxa variável em relação à taxa fixa

## Objetivos Específicos

- Comparação de aplicação a Taxa Fixa e Variável
- Viabilidade Econômica do uso da Taxa Variável

## 1 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, serão apresentados os elementos que proveram suporte para a elaboração do estudo e posterior análise e interpretação dos dados obtidos. Neste sentido, o aprofundamento teórico desta pesquisa contempla as bases da inovação e difusão de técnicas desenvolvidas dentro do sistema de AP. O capítulo está subdividido em quatro sessões. A sessão inicial busca aprofundar-se em torno da temática AP como ferramenta de inovação da agricultura, a sessão seguinte estará relacionada ao Sistema de Informação Geográfico (SIG) e a ferramenta *Global Positioning System* (GPS), a terceira seção se refere aos mapas de fertilidade e pôr fim a última sessão irá aprofundar-se em torno das ferramentas de taxa variada e distribuidor de taxa variada.

### 1.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO (AP)

De acordo Blackmore et al (2003) o termo AP, do inglês significa *site-specific crop management* pode ser definida como gestão da variabilidade espacial e temporal, ou seja, a nível técnico e prático diz respeito a melhores práticas de retorno econômico ao produtor rural em consonância com a redução dos impactos ambientais.

Destaca-se que o termo AP teve seu início nos países europeus e posteriormente nos Estados Unidos da América como *Precision Farming* ou *Precision Agriculture*, traduzindo para o português em Agricultura de Precisão. Assim, esta técnica veio a ser utilizada para definir e resgatar a capacidade de conhecer cada metro quadrado da lavoura e conseqüentemente direcionando de forma exata e padronizada quaisquer tomadas de decisão relacionadas às recomendações de intervenções dentro do sistema produtivo (MOLIN, 2011).

Objetivando o melhor aproveitamento dos recursos agrícolas, métodos de AP constantemente vêm sendo desenvolvidos e aprimorados para o melhor aproveitamento dos nutrientes e fertilidade do solo. Com as novas tecnologias de AP, a aplicação de fertilizantes pode ser realizada de forma contínua e com doses

controladas de acordo com demandas exatas de cada ponto, sendo esta aplicação realizada através de amostragem por métodos de aplicabilidade considerando a análise da variabilidade espacial por toda área aplicada (KUHAR, 1997).

Contextualizando o termo AP, Lamparelli (2016) destaca que é um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado de cultivos, estabelecendo a maximização da produção agrícola em conjunto a maior efetivação de gastos relacionados aos cultivos, ou seja, resultando num maior rendimento produtivo com melhor aproveitamento dos recursos econômicos investidos.

De forma mais genérica, AP vem a ser uma técnica de produção agrícola com objetivo em oferecer tomadas de decisões com maior clareza e de forma mais correta por unidade de área, terra e tempo, incorporando lucratividade, tais como melhorias nas operações de manejo do solo, na qualidade do produto, no maior rendimento por área e na conservação do meio ambiente (McBRATNEY et al., 2005).

Considerando de forma prática e técnica, a AP se dispõe sob a elaboração e utilização de mapas que descrevem de forma simples e práticas as técnicas a serem utilizadas pelos agricultores, objetivando reduzir a vulnerabilidade dos sistemas de produção e assegurando retornos com base científica às questões ambientais e assim contribuindo para o aumento da qualificação técnica da cadeia produtiva na qual está inserida, proporcionando conhecimento na produção de grãos para as diferentes unidades de produção (SANTI, 2013).

Destaca-se que a técnica de AP engloba uma série de ferramentas e tecnologias envolvidas para sua aplicabilidade, tais como: a utilização de sistemas de informação, máquinas adaptadas, sensores e gestão de conhecimento, isso tudo resultando na otimização e acréscimo produtivo, resultando na minimização das incertezas nos sistemas agrícolas. Por meio do monitoramento da área agrícola e da cadeia produtiva como um todo, permite-se gerenciar a quantidade e qualidade dos produtos agrícolas (GEBBERS e ADAMCHUK, 2010).

A AP pode ser aplicada em diferentes fases de um determinado cultivo por meio das diferentes ferramentas que se tem disponíveis. Assim, Molin (2011) descreve de forma sucinta este ciclo que a AP pode acoplar por meio de suas tecnologias, desta forma, a AP pode iniciar pela geração de mapas de colheita,

seguido por análises de solo em grade, interpretação de dados, após, pela aplicação de insumos a taxa variada e pôr fim a utilização de técnicas constantes de monitoramento da lavoura.

No que diz respeito a viabilidade econômica associada à prática de adoção da AP, é uma técnica que está associada atrelada a alguns fatores de difícil controle, tais, relacionados à variabilidade dos campos, condições naturais e ambientais, diferentes situações de produção e diferentes metodologias de análises econômicas, são alguns dos exemplos. No entanto, objetiva-se então que, no balanço final, os benefícios superem os custos, sendo estes benefícios notados mais facilmente quando as ferramentas são empregadas em cultivos de alto valor agregado (SWINTON; LOWENBERG-DEBOER, 1998).

Na seção seguinte será realizado um aprofundamento teórico em torno das ferramentas de tecnologias de *Global Positioning System* (GPS) e o Sistema de Informação Geográfico (SIG), ferramentas estas, amplamente utilizadas da Agricultura de Precisão.

## 1.2 TÉCNICAS CORRETIVAS DE SOLO

De forma geral, os solos brasileiros apresentam características químicas inadequadas para o cultivo agrícola intensivo, pois, apresentam elevada acidez, altos teores de hidrogênio e alumínio trocável, além da deficiência de cálcio e magnésio. Sendo assim, a produtividade de uma cultura está diretamente ligada à adoção de técnicas de manejo do solo adequadas.

A fim de garantir maior eficiência agrícola produtiva, torna-se fundamental o cuidado com a fertilidade do sistema, pois é através desta característica que mais evidencia o valor agrônomo do solo. Ela define a capacidade do solo em fornecer nutrientes às plantas em quantidades e proporções adequadas para a obtenção de grandes produtividades, e pode ser modificada pelo homem com certa facilidade, para se adequar às exigências da planta cultivada (BELTRÃO et al., 2000). No estado do Paraná, cerca de 90% dos solos cultivados com milho e soja são conduzidos em plantio direto (PD), promovendo maior fertilidade do solo e evitando

a alteração na dinâmica de Fósforo (P) no solo (Ciotta et al., 2002; Albuquerque et al., 2005; Costa et al., 2009).

A fim de suprir as demandas para o desenvolvimento de uma cultura, faz-se as correções e adubações necessárias. “A adubação é a prática agrícola que consiste em adicionar ao solo a quantidade de nutrientes que preenche a lacuna entre o que a planta exige e o que o solo pode fornecer, acrescentando, ainda, a quantidade perdida”(MALAVOLTA, 1989). Assim, a quantificação dos nutrientes existentes no solo é essencial para um uso eficiente, racional e econômico do adubo.

Com relação às recomendações de corretivos e adubos, os critérios de interpretação variam de região para região, sendo o ideal que cada estado tenha tabelas de interpretação da fertilidade dos seus solos e de recomendação de corretivos e adubos, para cada cultura. Isto porque as condições locais, principalmente as propriedades dos solos, o clima e o nível tecnológico usado pelos agricultores, que influem nos rendimentos das diversas culturas são diferentes. Assim, essas tabelas também devem se diferenciar, pois são baseadas em intensiva experimentação local a nível de campo, visando definir a dose do nutriente a ser aplicada e o nível do nutriente no solo a ser alcançado para a obtenção do melhor retorno econômico ao produtor. As doses assim encontradas constituem a base para a recomendação oficial de corretivos e adubos.

Ainda sobre as técnicas de correção do solo, a calagem vem a ser uma tecnologia empregada com o objetivo principal de corrigir a acidez e, conseqüentemente, melhorar as características químicas, físicas e biológicas do solo. Esta tecnologia promove, também, para a elevação da eficiência dos fertilizantes e para o aumento da disponibilidade de nutrientes existentes no solo, o que proporciona o incremento da produtividade e, conseqüentemente, a rentabilidade da atividade agrícola (CAVALCANTI et al., 1998).

No entanto, a calagem corrige apenas a subsuperfície do solo, isto é, a camada abaixo da qual se incorporou o calcário, mantendo o subsolo praticamente inalterado quanto à toxidez de alumínio. Com relação a saturação por bases (V%), denomina-se como sendo a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions:

$$(\%)=100*SB\div CTC$$

\*na fórmula utiliza-se o valor da “CTC total”\*

Assim, a saturação por bases apresenta-se como um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, sendo utilizada até como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a V%, sendo eles: solos eutróficos (férteis) =  $V\% \geq 50\%$ ; solos distróficos (pouco férteis) =  $V\% < 50\%$ . Alguns solos distróficos podem ser muito pobres em  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^{+}$  e apresentar teor de alumínio trocável muito elevado, chegando a apresentar saturação em alumínio (m%) superior a 50% e nesse caso são classificados como solos álicos (muito pobres): Al trocável  $\geq 3 \text{ mmolc dm}^{-3}$  e  $m\% \geq 50\%$ . 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 (JANSEN et al., 2003).

A dissolução do calcário, em solos ácidos, promove a liberação de ânions ( $OH^{-}$  e  $HCO_3^{-}$ ), os quais reagem com os cátions de reações ácidas da solução do solo ( $H^{+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ), havendo posteriormente a formação e a migração de  $Ca(HCO_3)_2$  e  $Mg(HCO_3)_2$  para camadas mais profundas do solo (OLIVEIRA & PAVAN, 1996; RHEINHEIMER et al., 2000).

Como alternativa de correção destes solos ácidos, pode-se utilizar o calcário dolomítico/ calcário magnesiano. Trata-se do carbonato duplo de cálcio e magnésio,  $CaMg(CO_3)_2$  ou  $CaCO_3MgCO_3$ . É obtido da dolomita, mineral de rocha carbonatada sedimentar, genericamente denominada rocha dolomítica. O PRNT médio deste calcário é de 83%; seu teor de CaO é de 20 a 40% e o de MgO entre 10 e 20%. Sua eficiência também depende do teor desses óxidos e do grau de moagem (Malavolta, 1980).

### 1.3 GLOBAL POSITIONING SYSTEM E O SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICO

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) se apresenta como uma importante ferramenta utilizada dentro do sistema de AP, sendo esta uma técnica que através de máquinas de aplicação localizada de insumos a taxas variáveis, identifica

especificamente através de pontos da propriedade agrícola as necessidades e particularidades de cada solo e assim direcionando de forma adequada às exigências minerais e nutricionais de formas específicas (LAMPARELLI, 2016).

Ao longo dos anos muitas ferramentas foram desenvolvidas dentro da AP, sendo um dos principais avanços a utilização do Sistema GPS, o qual passou a ser utilizado em equipamentos agrícolas, proporcionando inúmeros benefícios ao ambiente e na promoção dos rendimentos produtivos. Assim, tecnologias que permitem otimizar o uso de recursos naturais e incrementar o lucro das propriedades visando o desenvolvimento sustentável do setor agrícola (BONGIOVANNI; LOWENBERG-DEBOER, 2004).

O tratamento localizado foi efetivamente consolidado através da operacionalização e incorporação do GPS na agricultura, sendo esta técnica um dos principais avanços para a difusão da AP. O início da aplicação da tecnologia GPS ocorreu em meados de 1990 no Brasil, através da aviação agrícola. Conhecido como “barra de luz” este dispositivo foi o precursor da tecnologia, qual foi utilizado para orientar a pulverização aérea e posteriormente passando a ser utilizado na pulverização terrestre (MAPA,2011)

Os sistemas de informação (SIGs) estão relacionados a aplicação de softwares que analisam os dados espaciais obtidos a campo, sendo esta uma técnica de manipulação e digitalização de mapas, possibilitando a organização dos dados que foram extraídos a campo e assim determinar o diagnóstico das variáveis estudadas. Desta forma, cada conjunto de dados deve ser agrupado em mapas, podendo ser eles mapas de fertilidade e produtividade (SHIRATSUCHU, 2001).

Considera-se que atualmente o SIGs é uma importante ferramenta para o entendimento e interpretação dos dados de distribuição espacial com grande número de informações, sendo uma técnica fundamental para a construção de mapas com vistas a considerar diferentes atributos químicos e físicos, assim, tendo a finalidade de entender a variabilidade espacial existente nas mais diversas áreas e talhões agrícolas.

Diversos trabalhos e pesquisas vêm sendo realizadas tomando como base técnicas através do SIG para obtenção de diferentes resultados e objetivos. De acordo com Rodriguez & Lopez (2000) a aplicabilidade do SIG para o planejamento

de sistemas agrícolas, produzindo mapas temáticos que auxiliaram na modernização dos sistemas produtivos. De forma prática, Carvalho et al (2005) destaca a utilização do SIG em áreas de assentamentos rurais com intuito de indicar áreas agro economicamente mais aptas para o desenvolvimento e escolha de determinados cultivos, assim direcionando a técnica exata que melhor a adapta ao devido cultivo.

Sendo assim, é notório o potencial de aplicação SIG para o planejamento agrícola, tendo em vista a importância do uso desta ferramenta para o desenvolvimento de técnicas computacionais que visam auxiliar técnicas para aplicações em SIG que possibilita a espacialização da renda líquida maximizada e possibilitando sua aplicação no planejamento da agricultura a ser manejada.

#### 1.4 MAPAS DE FERTILIDADE E RECOMENDAÇÃO E O USO DO SOFTWARE QGIS

A utilização de mapas de produtividade torna-se essencial para o gerenciamento da AP, um mapa de produtividade evidencia áreas e regiões com alta e baixa produtividade, porém, não explica a causa de tal variação, que pode ser ocasionada por doenças, fatores químicos e físicos do solo, estresse hídrico e entre outros fatores. No entanto, o mapeamento da produtividade é mais uma ferramenta da AP, considerando-se necessário a avaliação dos demais fatores determinantes da produtividade (HAUSCHILD, 2013).

De forma geral, os solos apresentam certa heterogeneidade dos atributos físicos e químicos, porém, não podemos considerar que apresentam características uniformes. Algumas características podem ser visíveis, tais como vegetação, textura, cor e topografia devem ser conhecidas para assegurar que essas variabilidades não comprometerão sob o uso de tecnologias de AP, neste caso a utilização de mapas de fertilidade e produtividade (SANTOS e VASCONCELLOS, 1987; SILVEIRA et al., 2000).

A expressão dos dados de produtividade através de mapas são fundamentais para a interpretação das demandas e necessidades de uma lavoura. Assim, para maior efetividade a geração de mapas exige uma sofisticação para a obtenção dos

dados essenciais. Representando de forma uniforme o conjunto de ponto de análise de uma determinada lavoura, garantindo assim a sua máxima eficácia. Sendo assim, fundamentais para a formulação orientativa das necessidades/exigências demandadas e posteriormente aplicadas através da taxa variada.

Desta forma, uma importante ferramenta também utilizada para a construção dos mapas de fertilidade dá-se através da utilização do *Software* QGIS, que é utilizado para o processamento de dados e geração de mapas, que posteriormente podem vir a ser utilizados para delinear zonas de manejo. Assim, esta ferramenta torna-se uma alternativa viável para produtores e profissionais da área agrícola utilizarem estas informações para o processamento de informações disponíveis para a implantação da cultura agrícola.

O Quantum Gis (QGIS) é um software de código aberto, utilizado para o processamento de imagens de satélites e posterior análise de dados especializados por interpolação. Esta última consiste em uma ferramenta que possibilita a elaboração de mapas que mostram a distribuição espacial de atributos químicos e físicos do solo, proporcionando ao produtor ou profissional agrícola uma melhor tomada de decisão em relação ao manejo da propriedade em todos os seus componentes (DONATTI, 2018).

Desta forma, o (re)conhecimento sobre a distribuição geográfica e os atributos físicos e químicos dos solos é de fundamental importância para o planejamento das lavouras e para a gestão do uso e preservação dos recursos ambientais. Desse modo, através do uso do *Software* QGIS torna-se possível confeccionar mapas temáticos que auxiliam na identificação das classes de solo de uma região, assim detectando uma prévia condição da qualidade do solo e de sua fertilidade natural, direcionando de forma exata e controlada os fertilizantes necessários para o devido cultivo (TENCATEN et al., 2011).

## 1.5 TAXA VARIADA E DISTRIBUIDOR DE TAXA VARIADA

A aplicação à taxa variada é outra técnica amplamente utilizada dentro da AP, esta técnica faz uso de informações coletadas do solo e/ou da planta, onde a partir disso calcula-se e aplica-se, em cada região do talhão, a quantidade adequada do

insumo. Ou seja, ao passo que o implemente/máquina agrícola utilizada para a aplicação dos fertilizantes se desloca na área realizando uma operação, ocorrem alterações nos mecanismos dosadores para que ocorra a variação das dosagens aplicadas (WERNER et al., 2007).

Pode-se observar algumas vantagens da aplicação por taxa variável, como um menor impacto ambiental, pois não há o uso de produtos em maior quantidade do que o necessário, aumento da produtividade, redução dos custos, e um aumento da eficiência do produto a ser aplicado, que pode ser o calcário, ou até mesmo gesso e fertilizantes (MARCANDALLI, 2015).

De acordo com Gandah et al (2000) a variabilidade dos atributos químicos do solo pode ser um fator intimamente ligado às oscilações de produção de um talhão. Porém, recomenda-se que antes de buscar qualquer relação dos elementos com a cultura é importante avaliar a extensão bem como a intensidade da dependência espacial desta variação.

Sendo assim, para aplicação à taxa variada podemos dividir os equipamentos através de duas categorias, podendo ser através de mapas ou através do sensoriamento. Nos equipamentos com base em mapa, um mapa de aplicação é gerado e inserido no controlador do sistema de aplicação, Estes mapas são formulados por profissionais com auxílios de ferramentas computacionais, tomando por base para a captação de informações a utilização de mapas de produtividade de safras anteriores, ou seja, através de fontes extraídas por sensores, experiência e anotações do agricultor, dados obtidos em análises de solo entre outros. Por sua vez, os equipamentos de aplicação com base em sensores, a determinação da dosagem a ser aplicada é realizada, em tempo real, a partir de dados coletados por sensores que medem características da planta ou do solo (FOROUZANMEHR; LOGHAVI, 2012).

Aplicações de fertilizantes e corretivos em taxas variáveis requerem o uso de equipamentos calibrados para desempenhar com eficiência a aplicação dos fertilizantes nas doses necessárias proferidas através dos mapas de fertilidade e assim direcionar as recomendações. Aplicações em dosagens incorretas causam

excessos ou deficiências de insumos, causando prejuízos econômicos ao produtor e riscos de contaminação do solo e dos recursos hídricos (AMADO & SANTI, 2007).

Para Dobermann & Ping (2004), a aplicação, manejo e qualquer outro tipo de interferência na agricultura de forma localizada, em momentos e em quantidades necessárias para a devida produção de uma cultura em áreas mais homogêneas torna-se fundamentais para melhor efetivação dos custos e recursos envolvidos no sistema produtivo. Sendo assim, a adoção da técnica de taxa variada vem a diminuir a variabilidade dos sistemas de produção, aumentando a competitividade dos produtos agrícolas e contribuindo para o aumento da qualificação técnica na cadeia produtiva de grãos.

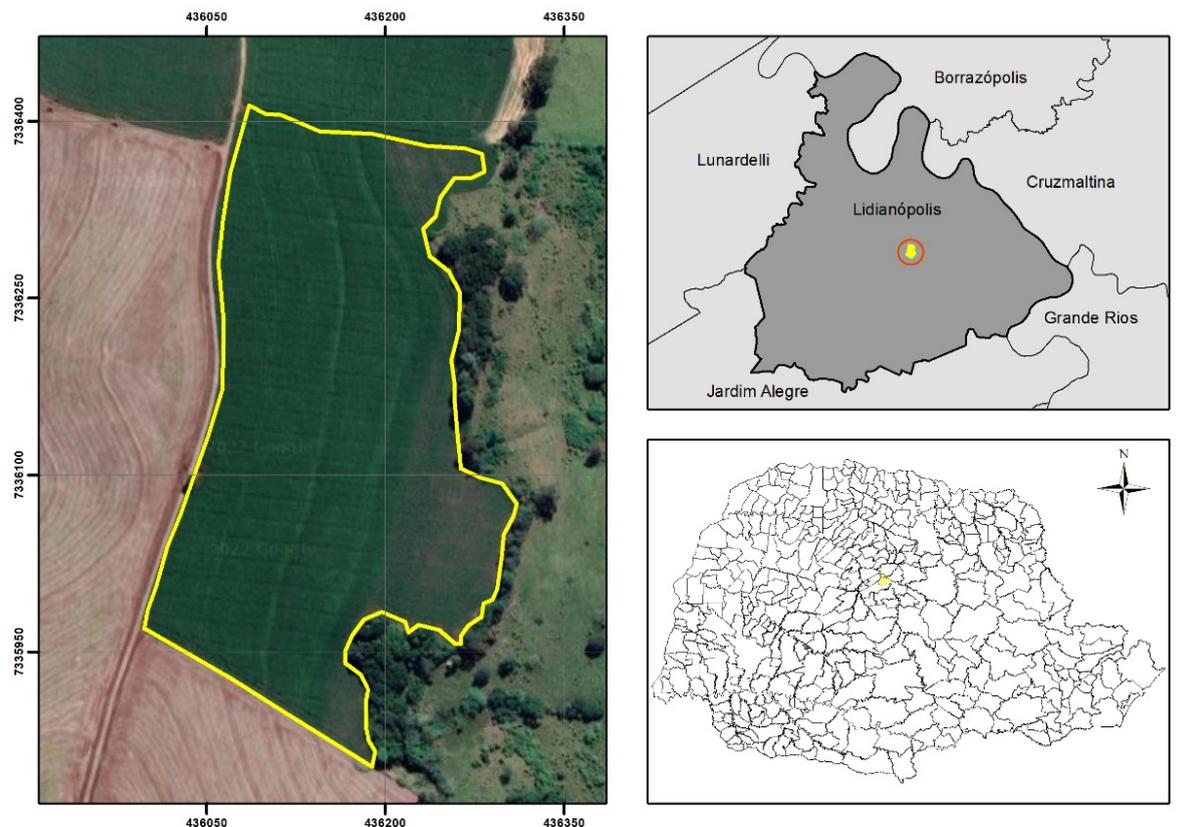
Nota-se que o processo de adoção de técnicas de AP está relacionado a necessidade do agricultor em encontrar soluções para possíveis problemas encontrados em suas propriedades. Desta forma, a aplicação a taxa variada é uma técnica que visa através dos mapas de fertilidade e produtividade direcionar de forma exata as quantidades necessárias de fertilizante de acordo com a demanda e exigência da cultura, ou seja, as aplicações em taxa variada atuam diretamente sobre as variações espaciais e temporais. Para isto, são montados dispositivos em máquinas de aplicação que comandam as decisões de variação da aplicação, processando os dados dos sensores (TDP, velocidade, posição no campo etc) (Dallmeyer & Schlosser, 1999).

Tomando como base a contextualização de Lawrence & Yule (2005) a adoção do manejo de aplicação a taxa variável apresenta benefícios agronômicos e econômicos, tanto para o ambiente quanto para os agricultores. Porém, para que esta tecnologia tenha êxito é necessário realizar mais testes a fim de avaliar o desempenho das máquinas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na propriedade da família Pacheco, no sítio São Paulo, localizada na zona rural no município de Lidianópolis, cidade essa do estado do Paraná (Figura 01)

*Figura 01 -Mapa Propriedade*



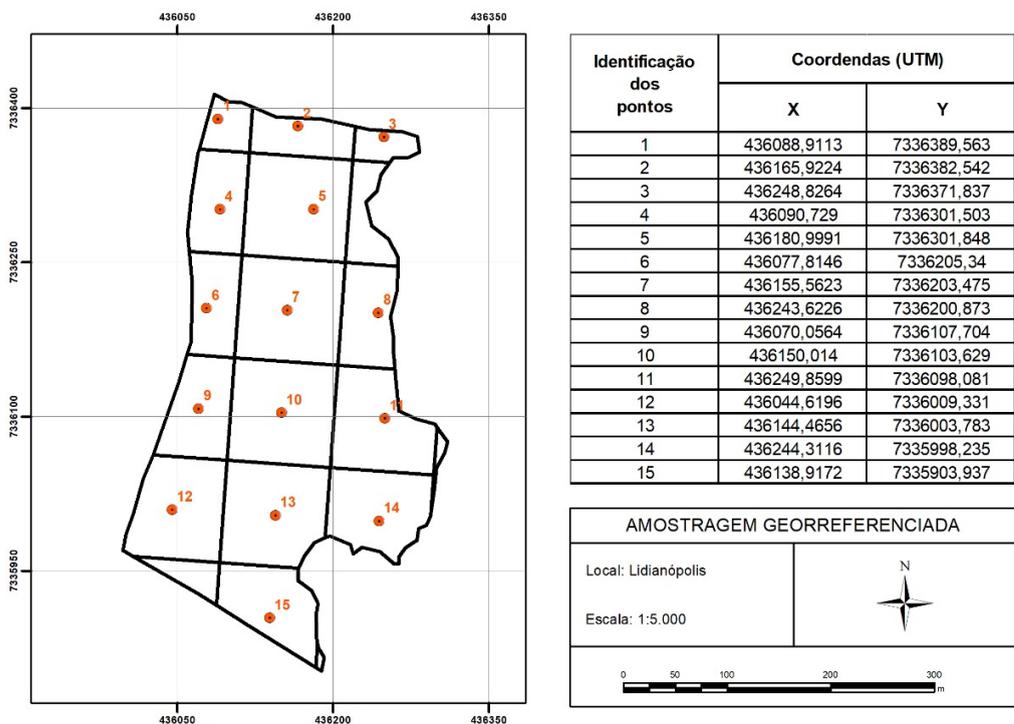
*Fonte: Guilman, 2022*

A propriedade da família está passando por um processo de implantação de novas tecnologias, dessa forma tornando a propriedade deles como local de realização do presente trabalho. O trabalho consistiu em coletas de amostras de solo georreferenciadas, esta área com um total de 10 hectares, visando a recomendação de calagem para a área, e buscando estabelecer o melhor ambiente para implantação da cultura da Soja e também a realização da semeadura de Milho safrinha, almejando a redução de custos e uma melhor indicação de aplicação

comparando dados para tomada de decisão de doses a taxas fixas ou taxas variáveis para a aplicação.

A área foi dividida em amostras georreferenciadas por grid, essas definidas através de mapas de localização e importados e trabalhados assim dentro do software Qgis. Cada grid está configurado em seu alcance em 100x100 metros, totalizando um ponto a cada 1 hectare ajustando os pontos georreferenciados de acordo com o tamanho da grade como mostra a figura 02.

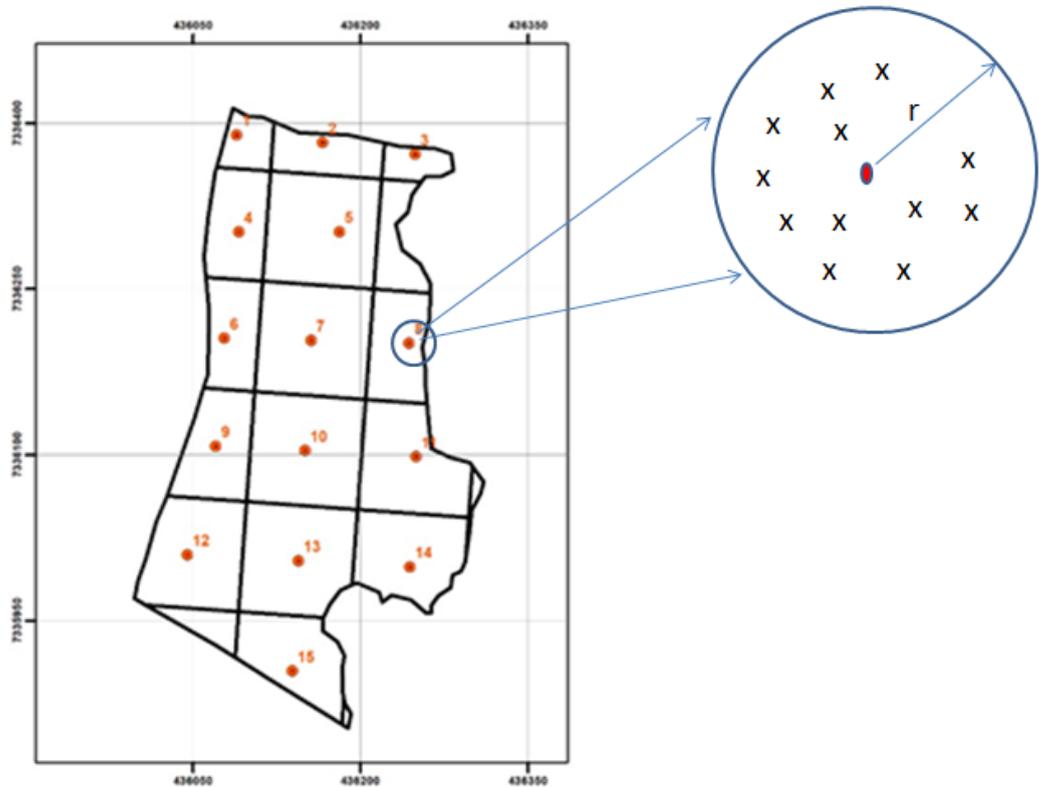
Figura 02- Mapa coleta amostragem



Fonte: Guilman, 2022

Após definidos todos os locais de amostragem, utilizando o qgis e gerado uma grade amostral com polígonos regulares sejam eles quadrados ou hexágonos. Posteriormente são criados pontos amostrais dentro desses polígonos. Esses pontos podem estar localizados no centro ou aleatoriamente dentro dos polígonos, foram retiradas as amostras de solo 15 no total, amostras essas com 300 gramas. No campo, com o auxílio de um GPS de navegação, foi coletado as amostras nos locais pré-definidos, cada ponto amostral foi retirado de 8-12 subamostras em um raio amostral de 2 a 5m (figura 03).

Figura 03 - Coleta sub-amostras

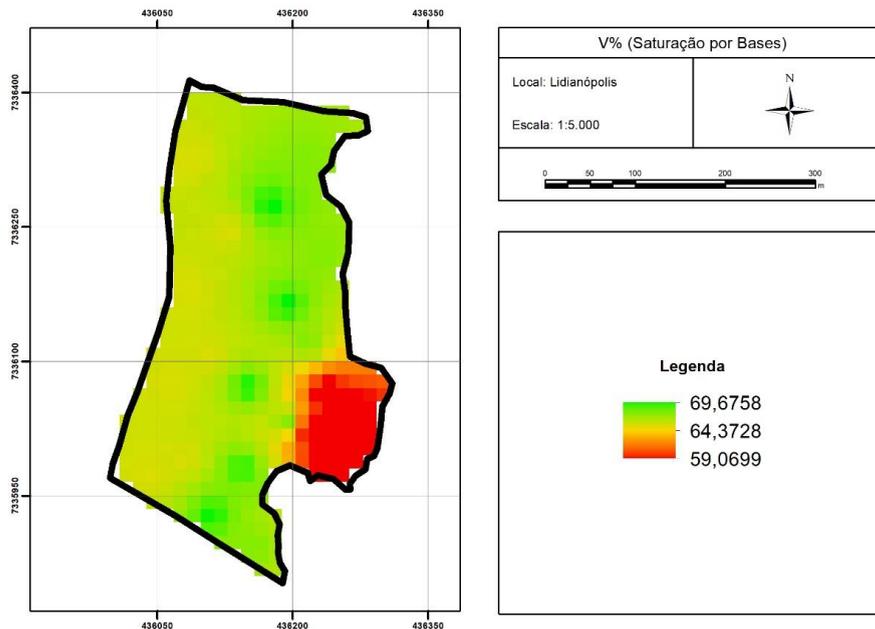


Fonte: Guilman, 2022

Após totalizar a coleta, as amostras foram enviadas para avaliação química e física das mesmas no laboratório Solo de Valor localizado na cidade de Lidianópolis-Pr. Assim, recebido o resultado da análise, deu-se continuidade no processo de interpolação através da Krigagem, esse método é baseado em uma transformação binária dos dados, sendo cada dado transformado em um indicador antes de ser submetido às análises geoestatísticas dos dados e sua interpolação dos dados através do software Qgis, assim gerando os mapas de fertilidade.

Finalizados os mapas de fertilidade da área podemos então, dentro de cada grid, gerar um mapa de atributos, e assim analisar cada um dos atributos encontrados naquela região conforme a figura 04 e 05.

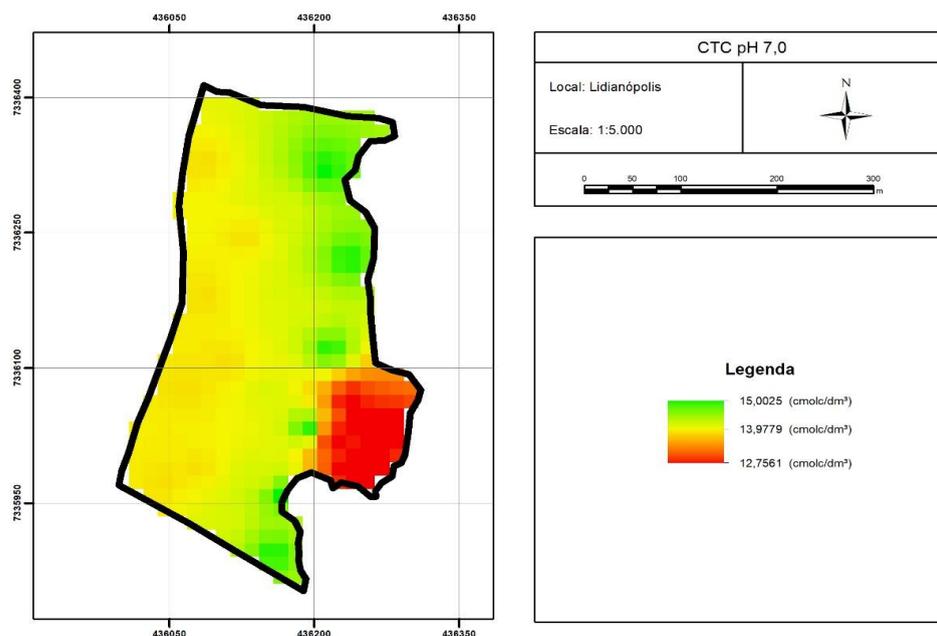
Figura 04- Mapa V%(Saturação por Bases)



Fonte: Guilman,2022

A classificação do v% do solo se dá em uma escala de cores, começando de uma coloração do verde para vermelha como parâmetro de 60% para implantação da cultura da soja.

Figura 05- Mapa CTC Ph7,0



Fonte: Guilman,2022

Assim definidos os atributos que nos dão a base necessária para gerar o mapas de recomendação de acordo com a necessidade de calagem para a cultura da soja no estado do Paraná, que é de 60 % (PAVINATO; MOTTA; MOREIRA, 2017 , e aplicar calcário para elevar a saturação por bases para 70% utilizando calcário para cultura do milho no estado do Paraná (PAVINATO; MOTTA; MOREIRA, 2017), dessa forma o processo de calagem visa aumentar o nível de fertilidade dessa área é atingir um v% superior a esse 70% visto que a indicação de correção é sempre para cultura com maior índice de v%.

Logo dessa forma, temos em mãos todos os atributos da área e assim concatenados em uma planilha de excel, conseguimos visualizar através de um cálculo de média simples a CTC que se encontra nas amostras dessa gleba de 10 hectares, o qual nos mostra o valor de CTC a ph 7,0 o valor de 13,94 cmol e um v % de 65,28. A determinação da quantidade de calcário a ser aplicada em uma área é obtida através do método de elevação da saturação por bases, que se fundamenta na correlação positiva existente entre os valores de Ph e a saturação por bases. (JANSEN et al., 2003). O cálculo de necessidade de calcário (NC) é feito através da seguinte fórmula (figura 06):

Figura 06- Necessidade de Calcário (NC):

$$NC (t ha^{-1}) = \frac{[(V_2 - V_1) \times T]}{100} \times f$$

onde:

$V_1$  = valor da saturação por bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção. ( $V_1 = 100$  S/CTC), sendo:

$S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$  (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

$V_2$  = valor da saturação por bases trocáveis do solo, adequada à soja;

$T =$  capacidade de troca de cátions,  $CTC = S + [H+Al^{3+}]$  (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>);

$f =$  fator de correção do PRNT do calcário = 100/PRNT

Fonte: Embrapa Soja

Para realizar as aplicações foi utilizado o distribuidor Zeus 25001 da Carmetal (figura 07), esse o qual tem um custo para realizar o trabalho de distribuição de 200,00 reais a hora,juntamente com o gps embarcado o Agres ISO34 (Fig 08).

*Figura 07- Distribuidor Zeus 25001*



*Fonte:Carmetal*

*Figura 08- GPS AGRES ISO 34*



*Fonte: Agres*

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Taxa Fixa

Após a informações dos dados anteriores prosseguimos para os cálculos de recomendação para tomada de decisão em relação às formas de aplicação. O PRNT escolhido para o calcário é de 92 buscando dessa forma a aplicação a chegar a um V% de 75%. Dessa forma levando em consideração a fórmula acima (figura 06) podemos dar sequência nos cálculos.

$$\text{NC (t ha}^{-1}\text{)} = (75-65,28) \times 13,94 \times 1,08695 / 100 = 1,4727$$

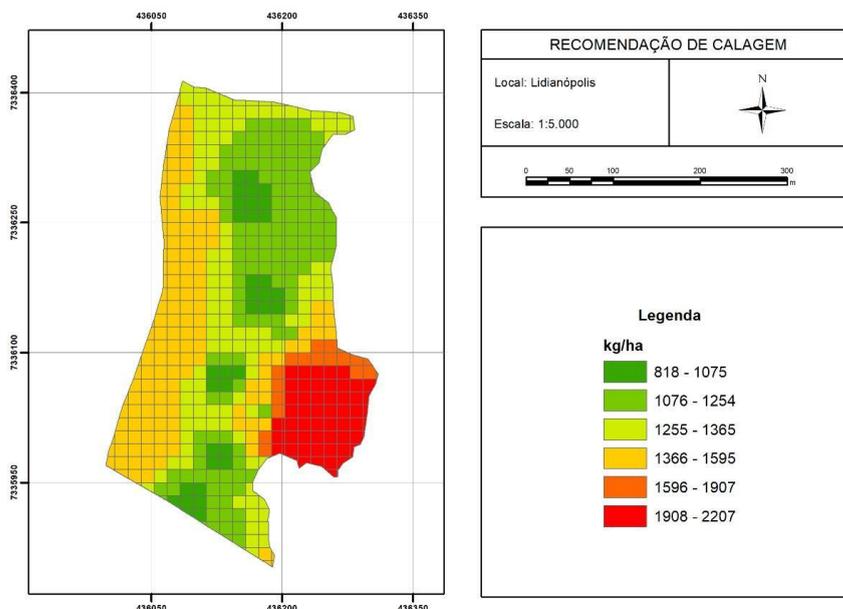
Dessa forma o cálculo realizado para a área total de 10 hectares é:

$$\text{NC total} = 10 \times 1,4727 = 14,727$$

#### 3.2 Taxa Variável

Diferente da fórmula para cálculo que é realizada na sua integridade para a área total dos 10 hectares, a mesma fórmula é aplicada em cada ponto da área total, isso dentro do programa Qgis, dessa forma resultando o mapa de recomendação (Fig 08).

Figura 08- Mapa de Recomendação Calagem Sítio São Paulo



Fonte: Guilman, 2022

Analisando o mapa acima vemos que o mapa foi dividido em colorações de tom verde para o tom vermelho, seguindo uma métrica de uma maior necessidade de calagem para uma de menor necessidade. Para chegarmos a essa determinação foi realizado o cálculo total de cada faixa de aplicação e para determinação de quantidade foi realizado cálculo de área x média de cada faixa.

Após os dados formulados no software chegamos a conclusão da quantidade de calcário utilizado na área total através de uma taxa variável específica para cada ponto. Dessa forma, a soma encontrada para a área total foi de 12,4 toneladas de calcário.(tabela 01)

Tabela 01: Quantidade Calcário Taxa Variável

Faixas	Área(ha)	Quantidade (Kg)
1	0,766723	745,425597
2	2,862292	3.428,6229
3	2,390799	3.138,1936
4	2,834294	4.021,2018
5	0,363193	647,40108
6	1,090879	2.257,9314
		Soma Quantidade (Kg) 14.238,776

Fonte: Guilman,2022

Com isso temos a comparação entre as duas recomendações apresentadas e essa será uma base para tomada de decisão para o próximo nível.(Tabela 02)

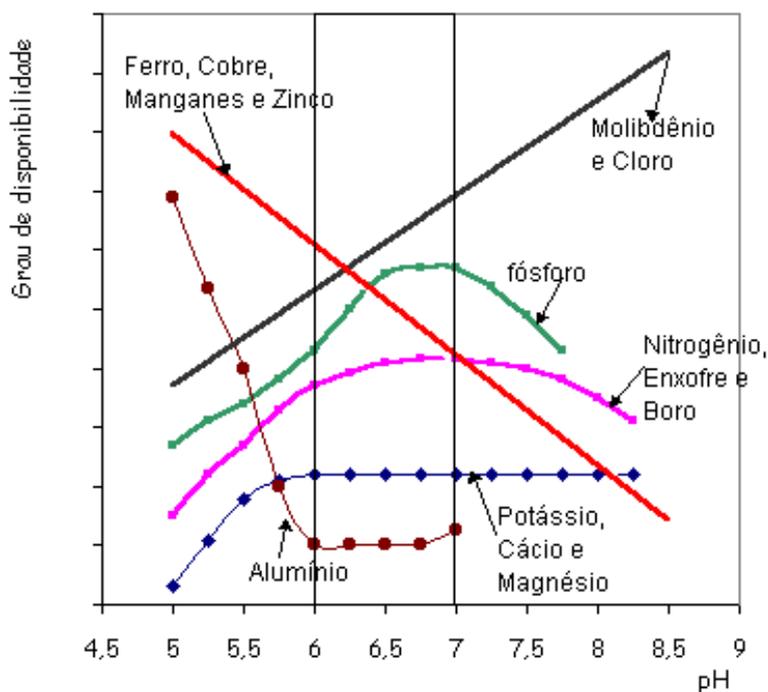
Tabela 02- Comparação de custos aplicação Calcário

	Taxa Fixa	Taxa Variável
Valor Calcário/Tonelada (R\$)	134,00	134,00
Mapa de Recomendação		350,00
Toneladas Utilizadas	14,7	14,2
Hora/Distribuidor (R\$)	55,00	200,00
Análise de Solo	70,00	525,00
Total Custo (R\$)	2094,80	2777,80

Fonte:Guilman,2022

Comumente, as áreas destinadas à implantação de grandes culturas, como soja e milho, expõem solos com baixa fertilidade natural e com grande acidez. E, nessa procura por aumento de produtividade, a adubação é feita com doses cada vez maiores. Quando realizamos uma adubação sem fundamentos e com excesso, ao contrário do que se pensa, não obtemos um aumento de produtividade como se espera, mas sim, quanto maior a dosagem de adubação mais se eleva os custos de produção e aumentamos os riscos a ela. Logo, conforme a carência de determinados nutrientes no solo implica na produção da lavoura, o excesso é capaz de prejudicar a cultura igualmente, como exemplifica a Figura 09.

Figura 09- Disponibilidade de Nutrientes sobre a Influência do PH



Fonte: Malavolta(2006)

Como o calcário atua como agente corretivo da acidez do solo e como fonte de cálcio e de magnésio para as plantas, têm a finalidade de proporcionar às plantas um ambiente de crescimento radicular adequado, seja através da diminuição da atividade no solo de elementos potencialmente tóxicos (alumínio, manganês e ferro) e/ou favorecendo a disponibilidade de elementos essenciais. As principais culturas requerem uma faixa ideal de PH do solo para crescerem e produzirem grãos, folhas, forragens ou frutos. A soja requer uma faixa ideal entre 5,7 a 7,0; Já o milho, 5,5 a

7,0. O nitrogênio (N) é aproveitado de melhor forma pela planta em solo com pH acima de 5,5. A disponibilidade máxima verifica-se na faixa de pH do solo entre 6 e 6,5 para depois diminuir. O fósforo ( $P_2O_5$ ) tem melhor disponibilidade para as plantas em pH 6 a 6,5, já o potássio ( $K_2O$ ) é aproveitado de forma em pH do solo maior que 5,5.(Malavolta,2006)

Dessa forma quando não levamos em consideração essas características do solo e das plantas, estamos negligenciando algumas leis relacionadas ao solo, como a lei do máximo (Voisin,1973), o qual nos orienta que maiores dosagens tornam-se um limitante para o desenvolvimento da cultura, ou seja o excesso pode levar a não absorção de dos demais, causando assim a sintomas de deficiência. Assim como a lei dos acréscimos não proporcionais (Mitscherlich,1909), que nos mostram que inicialmente a planta responde positivamente às doses crescentes, mas assim atingindo seu ápice produtivo, não se nota resultados positivos, mas sim, nota-se queda na produtividade. Dentre outros problemas que podemos correlacionar com excesso de aplicação, é os impactos ambientais que temos, como a mineralização em excesso da matéria orgânica, assim diminuindo a sua quantidade no solo.

Analisando a tabela 02 acima e considerando os valores e custos de implantação, pode-se analisar que a diferença em relação às recomendações para a taxa fixa e variável, visto que em quantidade variável a uma economia na aplicação do calcário de 0,5 toneladas na mesma área. Levando em conta isso, o valor utilizado na implantação da utilização da taxa variável é um valor maior quando comparado a taxa fixa, mais a um benefício da aplicação da quantidade correta no local correto. Quando analisamos o fator econômico de viabilidade de implantação, visualizamos que os valores calculados para implantação da tecnologia é de R\$ 683,00 reais de diferença entre a utilização da taxa fixa e taxa variável.

Amado et al. (2006), e Santi et al. (2009), afirmam que a variabilidade espacial encontrada nas lavouras comerciais tanto de produção como de nutrientes está sendo observada e avaliada pelos produtores a vários anos. Neste contexto, existe a possibilidade de manejá-la visando aumentar a eficiência do uso de insumos, o que torna a implementação da agricultura de precisão viável nas propriedades rurais.

Dessa maneira podemos observar que o talhão em estudo apresenta regiões que possui necessidade de incremento dos teores de calcário e em outras regiões do talhão existem teores deste em níveis satisfatórios ou próximos ao excesso.

Assim, justifica-se a utilização das aplicações de correção em taxa variável visando o equilíbrio dos mesmos.

Esses valores quando comparados na mesma perspectiva revelam a escolha pela utilização da taxa fixa como a mais viável, mas como bem mencionados acima, a correção do solo em sua perfeita homogeneidade aumenta o potencial produtivo em um todo, dessa forma se comparados a máxima produção da soja por hectare no estado do Paraná no ano de 2021, a qual chegou a uma média de 58,9 sacas/ha de 60 Kgs (EMBRAPA,2021), teríamos uma produção nessa área de 10 hectares equivalente a 589 sacas, isto com a cotação atual da mesma no mês de março de 2022 segundo (Cepea/Esalq) o valor de R\$ 202,00 reais a saca de 60 Kg, gerando um resultado financeiro através da produção em R\$ 118.978,00 reais.

Levando em consideração que se acaso ocorra um desvio de homogeneidade inferior a 10% na mesma área, resultado esse pela utilização da taxa fixa, teríamos uma perda de 58,9 sacas na produtividade final, isso calculado em referência a cotação da soja no mês de março no valor de 202,00 reais, geraria uma perda de lucratividade de R\$ 11897,00 reais, a qual aponta economicamente a escolha pela taxa variável assim como indicou (MARCANDALLI, 2015).

O custo inicial é maior devido a compra de alguns maquinários preparados para este tipo de aplicação, porém com a diminuição dos gastos e aumento na eficiência, este é um custo que se paga relativamente rápido, além de otimizar tempo, e agregar qualidade ao produto, como nos grãos de soja, onde não terá nenhuma falta, ou excesso de calcário para a cultivar (MARCANDALLI, 2015).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Após as devidas análises chegamos à conclusão que há pouca diferença em relação de custos na implantação da utilização de taxa variável em comparação com a taxa fixa. Considerando a relação custo/benefício para propriedade e manejo da mesma, o investimento em taxa variável em longo prazo deve ser sim considerado, visto que, a utilização da taxa variável é uma forma de realizar a aplicação correta no local correto e seus benefícios é algo que deve ser mensurado quando planejamos termos uma grande produção.

## 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 de plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.42, n.8, p.1101-1110, 2007.

BERNARDI, A.C.C.; INAMASU, R.Y. **Adoção de Agricultura de Precisão no Brasil**. Brasília - DF: BERNARDI ET AL. , 2013, p. 559 - 577.

PAVINATO, Paulo Sérgio; PAULETTI, Volnei; MOTTA, Antonio Carlos Vargas; MOREIRA, Adônis; MOTTA, Antonio Carlos Vargas. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. [S.l: s.n.], 2017.

BLACKMORE, S.; GODWIN, R.; FOUNTAS, S. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six Years. **Biosystems engineering**. London, v.84, n.4, p.455-466, 2003.

BONGIOVANNI,R; LOWENBERG-DEBOER, J. Precision agriculture and sustainability. **Precision agriculture**, Berlin, v.5, n.4, p.359-387, 2004

CARVALHO, D.F.; SILVA, W.A.; CEDIA M.B.; TANAJURA, E.L.X.; VILLELA A.L.O. **Estimativa do custo de implantação da agricultura irrigada, utilizando o sistema de informação geográfica**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.2, p.395-408, 2005.

CAVALCANTI, F.C. da. Coord. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. Recife: IPA, 1998. 198p

CESSA, R.M.A.; SANTANA, D.R.S.; SOUZA F.R; MELO, E.P; GEDRO, C.F.L; MELO, J.S. Levantamento da Fertilidade do Solo Cultivado com Soja para Análise e Prescrição de Corretivo e Potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, XXXIV, 2013, Costão do Santinho, **Resumos...** Viçosa, 2013. p.1-4.

CIOTTA MN, BAYER C, ERNANI PE, FONTOURA SMV, ALBUQUERQUE JA, WOBETO C. **Acidificação de um Latossolo sob plantio direto**. R Bras Ci Solo. 2002;26:1055-64.

DALLMEYER, A. U.; SCHLOSSER, J. F. Mecanización para la agricultura de precisión. In: Blu, R. O.; Molina, L. F. (org.). **Agricultura de precisión – introducción al manejo sitio-específico**, 1999. Chillán: INIA e Cargill Chile, 1999, cap.3, 128p.

DONATTI, D. **Uso do Quantum Gis na Caracterização e Gerenciamento de Propriedades Rurais**. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

EARL, R.; TAYLOR, J.C.; WOOD, G.A.; BRADLEY, R.I.; WAINE, T.; WELSH, J.P.; KNIGHT, S.M.; GODWIN, R.J. Soil factors and their influence on within-field crop variability, part I: Field observation of soil variation. **Biosystems Engineering**, v.84, n.4, p.425-440, 2003.

EMBRAPA SOJA. **Soja em Números (2020/21)**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 16 mar. 2022.

FOROUZANMEHR, E., LOGHAVI, M. **Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system**. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v.14, n.4, p.255– 261, 2012.

GANDAH, M. et al. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. **Agriculture Systems**, Oxon, v.63, n.2, p. 123-140, Feb.2020.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V.I. Precision agriculture and food security. **Science**, v.327, n.5967, p.828-831, 2010. Disponível em: <http://www.sciencemag.org/content/327//5967//828.full>. Acesso em 05 de Fevereiro de 2022.

JANSEN, S.; SMETS, E.; HARIDASAN, M. Aluminum accumulation in flowering plants. In: BLUMEL, D. D.; RAPPAPORT, A. (Ed). *Mc-Graw Hill Yearbook of Science and Technology*. New York: McGraw-Hill, 2003. p. 11-13.

LAMPARELLI, R. A. C. **Agricultura de precisão**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, , 2016. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_72\\_711200516719.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_72_711200516719.html). Acesso em: 6 jan. 2016

LOPES, A. S., GUILHERME, R. G. Fertilidade do solo produtividade agrícola. Capítulo I. In.: NOVAES, R.F. (Ed.) **Fertilidade do Solo. Viçosa**, p 1-64, 2007.

KERBER, L. **O impacto da variação entre as doses de calcário na distribuição a lanço**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 2016. 29p.

KILPP, A.R. **Fieldstar: atual estágio de utilização no Brasil**. In: BALASTREIRE, L. A. *Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1990-2001*. Piracicaba, SP: ESALQ, 2002. P.10-15.

KUHAR, J.E.(ed) **The precision-farming guide for agriculturists**. Moline, 1997. 117p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba,: [s.n.],1989. 201p.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: **Agronômica Ceres**, 1980, 251p.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de precisão**: boletim técnico. 2.ed. Brasília: MAPA, 2011. 36p.

MARCANDALLI, L. H. **A calagem no sistema de plantio direto**. In: 33º Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. São Paulo, Anais, 2015.

McBRATNEY, A.; WHELAN, B.; ANCEV, T. Future directions of precision agriculture. **Precision Agriculture**, v.1, n.6, p.7-23, 2015.

MOLIN, J.P. **Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade**. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/molin/definicao.pdf>. Acesso em 08 de fevereiro de 2022.

MOTOMIYA, ANAMARI VIEGAS DE ARAÚJO, CORÁ, JOSÉ EDUARDO E PEREIRA, GENER TADEU **Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo [online].2006, v. 30, n. 3 [Acessado 1 Março 2022],pp.485-496.Disponívelem:<<https://doi.org/10.1590/S0100-068320060003000>>

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.38, p.47-57, 1996.

RODRIGUEZ, J.A.; LOPEZ, G. Planificación de recursos para la modernización de los sistemas arroceros mediante el empleo de modelos de simulación y SIG. *Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetales*, Havana, v.15, n.3, p.181-94, 2000.

ROSS, K. W.; MORRIS, D. K.; JOHANNSEN, C. J. A review of intra-field yield estimation from yield monitor data. **Applied Engineering in Agriculture**, v.24, n.3, p. 309–317, 2008.

SANTI, A. L. et al. **Distribuição espaço-temporal de lagartas desfolhadoras e sua correlação com o rendimento de grãos na cultura da soja**. In: Bernardi, A. C. C. et al. (org.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, df: **Embrapa**, 2013. p. 260-266.

SANTI, A. L. **Aprimoramento do manejo do solo utilizando as ferramentas da Agricultura de Precisão**. 2007. 210 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

SANTOS, H.L.; VASCONCELLOS, C.A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11, p.97- 100, 1987.

SILVEIRA, P.M.; ZIMMERMANN, F.J.P.; SILVA, S.C.; CUNHA, A.A. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, v.10, p.2057-2064, 2000.

SHIRATSUCHI L. S. MOLIN, J.P. E CHRISTOFFOLETI, P.J. **Mapeamento da distribuição espacial da infestação de Panicum maximum durante a colheita da cultura de milho.** Planta daninha, n.2, p. 269-274, 2004

SOARES FILHO, R.; CUNHA, J.P.A.R. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás – Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.689-698, 2015.

SOUSA, D. M. G., Vilela, L., Lobato, E. & Soares, W. V. (2001). Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado. **Embrapa Cerrados**, Brasília.

SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; MYERS, D. B. **Yield Editor 2.0:** Software for Automated Removal of Yield Map Errors. 2012 ASABE Annual International Meeting. **Anais...** St. Joseph, Mich.: ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2012.

SWINTON, S.M.; LOWENBERG-DEBOER, J. Evaluating the profitability of site-specific farming. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.11, n.4, p.439-446, 1998.

VILELA, H. (2009). **Renovação e Manutenção de Pastagens.** Available in: [http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos\\_renovacao\\_manutencao\\_pastagens.htm](http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_renovacao_manutencao_pastagens.htm), Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

TEN CATEN, A. **Mapeamento Digital de Solos: Metodologias para atender a demanda por informação espacial em solos.** 2011. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2011.

WERNER, V.; SCHLOSSER, J. F.; ROZIN, D.; PINHEIRO, E. D.; DORNELLES, M. E. C.; C DORNELLES, M. E. Aplicação de fertilizantes à taxa variada em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 658–663, 2007.