

**MARCO ANTONIO PEREIRA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES EM  
TAXA VARIÁVEL EM GLEBAS COMERCIAIS DO 2º PLANALTO PARANAENSE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, Depto de Solos, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Glaucio Roloff.

**CURITIBA  
2004**

**DEDICO**

À minha esposa Anna Karla e minha filha Mariana por compartilharem deste desafio agora concretizado.

### **AGRADECIMENTOS**

Aos meus professores orientador e co-orientador Dr. Glaucio Roloff e Dr. Antonio Carlos Vargas Motta pela dedicação docente e oportunidade oferecida diante do desafio da pesquisa e do conhecimento técnico.

Aos meus pais, José Neody e Maria José, meus irmãos Paulo Eduardo, Marcio Aurélio e Stéphane Francielly pelo incentivo e apoio na busca desta conquista.

Ao meu amigo particular Ronald S. Elgersma e toda sua família, que me acolheram com respeito e confiança, permitindo a concretização desta dissertação.

Aos colegas e funcionários da Universidade Federal do Paraná, Coordenadores do curso de pós-graduação do Departamento de Solos, laboratoristas, bibliotecários e demais que conviveram e viveram esta caminhada.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

MARCO ANTONIO PEREIRA, filho de José Neody Pereira Filho e Maria José Crespo Pereira, nascido em Curitiba, estado do Paraná, aos 27 de março de 1972. É casado com Anna Karla Rinard Almeida Pereira e pai de uma filha Mariana Almeida Pereira.

Cursou o ensino de primeiro e segundo graus em Curitiba, e em 1998 recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo conferido pela Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel (FFALM), na cidade de Bandeirantes – PR.

De 1999 a 2002, trabalhou com cafeicultura e bovinos de cria como responsável técnico e administrativo em propriedade agrícola familiar.

Em março de 2002, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, no Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná.

Atualmente, desenvolve consultoria agrícola pela COAMO Agroindustrial Cooperativa.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	VI
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	VII
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	VIII
<b>RESUMO</b> .....	X
<b>ABSTRACT</b> .....	XI
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 NATUREZA DO PROBLEMA E HIPÓTESE</b> .....	3
2.1 OBJETIVO GERAL .....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
3.1 DEFINIÇÕES E ABORDAGEM GERAL .....	4
3.2 TECNOLOGIAS E SUA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO .....	6
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	10
4.2 AMOSTRAGEM DO SOLO .....	10
4.3 ANÁLISE DOS DADOS .....	13
4.4 DEMARCAÇÃO DAS ÁREAS PARA APLICAÇÃO .....	14
4.5 APLICAÇÃO DE INSUMOS .....	15
4.6 LEVANTAMENTO DE CUSTOS .....	16
4.7 LEVANTAMENTO DE PRODUTIVIDADE .....	16
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	18
5.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO .....	18
5.2 PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA .....	30
5.3 CUSTOS DE PRODUÇÃO .....	36
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>7 LITERATURA CITADA</b> .....	39
<b>8 ANEXOS</b> .....	42

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Delineamento da área experimental e pontos de amostragem na gleba Lagoa1, Arapoti – PR, 2002.....	11
FIGURA 2 – Delineamento da área experimental e pontos de amostragem na gleba lagoa 2, Arapoti – PR, 2002.....	12
FIGURA 3 – Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Calcário Dolomítico na gleba Lagoa 1, Arapoti – PR, 2002.....	21
FIGURA 4 – Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Calcário Dolomítico na gleba Lagoa 2, Arapoti – PR, 2002.....	22
FIGURA 5 – Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Superfosfato Simples na gleba Lagoa 1, Arapoti – PR, 2002.....	23
FIGURA 6 – Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Superfosfato Simples na gleba Lagoa 2, Arapoti – PR, 2002.....	24
FIGURA 7 – Delineamento da área experimental, e Produtividade (kg/ha) na gleba Lagoa 1, Arapoti – PR, safra 2002/2003.....	33
FIGURA 8 – Delineamento da área experimental, e Produtividade (kg/ha) na gleba Lagoa 2, Arapoti – PR, safra 2002/2003.....	34
FIGURA 9 – Árvore de regressão entre a produtividade da cultura da soja e atributos do solo referentes a primeira amostragem na gleba Lagoa 1 .....	35
FIGURA 10 – Árvore de regressão entre a produtividade da cultura da soja e atributos do solo referentes a primeira amostragem na gleba Lagoa 2 .....	35

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	Resultados de análise do solo da Fazenda Bela Manhã, gleba Lagoa 1 na 1ª amostragem (09/08/2002) em profundidade de 0 - 20 cm, Arapoti – PR, 2002. ....	19
TABELA 2 -	Resultados de análise do solo da Fazenda Bela Manhã, gleba Lagoa 2 na 1ª amostragem (09/08/2002) em profundidade de 0 - 20 cm, Arapoti – PR, 2002. ....	20
TABELA 3 -	Resultados de análise do solo da Fazenda Bela Manhã, gleba Lagoa 1 na 2ª amostragem (13/10/2003) em profundidade de 0 – 20 cm, após tratamento com aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato simples, Arapoti – PR, 2003. ....	26
TABELA 4 -	Resultados de análise do solo da Fazenda Bela Manhã, gleba Lagoa 2 na 2ª amostragem (13/10/2003) em profundidade de 0 – 20 cm, após tratamento com aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato simples, Arapoti – PR, 2003. ....	27
TABELA 5 –	Coeficientes de correlação ( <i>r</i> ) entre os valores da primeira e segunda amostragens. ....	27
TABELA 6 -	Histórico de produtividade da Fazenda Bela Manhã, fornecido pela Cooperativa Agropecuária Arapoti Ltda. ....	31
TABELA 7 -	Produção da cultura da soja para as glebas Lagoa 1 e Lagoa 2 após aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato simples (Fonte: CAPAL). ....	31
TABELA 8 -	Custos do sistema tradicional de aplicação de insumos em taxa fixa .....	36
TABELA 9 -	Custos derivados da tecnologia de Agricultura de Precisão, com aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato simples. ....	37

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Análise Física do Solo Lagoa 1 .....	43
ANEXO 2 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl <sub>2</sub> ) no solo .....	44
ANEXO 3 - Mapeamento dos teores de Al <sup>+3</sup> no solo .....	45
ANEXO 4 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo .....	46
ANEXO 5 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> no solo .....	47
ANEXO 6 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> no solo .....	48
ANEXO 7 - Mapeamento dos teores de K <sup>+</sup> no solo .....	49
ANEXO 8 - Mapeamento dos teores de P no solo .....	50
ANEXO 9 - Mapeamento dos valores de T no solo .....	51
ANEXO 10 - Mapeamento dos teores de C no solo .....	52
ANEXO 11 - Mapeamento dos valores de V% no solo .....	53
ANEXO 12 - Análise Física do Solo Lagoa 2 .....	54
ANEXO 13 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl <sub>2</sub> ) no solo .....	55
ANEXO 14 - Mapeamento dos teores de Al <sup>+3</sup> no solo .....	56
ANEXO 15 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo .....	57
ANEXO 16 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> no solo .....	58
ANEXO 17 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> no solo .....	59
ANEXO 18 - Mapeamento dos teores de K <sup>+</sup> no solo .....	60
ANEXO 19 - Mapeamento dos teores de P no solo .....	61
ANEXO 20 - Mapeamento dos valores de T no solo .....	62
ANEXO 21 - Mapeamento dos teores de C no solo .....	63
ANEXO 22 - Mapeamento dos valores de V% no solo .....	64
ANEXO 23 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl <sub>2</sub> ) no solo .....	65
ANEXO 24 - Mapeamento dos teores de Al <sup>+3</sup> no solo .....	66
ANEXO 25 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo .....	67
ANEXO 26 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> no solo .....	68
ANEXO 27 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> no solo .....	69
ANEXO 28 - Mapeamento dos teores de K <sup>+</sup> no solo .....	70
ANEXO 29 - Mapeamento dos teores de P no solo .....	71
ANEXO 30 - Mapeamento dos valores de T no solo .....	72
ANEXO 31 - Mapeamento dos teores de C no solo .....	73
ANEXO 32 - Mapeamento dos valores de V% no solo .....	74
ANEXO 33 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl <sub>2</sub> ) no solo .....	75
ANEXO 34 - Mapeamento dos teores de Al <sup>+3</sup> no solo .....	76
ANEXO 35 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo .....	77
ANEXO 36 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> + Mg <sup>+2</sup> no solo .....	78
ANEXO 37 - Mapeamento dos teores de Ca <sup>+2</sup> no solo .....	79
ANEXO 38 - Mapeamento dos teores de K <sup>+</sup> no solo .....	80
ANEXO 39 - Mapeamento dos teores de P no solo .....	81
ANEXO 40 - Mapeamento dos valores de T no solo .....	82
ANEXO 41 - Mapeamento dos teores de C no solo .....	83
ANEXO 42 - Mapeamento dos valores de V% no solo .....	84
ANEXO 43 - Lagoa 3 .....	85
ANEXO 44 - Produtividade da cultura da soja safra 2002/2003 (Lagoa1) .....	86
ANEXO 45 - Produtividade da cultura da soja safra 2002/2003 (Lagoa 2) .....	89
ANEXO 46 - Custos operacionais aplicados no levantamento dos orçamentos parciais aplicados a tecnologia de Agricultura de Precisão .....	90
ANEXO 47 - Doses e quantidades totais de insumos utilizados na aplicação em taxa variável nas glebas Lagoa 1 e Lagoa 2, safra 2002/2003 .....	91



ANEXO 48 - Custos operacionais envolvidos na aplicação em taxa variável de insumos para as glebas Lagoa 1 e Lagoa 2 .....	92
ANEXO 49 - Custos referentes à demarcação das isolinhas nas respectivas glebas, para aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato simples .....	93

## RESUMO

A Agricultura de Precisão permite novos e eficientes sistemas de gerenciamento da produção agrícola. A aplicação desta tecnologia permite a alocação racional e o uso eficiente dos recursos naturais, através do gerenciamento da sua variabilidade espacial, assim promovendo a sustentabilidade agrícola.

O objetivo deste trabalho foi estabelecer os custos adicionais da fertilização em taxa variável sob o sistema de plantio direto, em solo Latossolo Vermelho distrófico, em duas glebas comerciais do 2º. Planalto Paranaense. Utilizando um GPS com correção diferencial de posição por sinal de satélite, estabeleceu-se um padrão informal de malha retangular com pontos distanciados 100 m. A amostragem consistiu na retirada aleatória de 10 sub-amostras em 10 m do entorno do ponto situado no centro de cada célula, efetuando a coleta a uma profundidade de 0–20 cm na entrelinha da cultura anterior. Valores pontuais dos atributos químicos foram transformados em mapas com superfícies interpoladas.

Os resultados evidenciaram a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. Os custos diferenciados da tecnologia de Agricultura de Precisão, baseados na redução quantitativa de calcário e fertilizante fosfatado aplicados nas determinadas áreas de forma localizada e em taxa variável, não comprometeram o sucesso comercial dos tratamentos efetuados na cultura da soja nas condições deste experimento.

Palavras - chave: Agricultura de Precisão, fertilização em taxa variável, custo-benefício em gleba comercial.

## ABSTRACT

Precision Agriculture allows for new and efficient management systems for agricultural production. The use of this technology enables the rational allocation and usage of the natural resources, through the management of its spatial variability, thus promoting agricultural sustainability.

This work aimed at establishing the additional costs for variable rate fertilization for two commercial fields in a Latossolo Vermelho (Oxisol) soil under the no-tillage system at Parana's 2<sup>nd</sup> Plateau. For this, a GPS with differential correction was used to establish an informal rectangular grid with points spaced about 100 m. Soil sampling for the 0-20 cm layer consisted of 10 sub-samples taken randomly up to 10 m around the point. Point values of the soil attributes were interpolated to produce surface maps of these attributes.

The results display visually the spatial variability of soil chemical attributes. The economical advantage of variable rate application of lime and phosphate fertilizer was due to a reduction in the quantities required for the soybean crop under the conditions of this experiment, without a reduction in yield.

Keywords: Precision Agriculture, variable rate fertilization, cost effectiveness in commercial fields.

## 1 INTRODUÇÃO.

Conceito intuitivo e atraente, a Agricultura de Precisão (AP) é vista por agricultores e empresários agrícolas como uma tecnologia indispensável à agricultura moderna e sustentável. A idéia principal da AP é mensurar e entender a variabilidade espacial das propriedades do solo e produção de campo, implementando operações gerenciais baseadas nesta variabilidade. Portanto, para melhor explorar a variabilidade espacial do solo e conseqüentemente da produtividade, é fundamental a adoção das técnicas da AP. As informações detalhadas do solo e da produção, podem revelar zonas onde maiores quantidades de fertilizantes aplicados podem ser mais lucrativas, em contrapartida a zonas onde menores quantidades de nutrientes podem ter o mesmo efeito. Este exemplo sugere que a AP pode, em princípio, aumentar eficiência no uso de fertilizantes, aumentando assim a lucratividade e reduzindo o impacto ambiental de eventuais excessos de fertilizantes.

Tradicionalmente, os talhões de uma propriedade agrícola são gerenciados como unidades homogêneas e são fertilizados com uma taxa fixa. Ocorre que os níveis de macro e micronutrientes, características do solo, configurações da paisagem e outros fatores podem exibir significativa variabilidade no talhão. Isso resulta em uma produção que não é espacialmente homogênea. A partir desta constatação, estabeleceu-se uma mudança no método de amostragem do solo. A amostragem é feita em uma malha de pontos, utilizando a tecnologia do sistema de posicionamento global (GPS). Esta estratégia de amostragem permite a espacialização dos atributos do solo a partir das amostras de solo, que originam mapas da aplicação localizada e em taxa variável de insumos.

Há diferentes idéias sobre a qualidade<sup>1</sup> do solo, independente de sua definição formal. Por exemplo, para agricultores, a qualidade do solo pode significar altas produções, maximizando lucros ou até mesmo, a sua manutenção para futuras gerações. Entender a qualidade do solo significa avaliar e gerenciar sua variabilidade com a AP, tornando-o racionalmente produtivo, minimizando sua degradação e mantendo ou realçando a sua biodiversidade.

A AP tem sido possível pela redução dos custos de tecnologias como o GPS,

---

<sup>1</sup> Qualidade do solo: É a capacidade de um determinado solo, em um ecossistema natural ou gerenciado, de sustentar a produtividade das plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar, e dar suporte a saúde e habitação humana. ([http://soils.usda.gov/sqi/soil\\_quality/what-is/#what](http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what-is/#what))

monitores de produtividade e equipamentos para aplicação localizada e em taxa variável de fertilizantes e corretivos, juntamente com a adaptação das tecnologias existentes, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR). Contudo, há inúmeras questões que devem ser respondidas antes de estabelecer um gerenciamento através da AP na propriedade agrícola. Há questões econômicas, agronômicas e tecnológicas governando a sua aceitabilidade objetivando a maximização do lucro em uma propriedade agrícola ou agronegócio. Tecnologias da AP atualmente disponíveis são lucrativas na maioria dos casos, mas freqüentemente ocorrem falhas na abordagem dos custos adicionais envolvidos na produção agrícola. Os custos podem variar de acordo com a acuracidade desejada e a complexidade das superfícies envolvidas, portanto, o custo da aplicação localizada de insumos é um fator significante a ser considerado.

Orçamentos parciais da aplicação em taxa variável (ATV) calculam os efeitos sobre a lucratividade da mudança de gerenciamento e são dirigidos por três elementos: a) aumento no custo da amostragem de solo e ATV, b) mudança no custo de fertilizantes aplicados, e c) mudança no lucro devido à produtividade (Swintow et al, 1998). De qualquer maneira, o agricultor que queira implementar um programa de adoção das técnicas da AP necessita de um detalhamento temporal e espacial para a coleta de dados, que afetam sensivelmente o custo do sistema e, conseqüentemente, a sua rentabilidade.

## **2 NATUREZA DO PROBLEMA E HIPÓTESE.**

A variabilidade espacial das propriedades do solo afeta o uso eficiente de fertilizantes aplicados a uma taxa uniforme baseados na análise dos níveis de nutrientes do solo. A premissa de uma das técnicas da AP, a ATV de fertilizantes, é que a capacidade de suplemento nutricional para a produção é diferente para as diferentes partes de dentro de uma gleba. Conseqüentemente, a aplicação localizada e em taxa variável de insumos como fertilizantes têm o potencial para reduzir custos, maximizar produções, e beneficiar o meio – ambiente através do uso eficiente e racional.

### **2.1 OBJETIVO GERAL.**

Avaliar a viabilidade técnica e econômica da aplicação de fertilizantes e calcário em um sistema produtivo comercial situado no 2º Planalto Paranaense.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Demonstrar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.
- Avaliar a viabilidade econômica para adoção da tecnologia da AP através do mapeamento, amostragem de solo em malha, calcariação e fertilização do solo em taxa variável.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

#### 3.1 DEFINIÇÕES E ABORDAGEM GERAL.

O termo Agricultura de Precisão (AP) vem se disseminando de tal forma que ao menos o domínio de seu conceito passa a ser obrigatório, e o que parecia uma concepção futurista já está se tornando realidade e começa a influenciar nossa rotina diária. Comparado por De Boer (1996) a uma criança em crescimento, e defendido por Wolf et al (1996), a AP apresenta sinais nítidos de crescimento e está rapidamente se tornando a maior alavanca das tecnologias emergentes na agricultura norte-americana, mas requer um investimento de tempo e recursos para o seu amadurecimento. Este investimento obterá alguns resultados imediatos tais como a distribuição racional de fertilizantes adequada às análises laboratoriais resultantes da amostragem em malha e o mapeamento dos atributos químicos do solo, e as respostas em produtividade. Contudo, os principais benefícios estarão no futuro com a maior conscientização do conceito atual de sustentabilidade agrícola para a preservação do meio-ambiente. Com uma definição mais abrangente e técnica, Weiss (1996) denomina AP como sendo amostragem, mapeamento, análise e gerenciamento da produção reconhecendo a variabilidade espacial. Este autor afirma que a nova tecnologia oferece habilidade para colecionar, armazenar, manipular, analisar e finalmente, agir sobre uma vasta quantidade de informações localizadas espacialmente a respeito das características detalhadas de uma área da fazenda. Reforçando esta argumentação, Pierce et al (1999) e Wang (2001) defendem a aplicação de tecnologias e princípios para gerenciar a variabilidade espacial e temporal associados a todos aspectos da produção agrícola, aperfeiçoando a capacidade produtiva e qualidade ambiental, e realizando um moderno desenvolvimento agrícola sustentável.

Recentemente, ferramentas computacionais e SIGs efetivaram-se no auxílio do melhor entendimento e representação dos modelos complexos de distribuição espacial dos atributos e propriedades dos solos. A AP requer princípios de manejo de acordo com a variabilidade na gleba, o que requer novas técnicas para estimar e mapear a variabilidade espacial dos atributos e propriedades dos solos. A qualidade da estimativa depende da escolha dos métodos de interpolação para a obtenção dos dados do solo em locais não amostrados, e da aplicação apropriada de métodos indicados para as características dos

dados (Kravchenko & Bullock, 1999).

O princípio básico de gerenciamento da variabilidade espacial do solo e da produção dentro de uma gleba, não é uma novidade. Isto era chamado de "cultivo intensivo e meticuloso" pelo povo chinês, e tem sido considerado por longo tempo como a nata da agricultura chinesa. Com este pensamento em mente, Wang (2001) vê, no século 21, a renovação da tradicional tecnologia agrícola através das técnicas da AP. O desenvolvimento das tecnologias de informação espacial tais como GPS, SIG e SR, vai de encontro ao conceito de utilização sustentável dos recursos naturais, e o uso integrado da tecnologia baseado na informação e conhecimento, se estenderá para aplicação em horticultura, produção animal e aqüicultura, como também para os demais segmentos da indústria agrícola. Cientes e preocupados com o grande e contínuo crescimento populacional na China e a necessidade crescente da produção de grãos para alimentação humana, Jin et al (2002) acreditam que a solução para este problema dependerá da aplicação de tecnologia científica avançada para realizar a alocação racional e o uso eficiente dos recursos naturais, gerenciando a variabilidade espacial dos nutrientes do solo e mensurando eficientemente seus recursos orgânicos e inorgânicos. Portanto, a AP pode exercer uma grande influência na evolução tecnológica da agricultura Chinesa, suprimindo as informações necessárias para a distribuição racional de fertilizantes nos níveis de cada sistema e adaptando-se as diferentes condições.

De acordo com Plant (2001), o gerenciamento por sítio específico (um sinônimo da AP), é o gerenciamento da produção agrícola em uma escala menor que aquela em área total, e que muitos produtores decidirão adotar as práticas da AP e iniciar a comprar e aprender o uso da tecnologia somente quando estiverem convencidos que o tempo e o dinheiro gasto serão justificados pelo aumento de produção ou pela redução dos custos ou riscos. Através das análises do perfil sociológico dos fazendeiros americanos produtores de milho, Daberkow et al (1998) apresentaram dados da taxa de adoção da tecnologia da AP e concluem que os adeptos desta nova tecnologia tendiam a ser pessoas com maior nível de educação, tendo completado o 2º grau, e que os primeiros adeptos eram fazendeiros mais experientes e especializados na produção de grãos, obtendo maiores lucros com a cultura do milho comparado aos não adeptos da tecnologia. Embora o grau de interesse é bom entre consultores agrícolas e pesquisadores no Brasil, Roloff et al (2002) afirmaram que o atual número de usuários da tecnologia da AP é demasiadamente pequeno comparado com o tamanho da agricultura brasileira.



### 3.2 TECNOLOGIAS E SUA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO.

Tecnologia emergente e inovadora, a AP tem auxiliado no desenvolvimento de novos e eficientes sistemas para a produção agrícola, e ao mesmo tempo tem promovido um novo estilo de gerenciamento dentro da atividade agrícola. O advento de novas tecnologias traz inúmeras questões sobre como agir com mais eficiência. A adoção da AP implica na aquisição e uso amplo das informações obtidas da tecnologia, incluindo o uso do GPS, monitores de produtividade, sofisticados softwares para mapeamento e armazenamento de informações, e equipamentos para ATV e plantio (Heuvel 1996). Zhang et al (2002) destacaram o estado atual das tecnologias da AP e o potencial de tecnologias modernizando a agricultura chinesa, analisando os impactos das tecnologias de GPS, SIG e SR na lucratividade agrícola e meio ambiente, salientando o desenvolvimento agrônomo e princípios ecológicos da aplicação localizada de insumos. De forma ampla e generalizada Cox (2002) revisou o desenvolvimento na tecnologia que está contribuindo para o aperfeiçoamento global, em termos de monitoramento ambiental, produção animal, qualidade dos produtos agrícolas e sensores. Para o autor, esta informação tecnológica diz respeito à aquisição, registro e comunicação de informações, e que a primeira fonte de informação é a quantificação dos dados.

A amostragem composta de solo significando uma média para toda a área faz da recomendação agrônoma e da aplicação de fertilizantes, um processo excessivamente simplista. Conseqüentemente, a aplicação de uma taxa fixa de fertilizantes em um solo espacialmente variável, causa efeitos de superfertilização em algumas áreas e em outras, de subfertilização. Atherton et al (1999) identificaram os tipos de informações necessárias para a prática da AP e dentre os principais fatores listados que influenciam a variabilidade da produtividade, os autores incluíram a movimentação de nutrientes através de processos erosivos e lixiviação, o pH do solo, a profundidade da camada superior do solo, a capacidade de troca catiônica (CTC), a distribuição de tamanhos e a mineralogia das partículas primárias, a população e atividade de micro e macro organismos, bem como a porosidade do solo. Conhecendo a extensão da variabilidade desses fatores dentro de uma gleba, é possível suprir os produtores com as informações e recomendações necessárias para a fertilização desta gleba.

Identificado as informações necessárias à prática desta nova tecnologia Wibawa et al (1993) compararam os métodos de fertilização convencional com o método da ATV de fertilizantes baseados na variação da fertilidade do solo e produtividade, demonstrados

através do mapeamento dos atributos do solo. Uma análise econômica simples determinou a influência dos custos adicionais da amostragem de solo em malha e sua respectiva análise, demonstrando que: a) uma malha de amostragem com pontos distantes 15 m apresentou boa estimativa da variabilidade de fertilidade do solo na gleba como indicado pelo aumento de produtividade, mas resultou em menor retorno devido ao custo adicional da amostragem de solo e análise laboratorial; b) o método de fertilização tradicional, baseado na amostra composta de solo, foi o método mais lucrativo e, c) a variabilidade da fertilidade do solo ocorreu em pequenas distâncias como indicado pelo fato que malha de amostragem distantes 15 m ter resultado em maior produção que malha de 75 m. Este último indica que o solo deste trabalho pode ser considerado como sendo extremamente variável em curtas distâncias, típico do Meio-Oeste americano. Visando suprir a falta de informações da variabilidade dos atributos químicos do solo, Wollenhaupt et al (1994) coletaram amostras de solo usando duas estratégias denominadas amostragem em malha cujo ponto de amostragem se localizava no interior da malha, e amostragem em célula onde as amostras foram retiradas dos quatro pontos que delimitam a célula para mapeamento e fertilização em taxa variável de fósforo (P) e potássio (K). Os métodos de amostragem e densidades de amostras foram selecionados para representar uma faixa de complexidade por ponto, estimando e mapeando os procedimentos conforme a variação apresentada na análise química do solo determinada em cada amostragem. Os mapas confirmaram que os níveis da análise de solo variaram espacialmente dentro das glebas, e que os modelos de variabilidade espacial para fósforo e potássio foram distintos. Utilizando um modelo para explicar alguns dos sucessos e falhas de uma variedade de estratégias, Anderson-Cook et al (1999) consideraram diferentes métodos para determinar as recomendações de fertilização de K e P, abordando recomendações de fertilização usando as técnicas da AP, com amostras em malha de 0,33 ha e 0,83 ha, e comparadas as tradicionais abordagens de recomendação em taxa única de fertilizantes em uma gleba. Os resultados deste estudo indicam claramente que as recomendações de fertilizantes associados com os vários valores de potássio e fósforo da amostragem em malha, foram somente vantajosos em glebas com grande variação sistemática em níveis de K e P extraível. Em contrapartida, a amostragem composta por tipo de solo, oferece vantagens em termos de coleta de amostras, custos de análise laboratorial e produziu recomendações mais precisas quando a variação sistemática era pequena.

Experimentos para avaliar os efeitos da calciação em taxa variável para vários espaçamentos de malha foram conduzidos por Pierce et al (2000). A taxa variável de calcário foi baseada na amostragem em malha dos vários índices de pH do solo visando a

produção de milho em rotação com soja durante 3 anos. A aplicação de calcário foi efetuada de acordo com os mapas interpolados da necessidade de calcário. Segundo os autores, um mapa preciso requer amostragem estratégica de solo para descrever adequadamente a distribuição espacial das reservas de acidez no solo. A amostragem em malha e ATV de calcário sob várias escalas de amostragem em malha demonstraram um aperfeiçoamento ao viabilizar o gerenciamento por sítio específico comparados ao gerenciamento em área total. Avaliando os impactos da ATV e taxa fixa de calcário para soja em rotação de cultura com milho, Bianchini et al (2002) compararam diferentes esquemas de amostragem de solo para determinação da variabilidade do pH do solo. Os resultados das análises foram combinados com coordenadas geográficas de cada amostra ou célula para o mapa criado. Para avaliar o impacto dos tratamentos de calcário no pH do solo, amostragens de solo foram retiradas antes da aplicação de calcário e após a colheita usando uma maior intensidade de amostragem. Os autores concluíram que o método da ATV aumentou o pH das áreas ácidas mais que aplicação em taxa fixa de calcário, e aplicou 56% menos calcário em uma gleba e 61% menos em outra gleba e os resultados também mostraram que a calcariação em taxa variável é melhor alternativa que a em taxa fixa para áreas com altos índices de pH do solo.

Rejesus et al (1999) examinaram os impactos econômicos e ambientais da ATV de N (nitrogênio) na cultura do milho. Concluíram que aumentando as taxas de aplicação nitrogenada, a média e a variabilidade da poluição também aumentava, e a média de poluição de N aumenta mais rapidamente após terem sido ultrapassadas as doses ótimas do fertilizante recomendado. Segundo Morris (2000), os produtores deveriam estar cada vez mais conscientes do fato que o meio ambiente é um sistema fechado e os insumos agrícolas que são supridos não desaparecem, eles são simplesmente redistribuídos na paisagem. O objetivo deveria ser controlar seu movimento e proteger os recursos frágeis como a qualidade do solo, e consciência ambiental não deveria ser considerada um aborrecimento, mas uma exigência para sobrevivência.

Dos 108 estudos que relatavam resultados econômicos de técnicas associadas à AP, revisados por Lambert et al (2000), 69% indicaram retornos imediatos positivos para tecnologia de ATV de calcário e fertilizantes, enquanto 12% indicaram retornos negativos. Houve 21 trabalhos indicando resultados inconclusivos. A ATV foi o componente mais comum da AP na literatura revisada, perfazendo 73% dos estudos. Além da ATV, há outras tecnologias comumente associadas com a AP, como GPS e SIG, amostragem de solo em malha e gerenciamento integrado de pragas. Ao avaliar a confiabilidade de uma análise econômica de AP, é importante questionar quais custos foram incluídos e como foram

alocados. Resultados publicados da lucratividade da ATV de fertilizantes tornam-se difíceis para interpretar devido às diferenças no padrão dos experimentos e custos supostos. Swinton et al (1998) avaliaram a lucratividade das práticas de AP, sintetizando os resultados qualitativos e quantitativos de pesquisas dentro do contexto econômico da informação tecnológica. Resultados publicados de lucratividade da ATV de nove estudos de pesquisa a campo foram revisados usando orçamentos parciais. Segundo estes autores, um orçamento parcial assume implicitamente que: a) outras atividades da fazenda fora dos itens orçados, não são afetadas pelas mudanças especificadas, b) os efeitos das mudanças são certamente conhecidos, e c) não há efeitos em longo prazo além do período orçado. Adicionados a isto, o orçamento parcial na ATV de fertilizantes é dirigido por três elementos: a) aumento no custo de informação referente à amostragem do solo e ATV, b) mudança no custo relativo à quantidade de fertilizantes aplicados, e c) mudanças no lucro devido às mudanças na produtividade. Dos estudos de lucratividade da ATV revisados, fica evidente que os custos giram em torno da intensidade da amostragem do solo. Como exemplo, no estudo desenvolvido por Wibawa (1993) em estação experimental, onde as amostras de solo foram retiradas a cada 0,024 ha, não surpreende que esta amostragem intensiva de solo revelou-se inviável para aplicação comercial da tecnologia. Aplicações comerciais de Agricultura de Precisão na América do Norte têm concentrado na ATV de insumos e mapeamento de colheita, porque estes serviços suprem novos produtos que se adaptam facilmente aos sistemas de produção e linhas de produtos e serviços do agronegócio. Através de um questionário abrangendo vários quesitos que incluíram o perfil de consultores agrícolas de AP em termos de prestação de serviços, tipos de consultores, localização regional, áreas abrangidas, estrutura organizacional, e futuras direções como visto pelas empresas, os autores Akridge et al (2000) resumem dizendo que a tecnologia de AP e serviços continuam a crescer e expandir no mercado agrícola, e a velocidade de crescimento neste mercado altamente variável e incerto dependerá da habilidade dos consultores agrícolas em transmitir e aplicar as diversas tecnologias da AP.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS.

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.

O trabalho de pesquisa foi iniciado em 08/08/2002 na Fazenda Bela Manhã, de propriedade do Sr. Pedro Elgersma no município de Arapoti – PR, em clima Cfb conforme classificação de Köppen e localizado nas coordenadas 24°15'75"S e 49°81'88" W. A área total de 47,15 hectares foi subdividida em glebas denominadas Lagoa 1 (30,45 ha) e Lagoa 2 (16,70 ha) conduzidas sob o sistema de plantio direto já consolidado (9 anos) e mantendo as sucessões soja/trigo (Lagoa 1) e soja/aveia (Lagoa 2) em solo Latossolo Vermelho distrófico textura argilosa, de relevo suave ondulado e proveniente de resíduos intemperizados de rochas sedimentares de natureza argilosa (Larach et al., 1984).

### 4.2 AMOSTRAGEM DO SOLO.

O delineamento das áreas foi determinado através do caminhamento no entorno de cada gleba, ilustradas conforme Figuras 1 e 2. Utilizou-se um GPS com correção diferencial de posição por sinal de satélite da Omnistar, acoplado a um computador (palmtop) com software específico (Field Rover II) para mapeamento da área. O Datum utilizado foi o WGS 84 e os dados foram coletados e processados em ordenadas geográficas.

Delimitadas as áreas, estabeleceu-se um padrão informal de malha retangular com pontos distanciados aproximadamente 100 m (intensidade  $\sim 1 \text{ ha}^{-1}$ ), permitindo o mapeamento da variabilidade dos atributos do solo. Esta malha pré-estabelecida, e o percurso para coleta das amostras de solo, foram estipulados pelo software instalado no palmtop, com ajuste manual para que os pontos de amostragem ficassem visualmente bem distribuídos na gleba. A amostragem em malha, em 09/08/2002, consistiu na retirada aleatória de 10 sub-amostras num raio de 10 m no entorno do ponto situado no centro de cada célula, efetuando a coleta das sub-amostras na entrelinha da cultura anterior. As sub-amostras foram coletadas a uma profundidade de 0-20 cm com auxílio do trado amostrador holandês. Na ocasião da amostragem, foi feito à limpeza externa do trado e aproveitado somente o conteúdo de solo existente no interior do trado. As sub-amostras foram homogeneizadas em baldes limpos para a formação de uma única amostra composta e

representativa de cada célula. Em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos limpos e devidamente identificadas com os dados do ponto amostrado.

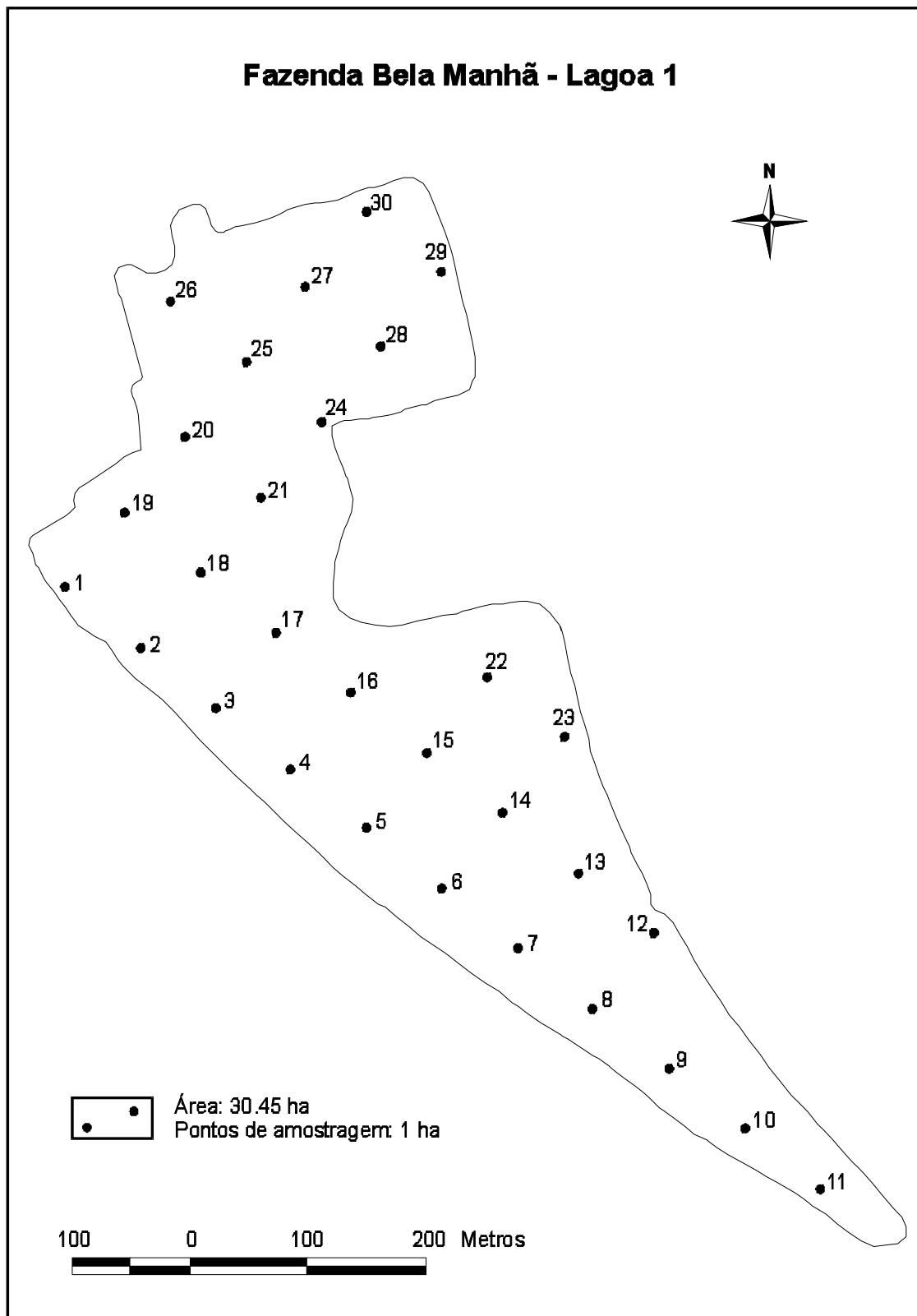


FIGURA 1 - Delineamento da área experimental e pontos de amostragem gleba Lagoa 1, Arapoti-PR, 2002

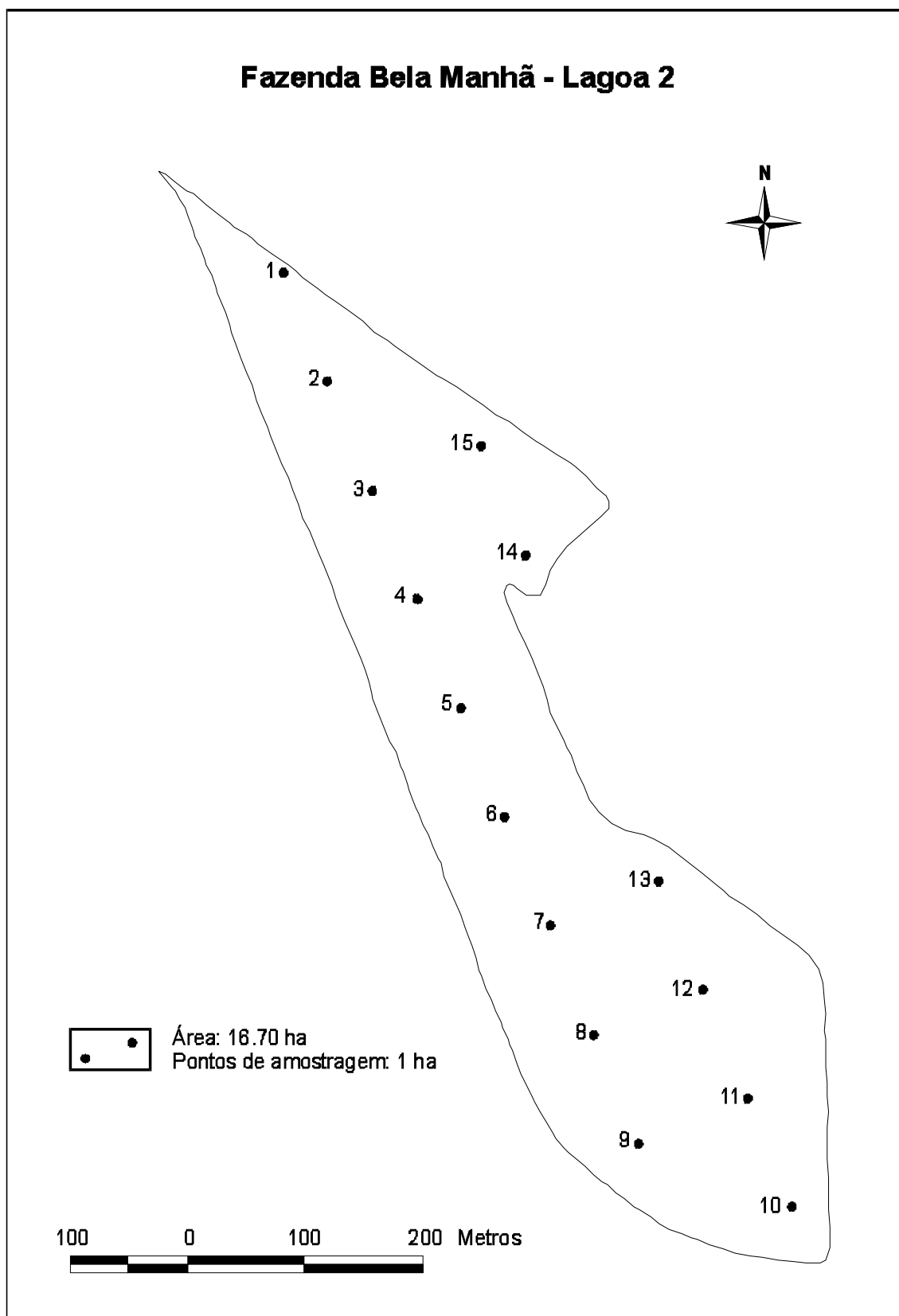


FIGURA 2 - Delineamento da área experimental e pontos de amostragem na gleba Lagoa 2, Arapoti-PR, 2002

Feito todo o caminhamento e amostragem do solo pelas glebas Lagoa 1 (30 pontos) e Lagoa 2 (15 pontos), deu-se por finalizada a primeira etapa de campo, e as amostras de solo foram encaminhadas ao laboratório de Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Paraná para análises química e física do solo.

Para determinar a variação e evolução dos atributos químicos do solo envolvidos nos tratamentos de ATV de calcário e fertilizante fosfatado, foi executada a segunda amostragem de solo 14 meses (13/10/2003) após a primeira amostragem (ago/2002) seguindo os mesmos procedimentos anteriormente citados; após a colheita do trigo (Lagoa 1) ou dessecação da aveia (Lagoa 2).

O pH na suspensão do solo foi determinado utilizando-se a solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01M. Os elementos  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  foram extraídos por KCl 1N, enquanto que os elementos P e K foram extraídos com a solução de Mehlich 1. Todos os procedimentos para análise química e física do solo seguem os padrões de qualidade da CELA (Comissão Estadual de Laboratórios de Análises Agronômicas) e as metodologias básicas descritas em Silva et al (1998). As análises foram realizadas seguindo o esquema normal de prestação de serviços do laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.

#### 4.3 ANÁLISE DOS DADOS.

Os resultados analíticos laboratoriais foram transferidos para o programa ARC VIEW GIS 3.2, no qual os mapas de atributos do solo foram gerados através da interpolação por Krigagem exponencial, a partir dos dados pontuais. O método exponencial foi escolhido por gerar semivariogramas de menor erro de ajuste em pré-testes.

Para a geração dos mapas foram supostos valores para saturação de bases desejada (V%), e teores de fósforo (P) disponível a serem alcançados com a fertilização corretiva, respeitando as características físicas e químicas apresentadas na análise de solo. Os valores objetivados para tais índices e boa produtividade da cultura da soja foram de  $V = 50\%$ ;  $P = 12 \text{ mg/dm}^3$ . A necessidade da quantidade de calcário foi calculada pelo critério de saturação da capacidade de troca de cátions ( $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ ) por bases, conforme a equação:  $\text{NC} = [(V_2 - V_1) \times T] / 100$  <sup>(2)</sup> para PRNT = 100%. O valor obtido foi então corrigido para a PRNT de 85% do calcário dolomítico disponível. As dosagens de calcário a serem aplicadas, que resultaram em valores de 0 a 0,25 Mg/ha foram arredondados para 0 Mg/ha.

<sup>2</sup> NC: Necessidade de calcariação em Mg/ha;  $V_2$ : é a porcentagem de saturação de bases desejada; e  $V_1$  é a porcentagem de saturação por bases fornecida na análise do solo e T é a soma dos cátions.



Valores acima destes foram sempre arredondados em incrementos de 0,5 Mg/ha, obtendo as faixas de aplicação entre 0,5 e 3,5 Mg/ha conforme as necessidades demonstradas nos mapas preliminares. Este ajuste foi feito devido às dificuldades práticas para alterar a regulagem da distribuidora convencional usada.

Para o P, a necessidade foi calculada pela diferença entre os teores apresentados na primeira análise de solo (ago/2002) e o valor a ser alcançado com a fertilização ( $P = 12 \text{ mg/dm}^3$ ), convertendo os valores de P para  $P_2O_5$  para utilização da quantidade necessária de superfosfato simples (00-21-00). Para valores da necessidade de P que se situavam entre 0 kg/ha e 25 kg/ha, considerou-se 0 kg/ha, e valores acima foram arredondados em incrementos de 25 kg/ha, resultando em valores de 50 kg/ha, 75 kg/ha, 100 kg/ha e 125 kg/ha, conforme as necessidades apresentadas nos mapas de fertilização em taxa variável. Este ajuste foi feito também devido às dificuldades práticas para alterar a regulagem da distribuidora convencional usada.

Para avaliar os efeitos das fertilizações em taxa variável, os resultados de atributos do solo selecionados da primeira e da segunda amostragens, foram comparados estatisticamente usando uma matriz de correlação de Pearson (Systat® 7.0a) e o coeficiente de variação das duas amostragens.

#### 4.4 DEMARCAÇÃO DAS ÁREAS PARA APLICAÇÃO.

Devido à ausência de equipamentos adaptados para a aplicação em taxa variável automática, esta foi realizada através da técnica de aplicação em manchas. Com os mapas de calcariação e fertilização em manchas concluídos, o próximo passo foi a marcação a campo das linhas separadoras das diversas manchas para a posterior aplicação localizada dos insumos. Foi utilizado um trator MF283 (4 x 4), e acoplado a este, um receptor de DGPS conectado a um palmtop com o software Field Rover II e os respectivos mapas com as manchas. Para a demarcação da linha divisória entre as manchas designadas à aplicação de calcário, foi utilizado um subsolador acoplado ao terceiro ponto do trator trabalhando a 15 cm de profundidade. Para diferenciar as marcações das linhas divisórias das áreas a serem fertilizadas com adubo fosfatado, foi usado uma grade niveladora parcialmente aberta evitando um revolvimento mais profundo do solo. Conforme resultados da análise de solo, não houve a necessidade de fertilização potássica (K), portanto, não houve a necessidade do trabalho de marcação da área a campo.

#### 4.5 APLICAÇÃO DOS INSUMOS.

Executado o trabalho de marcação das sub-áreas dentro de cada gleba, o próximo e último passo antes da semeadura da cultura da soja foi a aplicação localizada de insumos. Objetivando melhor desempenho aliado a precisão, foram executadas regulagens prévias no trator e na máquina distribuidora de calcário seguindo as normas especificadas no manual de cada fabricante. Na regulagem do trator, um MF283 (4x4), foi observado a marcha a ser utilizada e a rotação na tomada e força (rpm) para cada dose aplicada nas áreas demarcadas (manchas). Na máquina distribuidora de calcário, uma Jan modelo Lancer 5000, a atenção foi focada para a abertura do compartimento que regula a dosagem estipulada e conjunto de engrenagens. Então foram pesados 0,5 Mg de calcário e aplicados em 1 ha da área para confirmar a acurácia do equipamento e do trator. Calibrados o trator e o equipamento, procedeu-se a aplicação superficial a lanço e em manchas do calcário. Na gleba Lagoa 1, as taxas de aplicação de calcário variaram de 0,5 Mg/ha a 3,5 Mg/ha, totalizando quatro diferentes regulagens e 38,46 Mg de calcário em área total (Figura 3). As taxas de calcário aplicadas na gleba Lagoa 2 (Figura 4) variaram de 0,5 Mg/ha a 2,5 Mg/ha, também com quatro diferentes regulagens e 16,38 Mg de calcário em área total.

Para a fertilização corretiva e elevação nos teores de P disponível no solo através do fertilizante Superfosfato simples (Ss) também foram executadas regulagens prévias conforme normas especificadas no manual do fabricante, tanto no trator MF283 (4x4) como na distribuidora Nogueira Rota Flow SR para aplicação superficial a lanço em manchas. Foram pesados 100 kg do fertilizante Ss e feito a aplicação em 1 ha da área para verificar a acurácia de ambos, trator e implemento. As doses para fertilização com Ss variaram de 0 kg/ha a 100 kg/ha em aplicações realizadas na gleba Lagoa 1 (Figura 5), totalizando 776,24 kg do fertilizante, sendo dois tipos diferentes de regulagem na máquina aplicadora. Na gleba Lagoa 2 (Figura 6), as doses de Ss variaram de 0 kg/ha a 125 kg/ha, totalizando 1329 kg em área total com quatro tipos diferentes de regulagem na máquina aplicadora. Finalizado o trabalho de aplicação dos insumos em taxa variável, iniciou-se a semeadura da cultura da soja (20/11/2002) com a variedade Coodetec 205, no espaçamento de 45cm entre linhas. Especificamente na gleba Lagoa 2, em uma faixa com área de 3,21 ha, a semeadura da soja foi feita erroneamente com adubação na linha de plantio de 250 kg/ha do fertilizante (00.20.20), em adição ao Ss colocado anteriormente.

A cultura da soja foi seguida pela cultura do trigo na gleba Lagoa 1, a qual foi fertilizada com taxa fixa de manutenção. A cultura da aveia como cobertura, sem fertilização,

seguiu a soja na gleba Lagoa 2.

#### 4.6 LEVANTAMENTO DE CUSTOS.

Os orçamentos parciais envolvendo amostragem do solo, mapeamento e ATV de insumos, determinaram os custos adicionais para adoção das técnicas de Agricultura de Precisão. Cabe ressaltar que os custos de análise de solo, calcário dolomítico, frete, mapeamento das glebas e ATV de calcário tiveram seus valores dividido para três anos, enquanto que os custos com fertilizante (00.21.00), demarcação das áreas e fertilização em taxa variável tiveram seus valores calculados para a safra 2002/2003 da cultura da soja. O custo derivado do transporte de fertilizantes, já está embutido no preço fornecido pela Cooperativa Agropecuária Arapoti Ltda (CAPAL).

#### 4.7 LEVANTAMENTO DA PRODUTIVIDADE.

Com a cultura da soja na fase de maturação (estádio R7), foram feitos levantamentos prévios da produtividade para cada célula das respectivas glebas. Em cada célula, a colheita manual foi feita com três repetições escolhidas aleatoriamente no entorno de cada ponto, cada qual com 0,9 m<sup>2</sup> (0,9 m X 1,0 m) de área, resultando em duas linhas de semeadura por 1m de comprimento. Cada amostra foi identificada, contado o número total de plantas, e deste total foram retiradas cinco plantas para contagem das vagens e determinação do peso seco dos grãos coletados. Dos 30 (trinta) pontos existentes na gleba Lagoa 1, foram escolhidos os pontos 6, 12, 19, 24, e 30 para contagem total do número de plantas, vagens e pesagem de todos os grãos coletados de uma das três amostras retiradas em cada célula. O mesmo procedimento foi adotado na gleba Lagoa 2, com a escolha dos pontos 5, 7 e 11 visando um parâmetro comparativo entre a amostragem total do número de plantas, vagens e peso total dos grãos em relação à contagem parcial (cinco plantas). As três repetições por ponto geraram uma média por ponto.

O cálculo para determinação das produtividades considerou o peso seco padrão de comercialização da soja (13%) para as 5 plantas amostradas, extrapolado para o total de plantas colhidas em cada amostra. As médias dos valores assim obtidos por gleba foram comparadas com as produtividades médias obtidas das glebas Lagoa 1 e Lagoa 2 da pesagem dos caminhões. Esta comparação revelou uma superestimativa de 25% para a gleba Lagoa 1 e 36% para a gleba Lagoa 2. Estes valores foram então usados para corrigir linearmente os valores de produtividade pontuais previamente obtidos, evitando a

superestimativa comumente obtida quando se estima a produtividade através de componentes da produção. As médias pontuais corrigidas foram então usadas para gerar mapas da produtividade por interpolação usando krigagem exponencial

As razões para variabilidade em produtividade foram analisadas usando o método estatístico de árvores de regressão multivariada (Systat<sup>®</sup> 7.0b), utilizando os parâmetros de solo e necessidade de fertilização e corretivo como variáveis independentes e a produtividade corrigida por pontos como variável dependente.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Inicialmente serão discutidos os resultados das análises do solo, tanto antes da intervenção quanto após. Também serão discutidos os mapas de recomendação usados para intervir em atributos químicos selecionados. Após isso os efeitos desta intervenção na produtividade da soja serão discutidos, assim como a relação custo-benefício final desta intervenção, em comparação ao sistema tradicional adotado pelo produtor.

### 5.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.

Do ponto de vista de correção dos atributos químicos do solo, os resultados das análises do solo da primeira amostragem (Tabelas 1 e 2) demonstraram que os teores de K, em sua maioria, eram maiores que  $0,3 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ , considerado nível ideal para a maioria das culturas (Tomé, 1997) e portanto não seria necessário uma correção para os valores ideais deste nutriente. Foi recomendado ao produtor plantar a soja sem adubação potássica, o que efetivamente ocorreu. Já os valores de V%, em ambas as glebas, foram em grande parte menores que 50%, considerado ideal para sistemas com plantio direto (Sá, 1995). Similarmente, ocorreram valores de P no solo menores que  $12 \text{ mg}/\text{dm}^3$ , considerado o ideal para solos desta textura (teor médio de argila de  $50 \pm 8\%$ , Anexos 1 e 12) (Tomé, 1997), principalmente na gleba Lagoa 2. Por esta razão foram elaborados mapas para ATV de calcário (Figuras 3 e 4) e Superfosfato simples (Figuras 5 e 6), a partir das superfícies interpoladas de V% (Anexos 22 e 32) e P (Anexos 20 e 28). A verificação visual destes mapas demonstra a variabilidade existente, uma vez que para a gleba Lagoa 1 a necessidade de calcário variou de 0,5 a 3,5 Mg/ha e a de superfosfato simples de zero a 100 kg/ha. Já para a gleba Lagoa 2, a necessidade de calcário variou de 0,5 a 2,5 Mg/ha e a de superfosfato simples de zero a 125 kg/ha. Esta variabilidade já demonstra a necessidade da ATV.

O conhecimento da variação espacial de atributos do solo pode contribuir para o planejamento e otimização das lavouras comerciais, objetivando a prática da AP. Diversos estudos de características químicas e físicas do solo e de planta demonstram que a variabilidade não ocorre ao acaso, mas apresenta correlação ou dependência espacial (Albuquerque et al., 1996). Um dos requisitos básicos do manejo do solo, como instrumento

de fundamental importância para orientação correta das doses de corretivos e fertilizantes a serem utilizadas em uma lavoura, é a coleta de amostras de solo que representem adequadamente uma determinada área, gleba ou talhão.

TABELA 1 - Resultados da análise de solo (Lagoa 1) para a 1ª amostragem, realizada em 09/08/2002 a uma profundidade de 0 - 20 cm.

ponto	pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	T cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	P mg/dm <sup>3</sup>	C g/dm <sup>3</sup>	V%
1	4,55	0,30	5,40	4,05	2,30	0,41	9,86	8,80	26,00	45
2	4,70	0,20	5,80	4,95	3,00	0,40	11,15	8,30	23,20	48
3	4,70	0,20	5,80	4,60	2,85	0,36	10,76	6,90	26,30	46
4	4,80	0,20	5,40	4,85	3,15	0,36	10,61	8,30	25,10	49
5	5,10	0,10	5,60	4,70	3,00	0,39	10,69	9,90	24,75	48
6	5,15	0,00	5,60	5,45	3,80	0,36	11,41	6,50	26,30	51
7	4,90	0,00	5,80	4,70	3,05	0,42	10,92	6,40	22,90	47
8	4,80	0,20	5,80	4,45	2,65	0,32	10,57	5,50	21,70	45
9	4,55	0,55	5,80	3,80	2,20	0,37	9,97	11,80	21,70	42
10	4,50	0,60	6,00	3,50	2,00	0,39	9,89	15,80	19,00	39
11	4,45	0,65	6,20	3,65	1,80	0,32	10,17	12,60	20,20	39
12	4,50	0,40	6,00	4,00	2,70	0,33	10,33	10,80	20,50	42
13	4,65	0,35	6,00	4,35	2,90	0,37	10,72	12,30	22,00	44
14	4,60	0,45	6,25	4,50	3,00	0,36	11,11	10,40	24,75	44
15	4,50	0,50	6,20	4,10	2,70	0,44	10,74	10,10	24,50	42
16	4,50	0,60	6,45	4,10	2,40	0,40	10,95	10,00	24,50	41
17	4,50	0,55	6,20	3,75	2,35	0,41	10,36	9,80	23,20	40
18	4,55	0,40	5,80	5,10	3,40	0,39	11,29	11,80	23,55	49
19	4,95	0,00	5,20	6,00	4,35	0,40	11,60	12,10	23,85	55
20	4,70	0,30	5,80	4,60	3,20	0,37	10,77	10,90	25,10	46
21	4,60	0,40	6,20	4,35	2,95	0,39	10,94	15,40	25,40	43
22	4,65	0,35	5,40	4,25	2,90	0,43	10,08	14,50	21,10	46
23	4,80	0,15	5,60	5,25	3,75	0,37	11,22	12,10	22,60	50
24	4,90	0,00	5,40	5,50	4,00	0,44	11,34	14,70	25,70	52
25	4,75	0,25	6,00	4,45	3,35	0,39	10,84	15,30	26,30	47
26	4,55	0,55	6,95	3,95	2,55	0,39	11,29	12,90	26,90	38
27	4,90	0,40	7,40	3,20	1,95	0,40	11,00	10,20	26,90	33
28	4,40	0,95	7,80	3,40	2,10	0,38	11,58	10,60	28,10	33
29	4,25	1,10	8,70	2,65	1,55	0,37	11,72	16,70	27,50	26
30	4,40	1,25	8,70	2,40	1,45	0,39	11,49	9,60	28,10	24
Md*	4,66	0,40	6,18	4,29	2,78	0,38	10,85	11,03	X	43
CV	5	77	14	19	25	8	5	26	X	16

(\*) Md = média.

CV = Coeficiente de variação, %.

TABELA 2 - Resultados da análise de solo (Lagoa 2) para a 1ª amostragem, realizada em 09/08/2002 a uma profundidade de 0 - 20 cm.

ponto	pH	Al <sup>+3</sup>	H+Al	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	T	P	C	V%
	CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	
1	5,20	0,00	5,00	6,70	4,55	0,36	12,06	10,20	26,90	59
2	5,10	0,00	5,40	5,60	3,85	0,42	11,42	15,30	26,90	53
3	5,10	0,00	6,60	5,35	3,65	0,43	12,38	6,00	27,50	51
4	5,10	0,00	6,20	5,15	3,40	0,37	11,72	5,30	25,70	47
5	5,20	0,00	6,00	5,50	3,75	0,36	11,86	3,50	28,10	49
6	5,10	0,00	5,80	5,45	3,55	0,24	11,49	2,60	26,30	49
7	5,10	0,00	5,20	6,15	4,00	0,29	11,64	3,70	26,30	55
8	4,90	0,00	5,80	5,00	3,45	0,22	11,02	6,10	26,90	47
9	4,55	0,55	8,40	3,60	2,15	0,21	12,21	3,30	29,30	31
10	4,60	0,45	6,70	3,00	1,55	0,30	10,00	3,90	23,20	33
11	4,55	0,60	7,50	3,30	1,75	0,21	11,01	5,20	26,30	32
12	4,70	0,35	5,95	4,80	2,85	0,30	11,05	9,00	25,70	42
13	5,20	0,00	5,40	5,90	3,65	0,42	11,72	9,10	24,50	54
14	5,25	0,00	5,00	6,45	4,10	0,46	11,91	8,30	24,50	58
15	5,30	0,00	5,00	7,10	4,85	0,40	12,50	10,60	27,50	60
Md*	5,00	0,13	6,00	5,27	3,41	0,33	11,60	6,81	X	48
CV	5	176	16	23	28	26	6	52	X	20

(\*) Md = média.

CV = Coeficiente de variação, %.

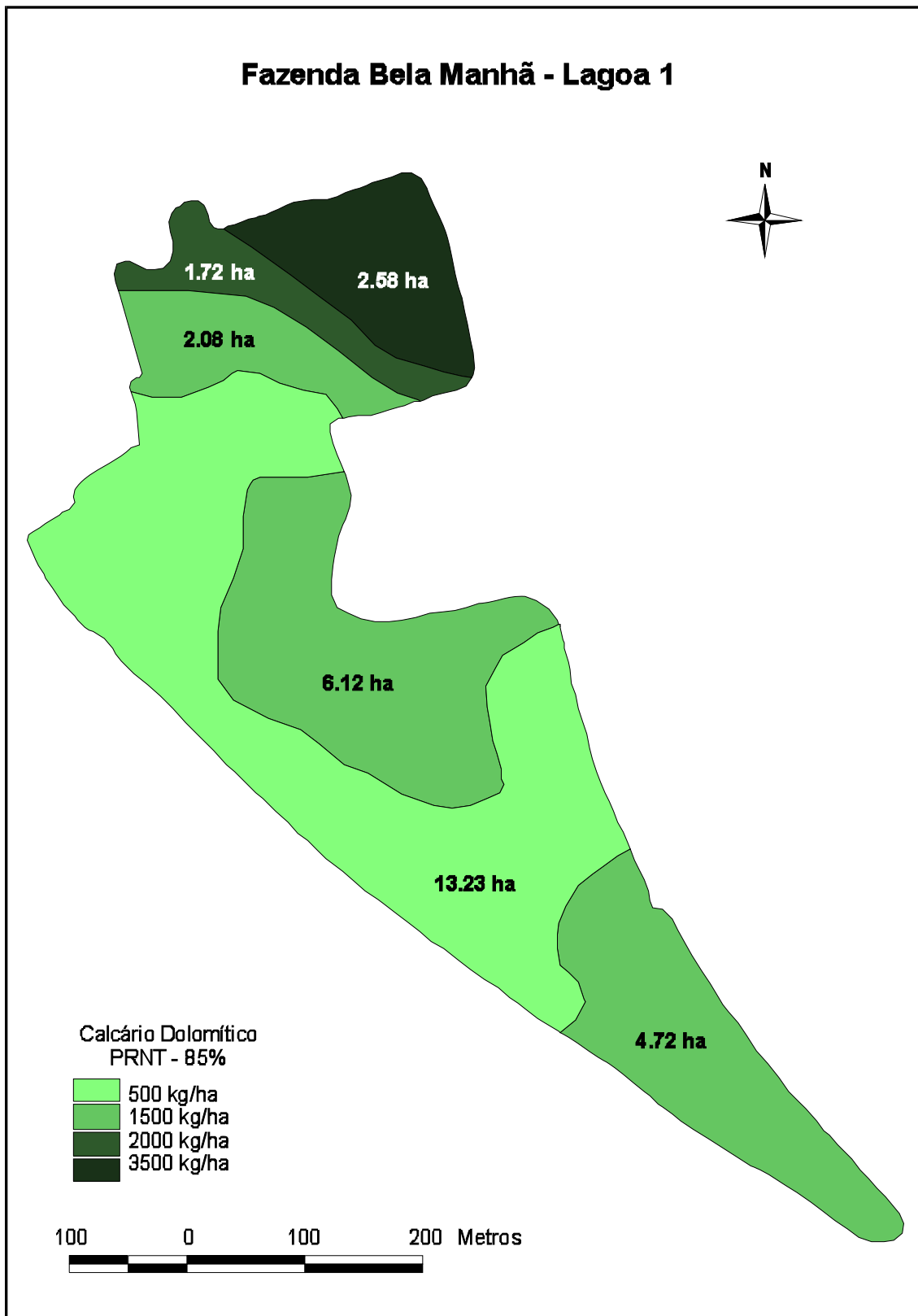


FIGURA 3 - Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Calcário Dolomítico na gleba Lagoa 1, Arapoti-PR, 2002



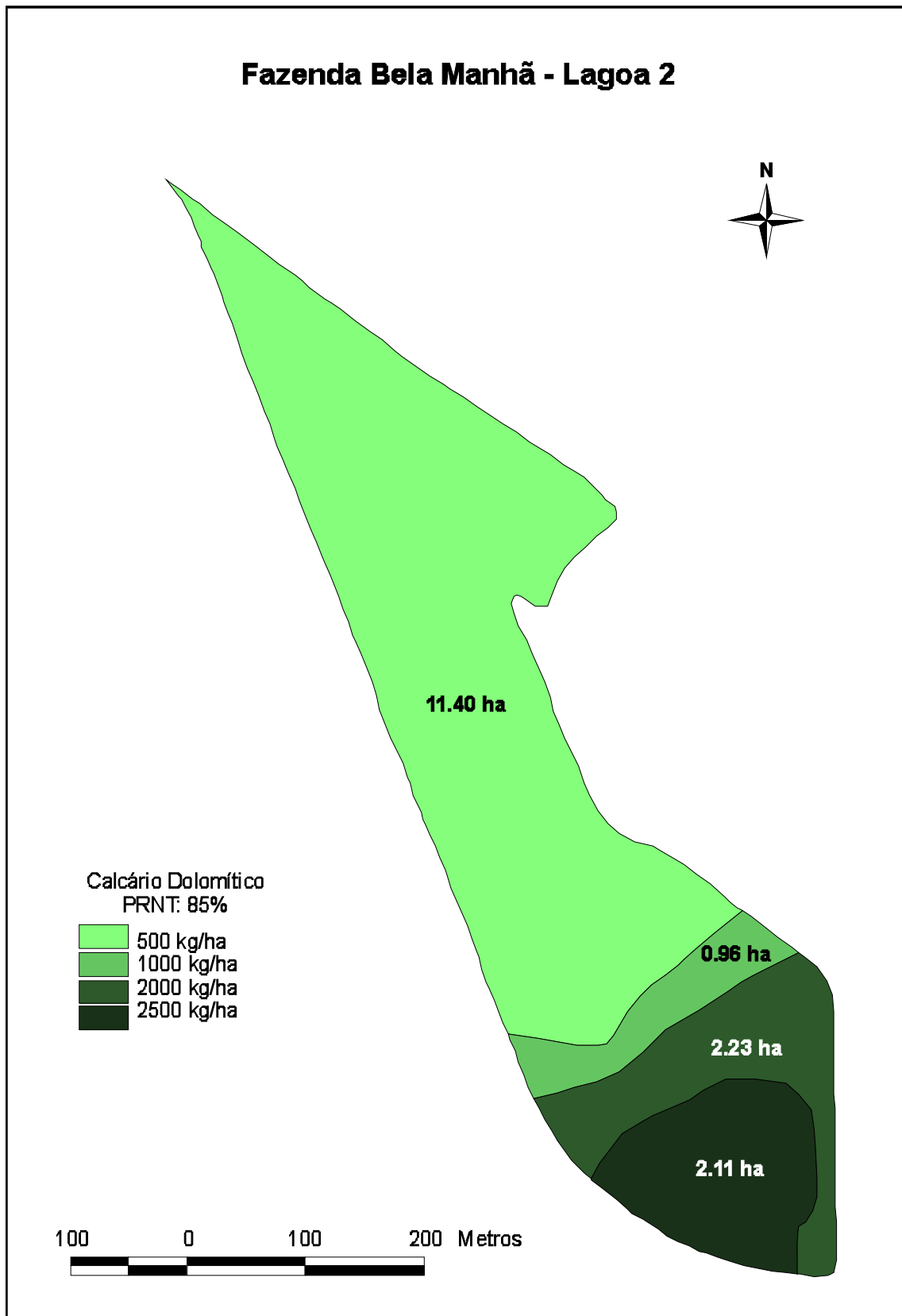


FIGURA 4 - Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Calcário Dolomítico na gleba Lagoa 2, Arapoti-PR, 2002

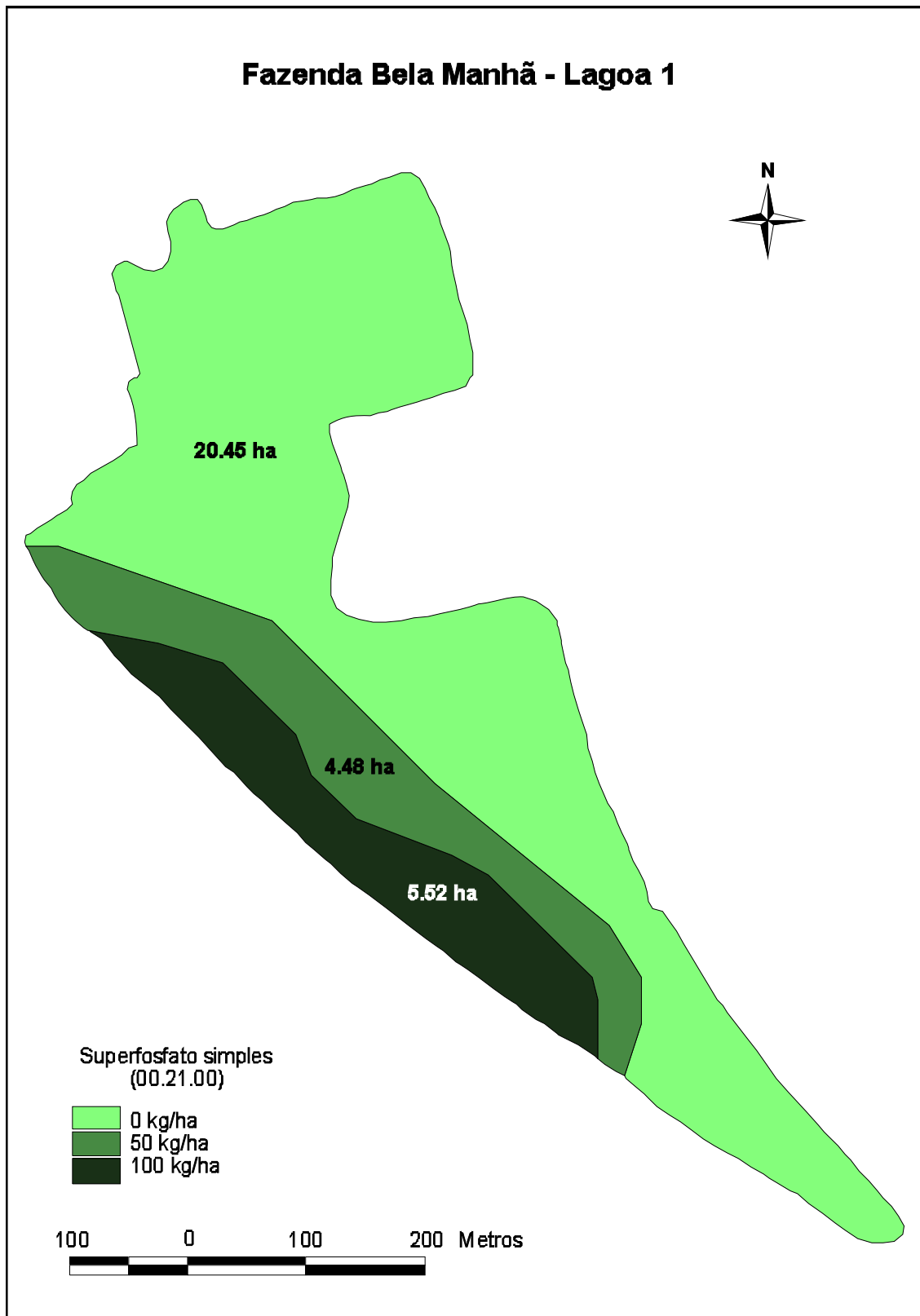


FIGURA 5 - Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Superfosfato Simples na gleba Lagoa 1, Arapoti-PR, 2002

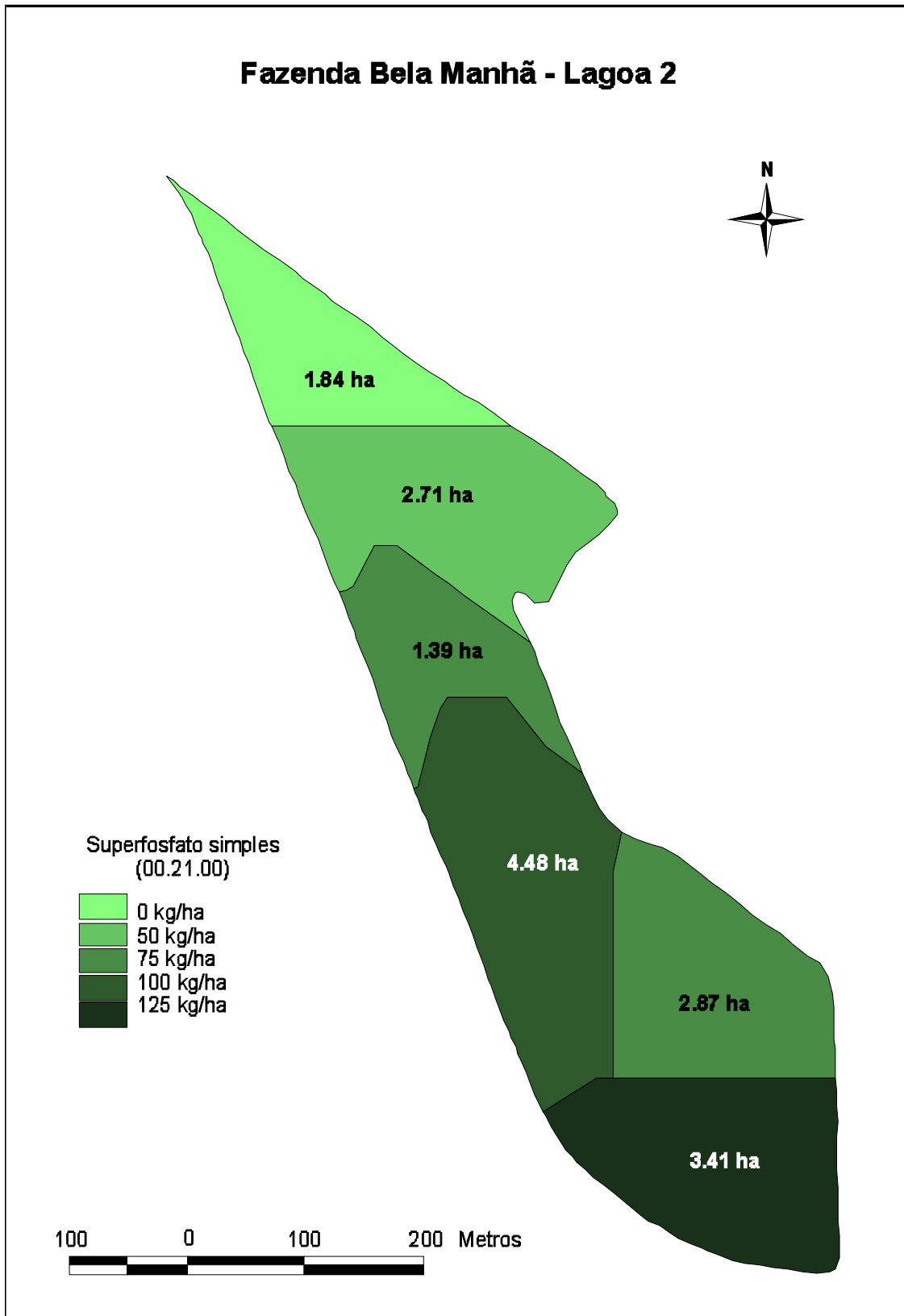


FIGURA 6 - Delineamento da área experimental, e aplicação em taxa variável de Superfosfato Simples na gleba Lagoa 2, Arapoti-PR, 2002

De 30 pontos amostrados na gleba Lagoa 1, a comparação entre valores da segunda amostragem (Tabela 3) com os da primeira (Tabela 1) mostra que 21 pontos tiveram os valores de saturação por bases (V) reduzidos, permanecendo abaixo do valor desejado de 50% e com valor médio de 40%, mesmo após a correção com calcário dolomítico. Os nove pontos restantes, contudo, tiveram os valores de V aumentados, sendo seis destes pontos com valor médio de 41%, ainda abaixo do esperado, e três pontos obtiveram média de V = 50%. O coeficiente de variação (CV) foi de 17%, não apresentando variação importante em relação a primeira amostragem (CV = 16%). Embora os valores de V tenham mostrado certa variação entre amostragens, percebe-se que ao longo da gleba os valores obtidos ficaram próximos da média dos 30 pontos (V = 43%) para as amostras realizadas antes do tratamento corretivo com calcário dolomítico e para os resultados apresentados após a calcariação (V = 41%).

A mesma comparação, para os valores de fósforo (P) disponível no solo, obteve-se uma média de 11,60 mg/dm<sup>3</sup> e CV com valor de 33%, superando o valor de CV para (P) disponível no solo em 7% em relação aos resultados apresentados na primeira análise de solo (P = 11,03 mg/dm<sup>3</sup>). Cabe ressaltar que a segunda amostragem foi efetuada após a colheita de trigo onde o agricultor utilizou 250 kg/ha de fertilizante (10.20.20). Os resultados observados para os CV de pH, H+Al, Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup>+Mg<sup>+2</sup>, Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e T na segunda análise do solo, variaram de 4% para valores de pH a 22% para os teores de Ca<sup>+2</sup>, apresentando diferença percentual inferior de 1% para valor de pH do solo e 3% em relação aos valores de Ca<sup>+2</sup>. Nas duas amostragens de solo para a Lagoa 1, têm-se valores altos para o CV de Al<sup>+3</sup>, sendo 77% na primeira amostragem e 88% para a amostragem realizada após a colheita da cultura do trigo.

A análise comparativa dos resultados de análise química do solo (Tabelas 2 e 4) para a gleba Lagoa 2, mostra que 10 pontos tiveram os valores de saturação por bases aumentados e com valor médio igual a 61%, enquanto 02 (dois) pontos tiveram os valores aumentados mas não atingindo o valor objetivado, perfazendo um valor médio de 38%. Dos três pontos restantes, dois pontos apresentaram valores de SB reduzidos e média de 35%, e somente um ponto apresentou valor reduzido (V= 57%) embora superior ao objetivado. O CV foi de 23% para V, superando em 3% o valor da primeira amostragem (CV= 20%). Diferentemente da gleba Lagoa 1, os valores de CV para fósforo disponível no solo na Lagoa 2 não obtiveram variação importante entre a primeira amostragem (CV= 52%) e a segunda (CV= 53%), com a ressalva que a segunda amostragem foi realizada após a colheita da cultura da aveia sem utilização de fertilizante.

TABELA 3 - Resultados da análise de solo (Lagoa 1) para a 2ª amostragem realizada em 13/10/2003, após tratamento com ATV de calcário dolomítico e fertilizante fosfatado, profundidade de 0 – 20 cm.

ponto	pH CaCl <sub>2</sub>	Al <sup>+3</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	Ca <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	K <sup>+</sup> cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	T cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	P mg/dm <sup>3</sup>	C g/dm <sup>3</sup>	V%
1	4,60	0,20	5,80	3,80	2,90	0,34	9,94	7,60	30,50	42
2	4,60	0,20	5,80	4,36	3,30	0,29	10,45	9,50	31,10	45
3	4,80	0,10	5,40	4,75	3,60	0,30	10,45	12,20	31,10	48
4	4,90	0,00	5,40	4,83	3,60	0,32	10,55	10,10	31,70	49
5	4,90	0,10	5,00	4,83	3,60	0,35	10,18	12,90	31,10	51
6	4,80	0,10	5,40	4,06	3,00	0,33	9,79	8,50	30,50	45
7	4,70	0,10	5,80	3,46	2,40	0,24	9,50	6,80	30,50	39
8	4,70	0,10	5,40	3,28	2,30	0,26	8,94	16,40	25,70	40
9	4,60	0,30	6,20	2,89	2,15	0,37	9,46	14,50	24,50	34
10	4,50	0,30	6,20	2,54	1,80	0,26	9,00	10,40	24,50	31
11	4,80	0,10	5,40	5,11	3,65	0,29	10,80	7,60	25,70	50
12	4,60	0,20	5,80	3,55	2,40	0,30	9,65	7,90	23,80	40
13	4,80	0,10	5,80	4,56	3,33	0,43	10,79	11,10	29,30	46
14	4,80	0,10	5,40	4,66	3,35	0,33	10,39	12,90	30,50	48
15	4,60	0,30	5,80	3,33	2,35	0,36	9,49	16,20	28,10	39
16	4,60	0,30	5,80	3,63	2,63	0,34	9,77	9,50	28,10	41
17	4,70	0,20	5,80	4,20	3,05	0,39	10,39	10,40	30,50	44
18	4,80	0,10	5,40	4,99	3,60	0,35	10,74	14,10	28,10	50
19	4,80	0,10	5,80	4,74	3,35	0,34	10,88	19,60	30,50	47
20	4,70	0,20	5,80	4,15	3,00	0,35	10,30	19,60	31,70	44
21	4,70	0,10	5,80	4,01	2,95	0,34	10,15	13,30	29,30	43
22	4,70	0,20	5,80	3,60	2,70	0,33	9,73	19,10	24,50	40
23	4,70	0,20	5,80	3,90	2,75	0,28	9,98	9,10	28,10	42
24	4,80	0,10	5,40	4,48	3,25	0,29	10,17	8,20	29,90	47
25	4,60	0,30	6,20	4,01	2,97	0,31	10,52	13,70	28,70	41
26	4,30	0,60	6,70	2,72	1,90	0,26	9,68	5,70	32,30	31
27	4,40	0,60	7,20	2,72	1,90	0,33	10,25	8,80	34,10	30
28	4,30	0,70	7,80	2,67	1,85	0,33	10,80	7,90	31,70	28
29	4,40	0,70	7,20	2,92	2,00	0,34	10,46	9,50	32,90	31
30	4,30	0,90	7,80	2,54	1,80	0,37	10,71	14,90	26,90	27
Md*	4,65	0,25	5,96	3,84	2,78	0,32	10,13	11,60	x	41
CV	4	88	12	21	22	13	5	33	x	17

(\*) Md = média.

CV = Coeficiente de variação, %.

TABELA 4 - Resultados da análise de solo (Lagoa 2) para a 2ª amostragem realizada em 13/10/2003, após tratamento com ATV de calcário dolomítico e fertilizante fosfatado, profundidade de 0 – 20 cm.

ponto	pH	Al <sup>3+</sup>	H+Al	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	T	P	C	V%
	CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	g/dm <sup>3</sup>	
1	5,30	0,00	4,30	7,40	5,10	0,31	12,01	12,20	31,70	64
2	5,20	0,00	4,60	6,57	4,60	0,23	11,40	5,90	30,50	60
3	5,30	0,00	4,00	6,29	4,40	0,21	10,50	8,20	32,30	62
4	5,20	0,00	4,30	6,30	4,25	0,22	10,82	3,90	31,70	60
5	5,20	0,00	4,30	7,30	4,75	0,23	11,83	4,90	30,50	64
6	5,00	0,00	5,00	5,31	3,75	0,24	10,55	4,90	31,70	53
7	5,20	0,60	4,60	5,71	3,90	0,30	10,61	3,70	30,50	57
8	5,90	0,00	3,20	9,56	6,70	0,18	12,94	3,50	30,50	75
9	4,50	0,40	6,70	4,18	2,70	0,10	10,98	2,10	32,90	39
10	4,50	0,20	5,80	3,35	2,40	0,16	9,31	3,00	28,70	38
11	4,30	0,60	6,70	2,55	1,90	0,27	9,52	2,80	29,90	30
12	4,50	0,30	6,20	4,06	3,00	0,25	10,51	11,80	29,90	41
13	5,10	0,00	4,60	5,41	3,84	0,30	10,31	9,60	29,90	55
14	5,10	0,00	5,00	6,34	4,45	0,32	11,66	7,00	30,50	57
15	5,30	0,00	4,30	7,10	4,80	0,35	11,75	8,80	30,50	63
Md*	5,04	0,14	4,91	5,83	4,04	0,24	10,98	6,15	x	54
CV	8	162	21	31	30	27	9	53	x	23

(\*) Md = média.

CV = Coeficiente de variação, %.

TABELA 5 – Coeficientes de correlação (*r*) entre os valores da primeira e segunda amostragem.

Gleba	<i>r</i>	Objetos da intervenção					Estáveis	
		<i>pH</i>	<i>Al</i>	<i>Ca</i> <sup>2+</sup>	<i>V</i>	<i>P</i>	<i>T</i>	<i>C</i>
Lagoa1	<i>r</i>	0,55	0,80	0,57	0,75	0,08	0,45	0,73
Lagoa2	<i>r</i>	0,72	0,69	0,74	0,77	0,61	0,43	0,61

Comparando similarmente os valores de CV para índice de pH do solo, H+Al, Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup>+Mg<sup>+2</sup>, Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e T na segunda análise e após o cultivo com aveia sem adubação, temos valores de CV variando entre 8% para pH e 31% para Ca<sup>+2</sup>+Mg<sup>+2</sup>, acrescido de 3% no valor de CV para pH e 8% para Ca<sup>+2</sup>+Mg<sup>+2</sup> em relação a primeira análise. Dentre os CV calculados, Al<sup>+3</sup> é que apresentou a maior percentagem, sendo CV= 176% para a primeira amostragem do solo e diminuída para CV= 162% na segunda amostragem. Observa-se porém, que com o revolvimento do solo para o plantio da aveia como cultura de inverno, têm-se um maior acréscimo nos valores de saturação por bases com média de V= 54% na gleba Lagoa 2, superando o valor médio de SB para primeira amostragem no período anterior ao tratamento na mesma gleba em 6%, atribuindo particularmente ao revolvimento superficial (0-10cm) do solo a melhor ação do calcário, aplicado a lanço e de maneira uniforme sobre o solo.

A similaridade entre os valores das duas amostragens, contudo, não é corroborada pelos coeficientes de regressão entre os valores (Tabela 5) de alguns atributos<sup>3</sup>. Os valores de T, que são relativamente estáveis no curto prazo, mostram relativamente baixa correlação, enquanto que para o carbono (C), igualmente estável, o coeficiente indica uma melhor correlação. Interessantemente, os coeficientes de correlação entre C e T foram relativamente baixos e variaram entre 0,23 e 0,65 (resultados não apresentados) entre os valores da primeira e segunda amostragem. Isto indica possíveis erros de amostragem ou de análise, o que torna os resultados pouco confiáveis, e assim pouco relevantes discussões mais profundas sobre os valores obtidos.

Anghinoni & Salet (1995), citados por Silveira & Stone (2002), questionam a necessidade de definir um novo sistema de recomendação de adubação e calcariação para o Sistema de Plantio Direto (SPD), em virtude das modificações ocorridas nas características que definem os índices de fertilidade do solo, quando comparados aos do sistema convencional. Segundo aqueles autores, um novo sistema de recomendação não se justifica e, para usar o mesmo sistema de recomendação no solo sob plantio direto, uma das alternativas de ajuste consiste em determinar a profundidade de amostragem no sistema plantio direto que tenha o índice de disponibilidade de nutrientes similar ao do solo preparado pelo sistema convencional, tendo como suporte a similaridade de resposta das culturas nos dois sistemas, fato este confirmado por estes autores que comprovaram a proposta de Anghinoni & Salet (1995). No presente trabalho, contudo, essa sugestão não é confirmada pelos dados, uma vez que eram esperadas alterações em alguns atributos após

---

<sup>3</sup> Para a gleba Lagoa 2 houve um valor o coeficiente de regressão para o P excepcionalmente baixo, provavelmente devido ao erro na aplicação excessiva de Superfosfato em uma faixa (Anexo 43).

terem sofrido intervenção a cerca de um ano, e estas alterações não foram detectadas por esta metodologia. Como geralmente acontece em SPD, a calcariação foi realizada na superfície do solo sem que ocorresse o revolvimento e incorporação do calcário, exceto pela gradagem leve após a soja na gleba Lagoa 2. Esta ação é polêmica e resulta em uma série de pesquisas e discussões sobre a correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição mineral de plantas, visto que a ação do calcário é mais lenta e restrita às camadas superficiais.

Os efeitos da calcariação superficial nas camadas subsuperficiais do solo, permite segundo Lopes (2004), inferir critérios técnicos específicos para esta prática em SPD, permitindo atingir altas produtividades com a utilização de doses menores que aquelas utilizadas no sistema convencional. O efeito da aplicação de calcário feito superficialmente no SPD em relação a atributos relacionados à acidez do solo (pH, Al,  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ , V% e m%) é acentuado na camada 0–10 cm, e as alterações nos atributos abaixo da camada 0–10 cm não parecem ser suficientes para explicar as altas produtividades alcançadas pelas culturas neste sistema.

A correção da acidez somente na camada superficial do solo, causada pela não-incorporação do calcário, aparentemente não apresenta dificuldades para o cultivo de espécies anuais em áreas anteriormente calcariadas pelo sistema convencional e que apresentam nível adequado de nutrientes, exceto, talvez, para períodos de secas prolongadas. Por outro lado, a concentração superficial dos nutrientes e a maior disponibilidade hídrica, resultante da melhor conservação da umidade em SPD, favorecem o melhor desenvolvimento das culturas (Caires et al., 1998). A aplicação de calcário sem incorporação ao solo no SPD, influencia principalmente as características químicas da camada de 0-5 cm, e em menor grau, da camada de 5-10 cm (Pottker & Ben, 1998). Quanto à influência da ação do calcário nas características químicas do solo em SPD, (Caires et al., 1998) concluem que a calcariação proporciona correção da acidez revelada pela elevação do pH e redução do alumínio trocável, até 10 cm de profundidade e também em camadas subsuperficiais, mostrando que a ação do calcário aplicado na superfície, em áreas com cultivos já estabelecidos não preparados convencionalmente, pode atingir camadas mais profundas do solo. Para Miyazawa et al (1996), o provável mecanismo de lixiviação de cálcio em áreas de cultivo sem preparo do solo está relacionado com a formação de complexos orgânicos hidrossolúveis presentes nos restos das plantas (aveia, centeio, trigo). Esses resultados mostram a possibilidade de a ação do calcário aplicado na superfície, no sistema de cultivo envolvendo a rotação de culturas sem preparo do solo (SPD), atingir também camadas mais profundas do solo. Os resultados do presente trabalho não evidenciaram isto,



contudo, provavelmente pelo relativamente curto intervalo entre as amostragens (cerca de 13 meses). Verificou-se, em outros trabalhos, que o tempo ocorrido para a máxima reação do calcário aplicado na superfície foi de 32 meses em Latossolo Vermelho argiloso e de 28 a 30 meses para um Latossolo Vermelho textura média (Oliveira e Pavan, 1996; Caires et al., 2000) citado por Caires et al, 2003.

A aplicação superficial de calcário mantém o pH e os teores de  $Al^{+3}$  em níveis não limitantes ao desenvolvimento das plantas (Santos et al., 1995). Essa situação tem sido observada na maioria dos trabalhos realizados, nos quais, apesar de o efeito da calcariação restringir-se às camadas superficiais (Ernani et al., 1998), a produção das diversas culturas não tem sido afetada. Isso leva a crer que, mesmo com uma pequena camada corrigida do perfil, as plantas conseguem desenvolver-se e produzir normalmente (Pires et al., 2003). Esses resultados são explicáveis porque a calcariação, mesmo quando superficial, mantém teores suficientes de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  no solo e aumenta a absorção de nutrientes (Caires et al., 2001) mesmo que não promova a correção do  $Al^{+3}$  em subsuperfície ou o crescimento de raízes em profundidade. Além disso, ocorre menor efeito tóxico do  $Al^{+3}$  em SPD, resultante de complexação por compostos orgânicos (Miyazawa et al., 1996) citado por Pires et al., (2003).

## 5.2 PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA.

A produtividade média da fazenda nesses últimos quatro anos, considerando as perdas na operação de colheita, problemas fitossanitários ocorridos na lavoura, índices pluviométricos característicos em cada safra, tecnologias aplicadas à cultura, características químicas e físicas do solo e a caracterização da soja conforme padrões estabelecidos pela Cooperativa Agropecuária Arapoti Ltda (CAPAL) para comercialização do produto, variou entre 3100 kg/ha a 3373 kg/ha (Tabela 6). A produtividade média da cultura da soja avaliada no ano agrícola de 2002/2003, após o uso das técnicas de AP com a ATV de calcário dolomítico e fertilizante fosfatado, foi de 3302 kg/ha para a gleba Lagoa 1 e 3544 kg/ha para a gleba Lagoa 2, calculadas a partir dos dados da Tabela 7. Portanto, as evidências indicam que não ocorreram diferenças nítidas em relação às médias históricas obtidas com aplicação de fertilizantes em taxas fixas.

Estes resultados são similares aos de Sá (1995) o qual, avaliando a fertilidade do solo sob plantio direto na região dos Campos Gerais, constatou rendimento médio da cultura da soja de 3.100 kg/ha, em solos com saturação por bases de 40%. Rendimentos inferiores só foram constatados quando o valor de saturação por bases situou-se entre 20% e 30%.

TABELA 6 - Histórico de produtividade da Fazenda Bela Manhã, fornecido pela Cooperativa Agropecuária Arapoti Ltda.

Safra - Soja	Área (ha)	Produtividade média (kg/ha)
1999/2000	1.000	3.100
2000/2001	1.050	3.279
2001/2002	1.150	3.172
2002/2003	1.250	3.373

TABELA 7 – Produção da cultura da soja para as glebas Lagoa 1 e Lagoa 2 após ATV de calcário e Superfosfato simples (Fonte: CAPAL).

Lagoa 1 (17/04/03)	Peso (kg)	Umidade (%)	PSP* (kg)
carga 01	16150	12,5	16222
carga 02	19500	13,5	19414
carga 03	15760	12,5	15830
carga 04	19620	16	19113
carga 05	15600	12,5	15669
carga 06	14980	18,5	14285
<b>Total (Lagoa 1)</b>	<b>101610</b>	---	<b>100533</b>
Lagoa 2 (17/04/03)	Peso (kg)	Umidade (%)	PSP (kg)
carga 01	12720	14,5	12553
carga 02	14650	14	14521
carga 03	15930	13	15930
carga 04	16040	12	16183
<b>Total (Lagoa 2)</b>	<b>59340</b>	---	<b>59188</b>

(\*) PSP: Peso Seco Padrão estipulado em 13% de umidade do grão.

Vários estudos têm mostrado que no SPD, aparentemente, o efeito tóxico do alumínio às plantas é menos acentuado do que no sistema convencional, provavelmente por causa da introdução de grande quantidade de matéria orgânica no sistema, podendo ser este fato um dos motivos que proporcionam boa produtividade em solos com saturação de bases menores.

A variação espacial das produtividades (Figuras 7 e 8) mostra zonas de produtividade claramente delimitadas em ambas as glebas. A variabilidade da gleba Lagoa 1, conforme constatada pelo CV da produtividade de 19%, foi ligeiramente maior que da gleba Lagoa 2, com CV de 14%. Isto sugere que manchas de produtividade poderiam ser usadas no futuro como critérios para o zoneamento das glebas para um futuro gerenciamento por manchas, em detrimento ao gerenciamento por malha.

Para verificar eventuais relações causa-efeito entre os atributos do solo amostrados e a produtividade da soja, os valores pontuais destes foram analisados através da análise por árvore de regressão. Este tipo de análise não paramétrica foi usado, em detrimento à análise de regressão linear tradicional, porque não supõem: (a) a existência de linearidade entre a variável independente e a dependente, e (b) distribuição normal dos valores (Armstrong & Andress, 1970). Assim, esta técnica permite a verificação de relações estatisticamente significativas em situações sem controle experimental, como é o caso do presente trabalho, para o qual as análises estatísticas paramétricas clássicas são rigorosas demais. Tal análise para a gleba Lagoa 1 (Figura 9), evidenciou uma relação inversa entre a capacidade de troca de cátions (T) e produtividade da cultura e uma relação direta com o teor de argila. Estes dois parâmetros explicaram 42% da variabilidade da produtividade, conforme quantificado pela redução proporcional do erro. Para a gleba Lagoa 2 (Figura 10), também ocorreu a relação inversa com T e também com o nutriente K, explicando 49% da variabilidade da produtividade. Estas relações inversas, relativamente fortes, sugerem que, nas zonas onde haviam melhores condições de crescimento as produtividades foram menores provavelmente devido ao acamamento da cultura antes da colheita. Este acamamento foi evidenciado visualmente durante a colheita da soja, porém a sua distribuição não foi registrada. A ausência de relações com outros atributos do solo, principalmente aqueles afetados pela ATV, sugere que estes não foram limitantes da produtividade, seja porque a ATV cumpriu com o seu objetivo, mesmo que não evidenciado pelos valores da segunda amostragem, ou porque houveram outros fatores não determinados mais limitantes do que estes. Não foram encontradas outras relações estatisticamente significativas quando foram utilizados os resultados da segunda amostragem.

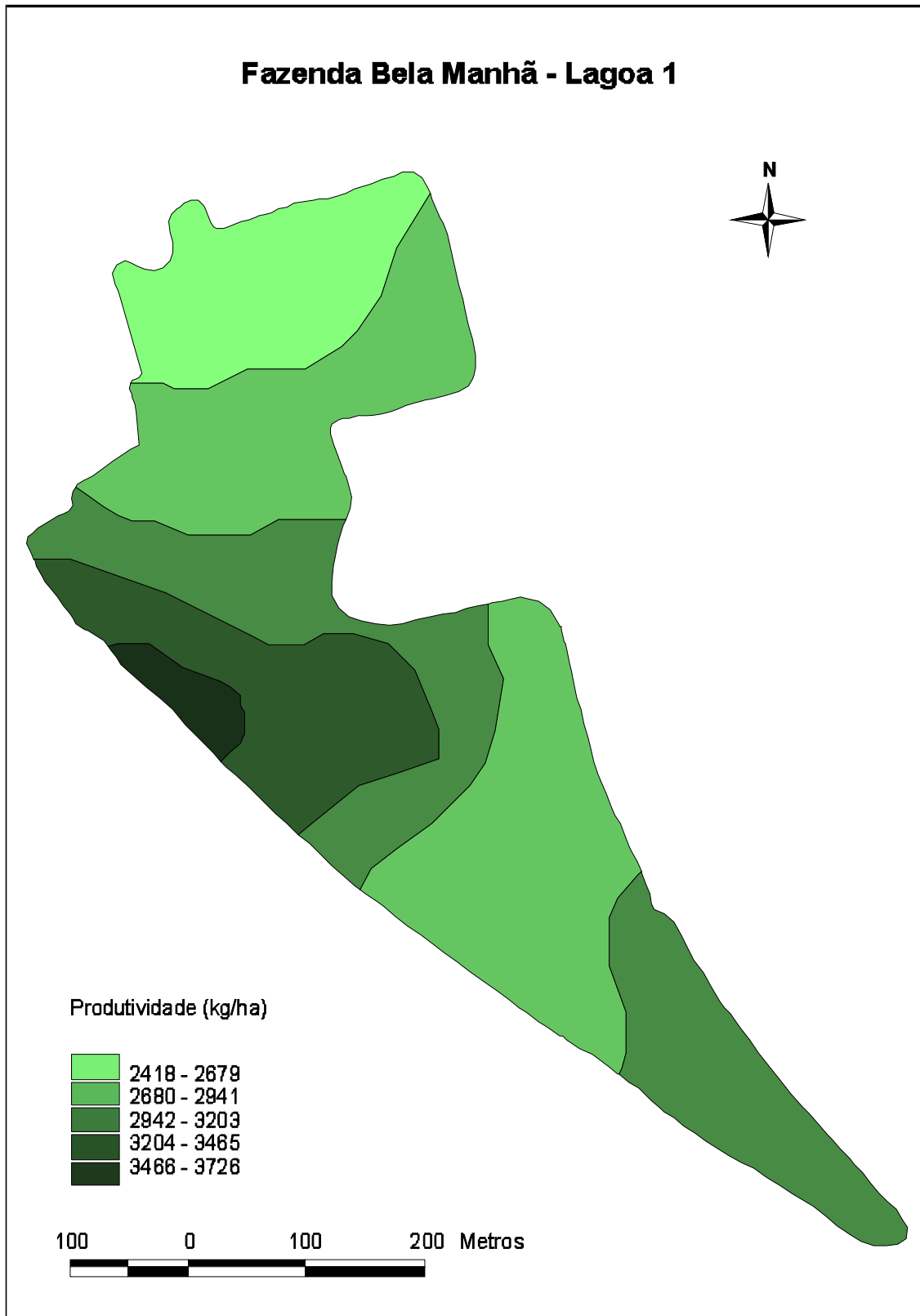


FIGURA 7 - Delineamento da área experimental, e Produtividade (kg/ha) na gleba Lagoa 1, Arapoti-PR, safra 2002/2003

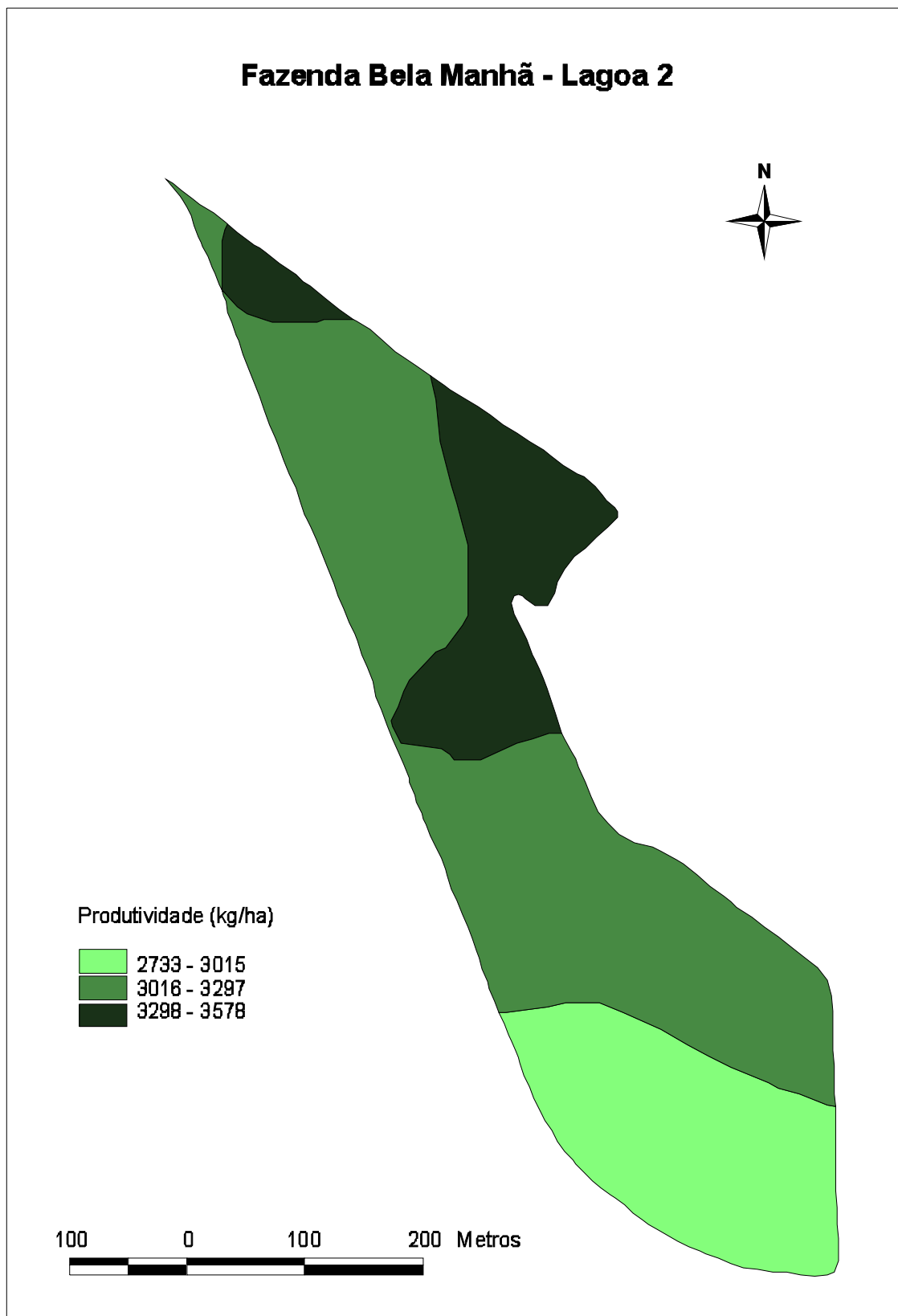


FIGURA 8 - Delineamento da área experimental, e Produtividade (kg/ha) na gleba Lagoa 2, Arapoti-PR, safra 2002/2003

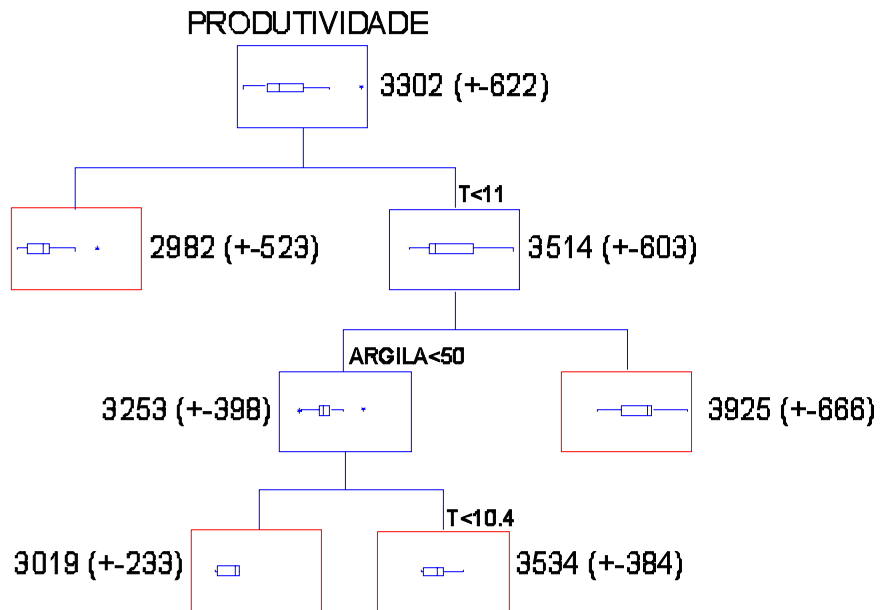


FIGURA 9 – Árvore de regressão entre a produtividade da cultura da soja e atributos do solo referentes a primeira amostragem na gleba Lagoa 1. Barras dentro dos retângulos indicam a dispersão, números ao lado mostram a média e o desvio padrão (entre parênteses).

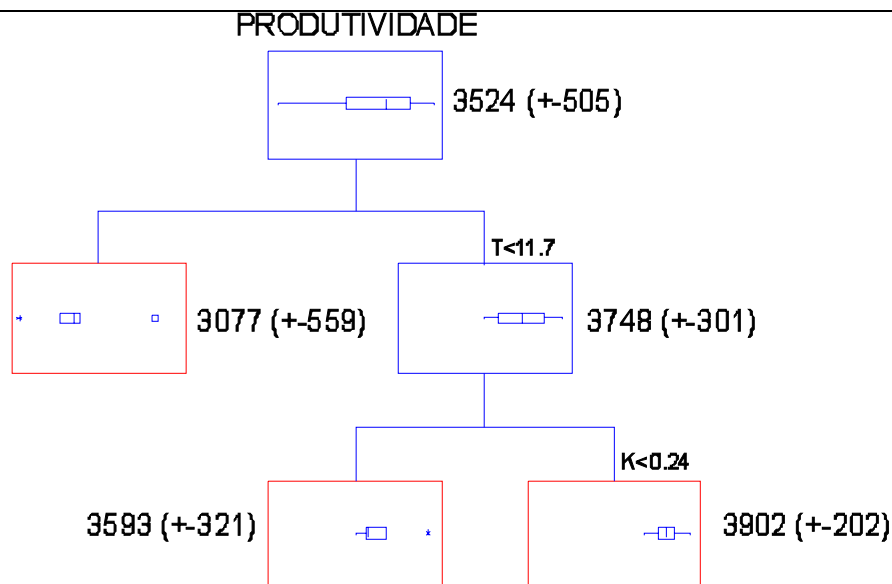


FIGURA 10 – Árvore de regressão entre a produtividade da cultura da soja e atributos do solo referentes a primeira amostragem na gleba Lagoa 2. Barras dentro dos retângulos indicam a dispersão, números ao lado mostram a média e o desvio padrão (entre parênteses).

### 5.3 CUSTOS DE PRODUÇÃO.

Na lavoura de 47,15 hectares com a cultura da soja, englobando as glebas Lagoa 1 e 2, o custo simulado da aplicação em taxa fixa de calcário e fertilizante foi calculado em R\$ 192,96/ha/ano (Tabela 9). Por outro lado, o custo real para ATV na gleba Lagoa 1 foi de R\$44,92/ha/ano, o que significa uma redução de custo comparativa de R\$ 148,04/ha/ano para uma redução total de R\$ 4507,82/ano. Para a Lagoa 2, a economia com a ATV alcançou valores de R\$ 124,77/ha/ano, para uma redução total de R\$ 2083,66/ano.

TABELA 8 - Custos do sistema tradicional de aplicação de insumos em taxa fixa.

Sistema tradicional	kg/ha/ano	kg total	R\$/kg	R\$/ha/ano
Fertilizante (0.20.20)	250	11.800	0,64	160,00
Calcário dolomítico	3000	141.450	0,03	30,00
Análise de solo	-----	-----	-----	0,15
Calcaração	-----	-----	-----	0,47
Fertilização	-----	-----	-----	2,30
<b>Total</b>	-----	-----	-----	<b>192,92</b>

Os custos adicionais para a ATV de calcário dolomítico e fertilizante fosfatado levaram em consideração os preços dos insumos, o custo do mapeamento dos atributos químicos do solo e da demarcação das linhas divisórias para as determinadas aplicações, incluindo as horas trabalhadas tanto do operador como do trator utilizado. Este quadro de redução de custos com ATV apresentado (Tabela 9) é devido à redução quantitativa dos insumos (calcário e fertilizante) aplicados nas determinadas áreas de forma localizada e em taxa variável. Aqui não se considerou acréscimo nem decréscimo das produtividades, devido à ausência de evidências para tal.

Os custos diferenciados da tecnologia de Agricultura de Precisão, portanto, não comprometeram o sucesso comercial dos tratamentos efetuados nas áreas testadas, demonstrando e comprovando que a tecnologia apresentada é totalmente viável e

compatível com a realidade da agricultura brasileira, mas esta tecnologia só surtirá efeito representativo quando os agricultores estiverem mais conscientes da necessidade de sua aplicação para a sustentabilidade agrícola.

TABELA 9 – Custos derivados da tecnologia de AP, com ATV de calcário dolomítico e fertilizante fosfatado.

Lagoa 1	R\$/ha/ano	Lagoa 2	R\$/ha/ano
Calcário dolomítico	4,84	Calcário dolomítico	3,76
Fertilizante Ss (00.21.00)	12,71	Fertilizante Ss (00.21.00)	39,68
Frete	9,68	Frete	7,52
Mapeamento	10,00	Mapeamento	10,00
Análise de solo	3,50	Análise de solo	3,50
Demarcação das áreas	0,07	Demarcação das áreas	0,03
Calcaração (ATV)	1,82	Calcaração (ATV)	1,40
Fertilização Ss (ATV)	2,30	Fertilização Ss (ATV)	2,30
<b>Total (R\$)</b>	<b>44,92</b>	<b>Total (R\$)</b>	<b>68,19</b>



## **6 CONCLUSÕES.**

A implantação das técnicas de Agricultura de Precisão através da amostragem de solo em malha de 1 hectare, mapeamento das glebas e demarcação das sub-áreas para aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato simples (00.21.00) conforme recomendação técnica baseada nos resultados de análise química do solo, demonstrou-se ser economicamente viável, ao reduzir substancialmente o custo de fertilização deste produtor para a cultura da soja, nas condições estudadas.

- A variabilidade espacial dos atributos químicos do solo foi evidenciada, porém a sua redução após aplicação em taxa variável, não ficou evidente.
- A Agricultura de Precisão, através da aplicação em taxa variável, não interferiu na produtividade da cultura da soja e resultou em uma redução no custo da fertilização.

## 7 LITERATURA CITADA.

1. AKRIDGE, J. & WHIPKER, L.. Precision agricultural services dealership survey results. Staff paper 00.04. **Center of Agricultural Business, Purdue University**. West Lafayette – IN. 2000.
2. ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **R. Bras. Ci. Solo**, 20, p. 151-157, 1996.
3. ARMSTRONG, J.S.& ANDRESS, J.G. Exploratory analysis of marketing data: Trees vs. regression. **Journal of Marketing Research**, (1970), 487-492.
4. ANDERSON - COOK, C.M.; ALLEY, M.M.; NABLE; R. & KHOSLA, R.. Phosphorus and potassium fertilizer recommendation variability for two mid - atlantic coastal plain fields. **Soil Science Society of America Journal**, 63, p. 1740-1747,1999.
5. ATHERTON, B.C.; MORGAN, M.T.; SHEARER, S.A.; STOMBOUGH, T.S. & WARD, A.D. Site- specific farming: a perspective and information needs, benefits and limitations. **Journal of Water and Soil Conservation, 2nd Quarter**. 1999.
6. BIANCHINI, A.A. & MALLARINO, A.P. Soil - sampling alternatives and variable - rate liming for a soybean - corn rotation. **Agronomy Journal**, 94, p. 1355- 1366, 2002.
7. CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. & FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 22, p.27-34, 1998.
8. CAIRES, E.F.; FONSECA, A.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **R. Bras. Ci. Solo**, 25, p. 1029-1040, 2001.
9. CAIRES, E.F., BLUM, J., BARTH, G., GARBUIO, F.J. & KUSMAN, M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 27, p.275-286, 2003.
10. COX, S. Information technology: the global key to precision agriculture and sustainability. **Computers and Electronics in Agriculture**, 36, p. 93-111, 2002.
11. DABERKOW, S.G., & McBRIDE, W.D.. Socioeconomic profiles of early adopters of precision agriculture technologies. **Journal of Agribusiness**, 16 (2), p. 151-168, 1998.
12. EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja na região Central do Brasil e Paraná. (2004)**. Disponível em < <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/tecnologia.htm>> Acesso em 03/06/2004.
13. ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L. & OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **R. Bras. Ci. Solo**, 22, p.275-280, 1998.
14. FREIRE, F.M.; VASCONCELOS, C.A.; FRANÇA, G.E. de. Manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p. 49-62, 2000.
15. HEUVEL, R.M.V. 1996. The promise of precision agriculture. p. 38-40, 1996.
16. JIN, J. & JIANG, C.. Spatial variability of soil nutrient and site - specific nutrient management in the P. R. China. **Computers and Electronics in Agriculture**, 36, p. 165-172, 2002.
17. KIRCHMANN, H. & THORVALDSSON, G. Challenging targets for future agriculture. **European Journal of Agronomy**, 12, p. 145-161, 2000.
18. KRAVCHENKO, A.N. & BULLOCK, D.G. A comparative study of interpretation methods for mapping properties. **Agronomy Journal**, 91, p. 393-400, 1999.
19. LAMBERT, D.,& LOWENBERG – DeBOER, J.. Precision agriculture profitability review.

- Site-specific Management Center, Purdue University, 154 p. 2000.
20. LARACH, J.O.I.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A.P.; HOCHMULER, D.P.; FASOLO, P.J. & RAUEN, M.J. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Curitiba, **Embrapa – SNLCS/SUDESUL/IAPAR**, 1984. 413P.
  21. LOPES, A.S.; WIETHÖLTER, S.; GUILHERME, L.R. & SILVA, C.A. Sistema de Plantio Direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo. **ANDA**, 110 p. 2004.
  22. LOWENBERG - DeBOER, J. **Economics of precision farming: payoff in the future**. Disponível em: <<http://molissol.agry.purdue.edu/SSMC/Frames/economicissues.html>> Acesso em 08/05/2003.
  23. LOWENBERG - DeBOER, J. **GPS based guidance systems for agriculture**. Purdue University. Disponível em: <<http://www.purdue.edu>> Acesso em 08/05/2003.
  24. MORRIS, D.K. **Soil quality: What is this? And is this useful concept for precision agriculture and the management of natural resources?** Disponível em: <<http://mollisol.agry.purdue.edu/SSMC/newsletters/Oct2000.htm>> Acesso em 08/05/2003.
  25. PIERCE, F. J., & WARNCKE, D. D.. Soil and crop response to variable-rate liming for two Michigan fields. **Soil Science Society of America Journal**, 64, p. 774-780, 2000.
  26. PIRES, F.R.; SOUZA, C.M.; QUEIROZ, D.M.; MIRANDA, G.V. & GALVÃO, J.C.C. Alteração de atributos químicos do solo e estado nutricional e características agronômicas de plantas de milho, considerando as modalidades de calcariação em plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 27, p. 121-131, 2003.
  27. PLANT, R.E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Computers and electronics in agriculture**, 30, p. 9-29, 2001.
  28. PIERCE, F.J., & NOWAK, P.. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**. 67: 1 – 85. 1999.
  29. POTTKER, D., & BEN, J.R. Calcariação para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 22, p. 675-684, 1998.
  30. REJESUS, R.M., & HORNBACHER, R.H.. Economics and environmental evaluation of alternative pollution – reducing nitrogen management practices in central Illinois. **Agriculture, Ecosystems and Environmental**. 75: 41 – 53. 1999.
  31. ROLOFF, G., & FOCHT, D. Precision agriculture in Brazil: potencial and constraints. No prelo.
  32. SÁ, J. C. M. Calcariação em solos sob plantio direto da região dos Campos Gerais, Centro-Sul do Paraná. In: FUNDACÃO ABC PARA ASSISTÊNCIA E DIVULGAÇÃO TÉCNICA AGROPECUÁRIA. (Ed.) **Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto**. Castro, 1995. p. 73-107.
  33. SANTOS, H. P.; TOMM, G. O. & LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: efeito na fertilidade e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **R. Bras. Ci. Solo**, 19, p. 449-454, 1995.
  34. SILVA, F.C.; EIRA, P.A.; BARRETO, W.O.; PÉREZ, D.V.; SILVA, C.A. Manual de métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1998. 56p. (**EMBRAPA. CNPS. Documentos, 3**).
  35. SILVEIRA, P. M., & STONE L. F. Profundidade de amostragem do solo sob plantio direto para avaliação de características químicas. **R. Bras. Ci. Solo**, 26, p.157-162,2002.
  36. STAFFORD, J.V. Implementing precision agriculture in the 21<sup>st</sup> century. **J. Agric. Engng. Res**, 70, p. 267-275, 2000.
  37. SWINTON, S. M., & LOWENBERG – DeBOER, J.. Evaluating the profitability of site - specific farming. **Journal of Production Agriculture**, 11, p. 439-446, 1998.
  38. SYSTAT 7.0a Statistics by **SPSS Inc**. 1997. Chicago .
  39. SYSTAT 7.0b New Statistics by **SPSS Inc**. 1997. Chicago.
  40. TOMÉ JR., J.B. Manual para Interpretação de Análise de Solo. Guaíba, **Agropecuária**, 1997. 247 p.
  41. WANG, M. Possible adoption of precision agriculture for developing countries at the threshold of the new millenium. **Computers and electronics in agriculture**, 30, p. 45- 50,

2001.

42. WEISS, M.D. Precision farming and spatial economic analysis: Research challenges and opportunities. **Amer. J. Agr. Econ**, 78, p. 1275-1280, 1996.

43. WIBAWA, W.D.; DLUDLU, D.L.; SWENSON, L.J.; HOPKINS, D.G., & DAHNKE, W.C. Variable fertilizer application based on yield goal, soil fertility and soil map unit. **Journal of Production Agriculture**, 6, p. 255-261, 1993.

44. WOLF, S.A., & BUTTEL, F.H.. The political economy of precision farming. **Amer. J. Agr. Econ**, 78, p. 1269-1274, 1996.

45. WOLLENHAUPT, N.C.; WOLKOWSKI, R.P., & CLAYTON, M.K.. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable - rate fertilizer application. **Journal of Production Agriculture**, 7, p. 441-448, 1994.

46. ZIMBACK, C.R.L. **Elementos de geoestatística**. Disponível em <<http://www.fca.unesp.br>> Acesso em 08/06/2004.

47. ZHANG, N.; WANG, M; & WANG, N. 2002. Precision agriculture - a worldwide overview. **Computers and electronics in agriculture**, 36, p. 113-132, 2002.

**ANEXOS**

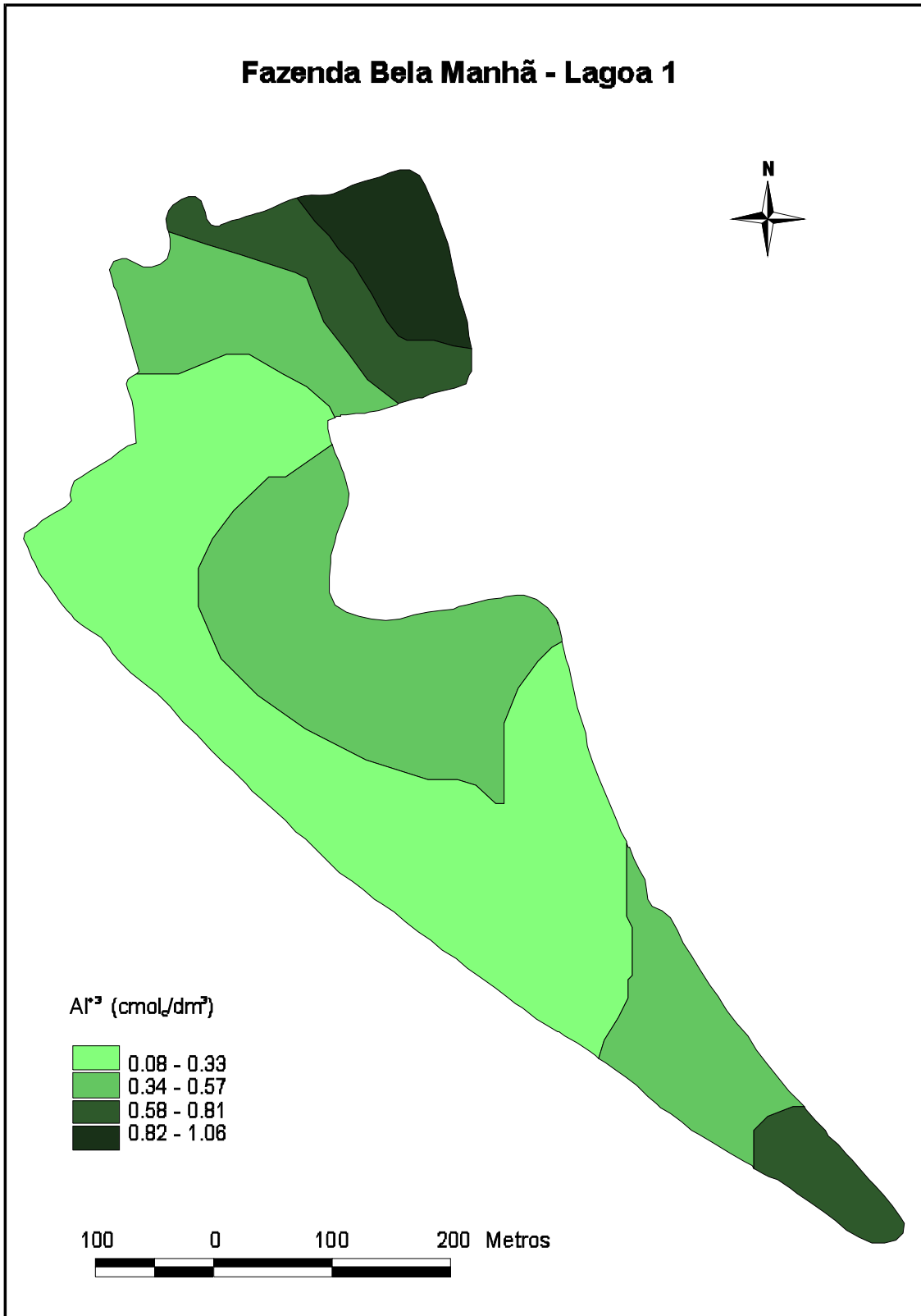
## Anexo 1 – Análise Física do Solo Lagoa 1.

Amostra	% A. Fina	% A. Grossa	% Areia	% Silte	% Argila
LAG.1-P.1	4	6	10	42	48
LAG.1-P.2	6	8	14	38	48
LAG.1-P.3	6	6	12	46	42
LAG.1-P.4	6	4	10	46	44
LAG.1-P.5	4	4	8	44	48
LAG.1-P.6	4	4	8	40	52
LAG.1-P.7	6	8	14	46	40
LAG.1-P.8	10	18	28	42	30
LAG.1-P.9	12	22	34	38	28
LAG.1-P.10	12	20	32	34	34
LAG.1-P.11	6	16	22	42	36
LAG.1-P.12	10	16	26	42	32
LAG.1-P.13	8	6	14	48	38
LAG.1-P.14	6	8	14	38	48
LAG.1-P.17	2	4	6	34	60
LAG.1-P.18	4	4	8	42	50
LAG.1-P.19	6	4	10	52	38
LAG.1-P.20	4	4	8	42	50
LAG.1-P.21	0	4	4	42	54
LAG.1-P.22	4	4	8	44	48
LAG.1-P.24	8	12	20	36	44
LAG.1-P.25	4	6	10	44	46
LAG.1-P.26	4	2	6	40	54
LAG.1-P.27	2	2	4	60	36
LAG.1-P.28	4	2	6	44	50
LAG.1-P.29	4	4	8	52	40
LAG.1-P.30	8	4	12	38	50

Obs: amostras dos pontos 15, 16 e 23 extraviadas pelo laboratório.



Anexo 2 - Mapeamento dos valores de pH(CaCl<sub>2</sub>) no solo.

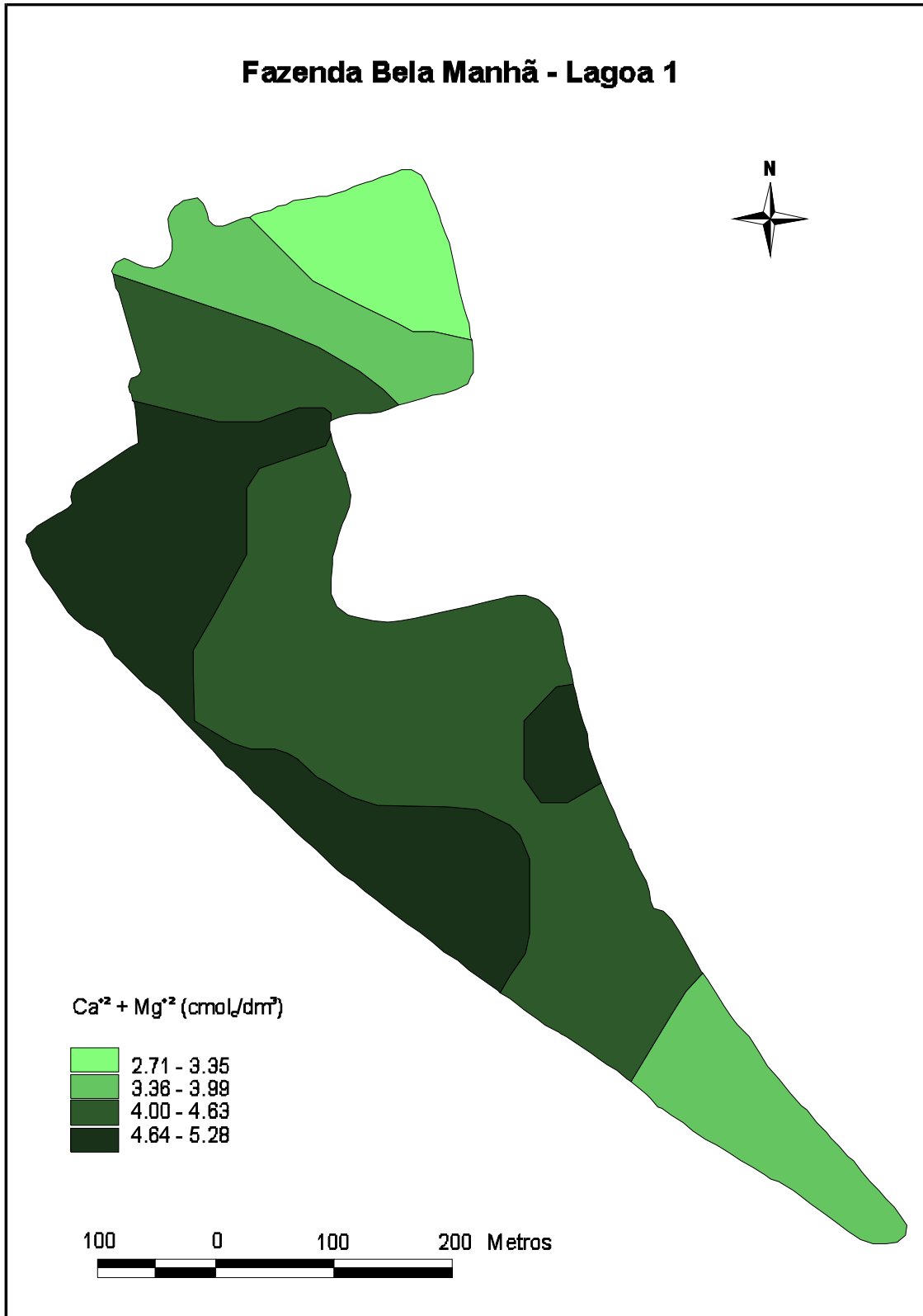


Anexo 3 - Mapeamento dos teores de Al<sup>3</sup> no solo.

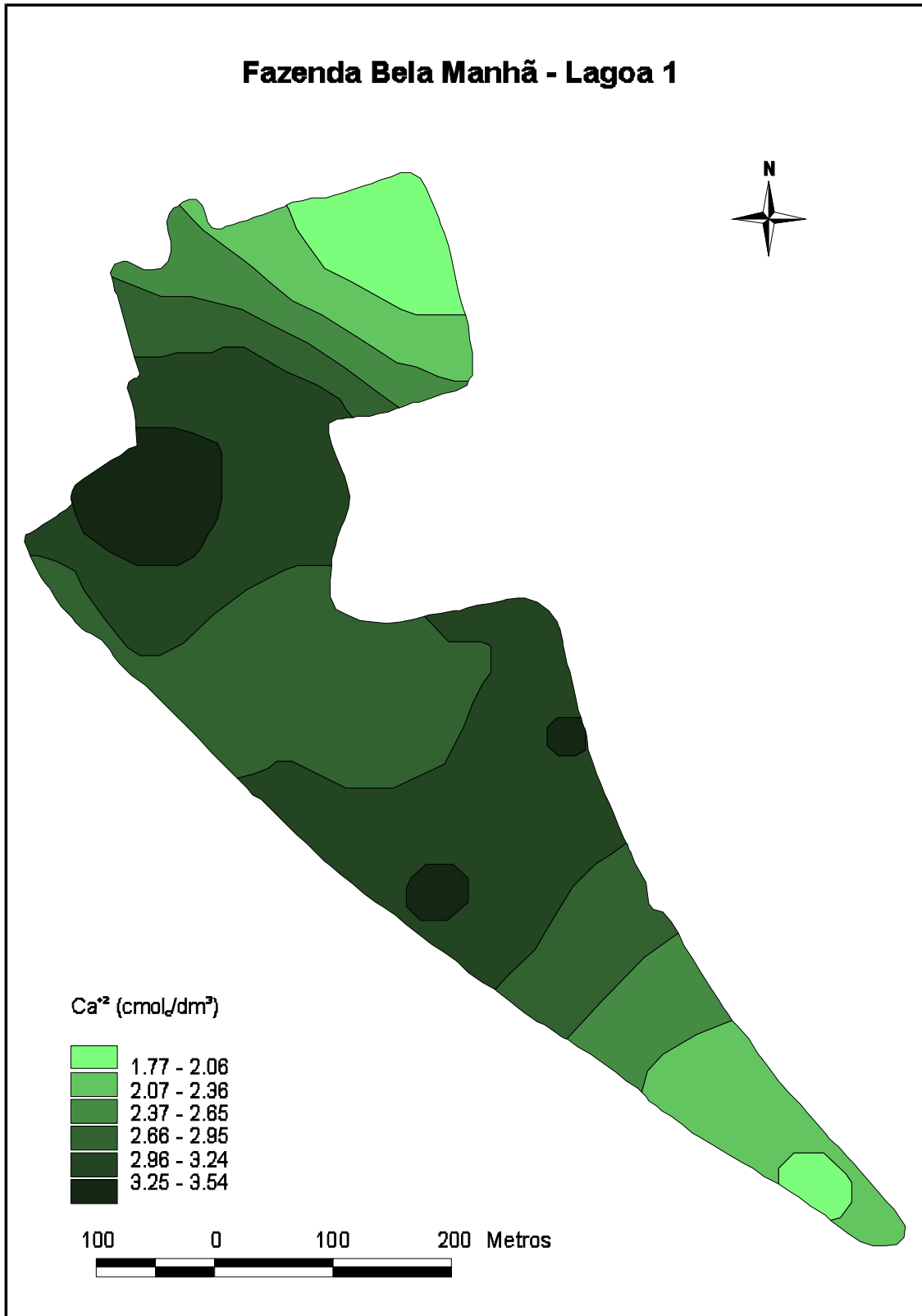




Anexo 4 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo.



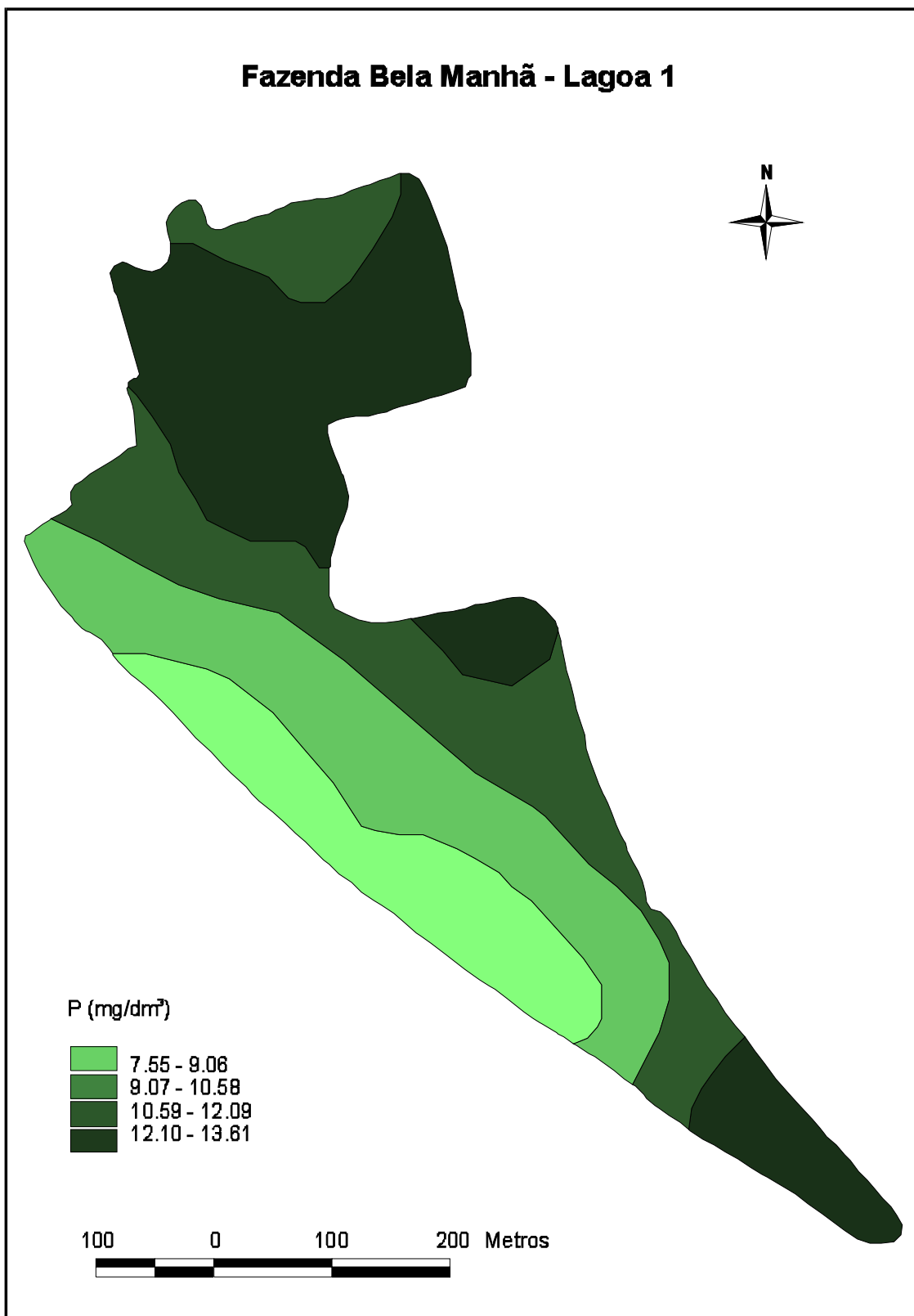
Anexo 5 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup> no solo.



Anexo 6 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup> no solo.



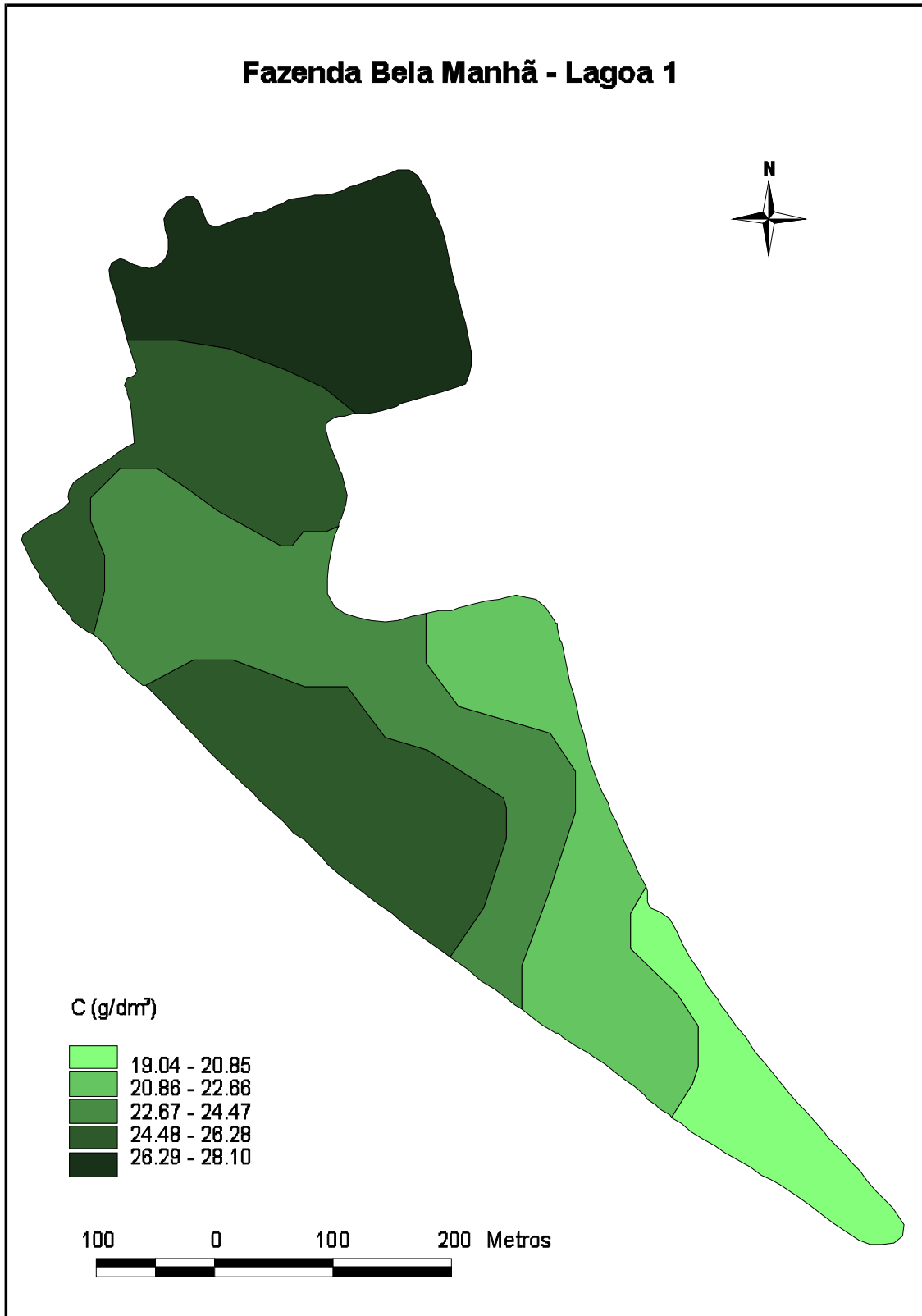
Anexo 7 - Mapeamento dos teores de K<sup>+</sup> no solo.



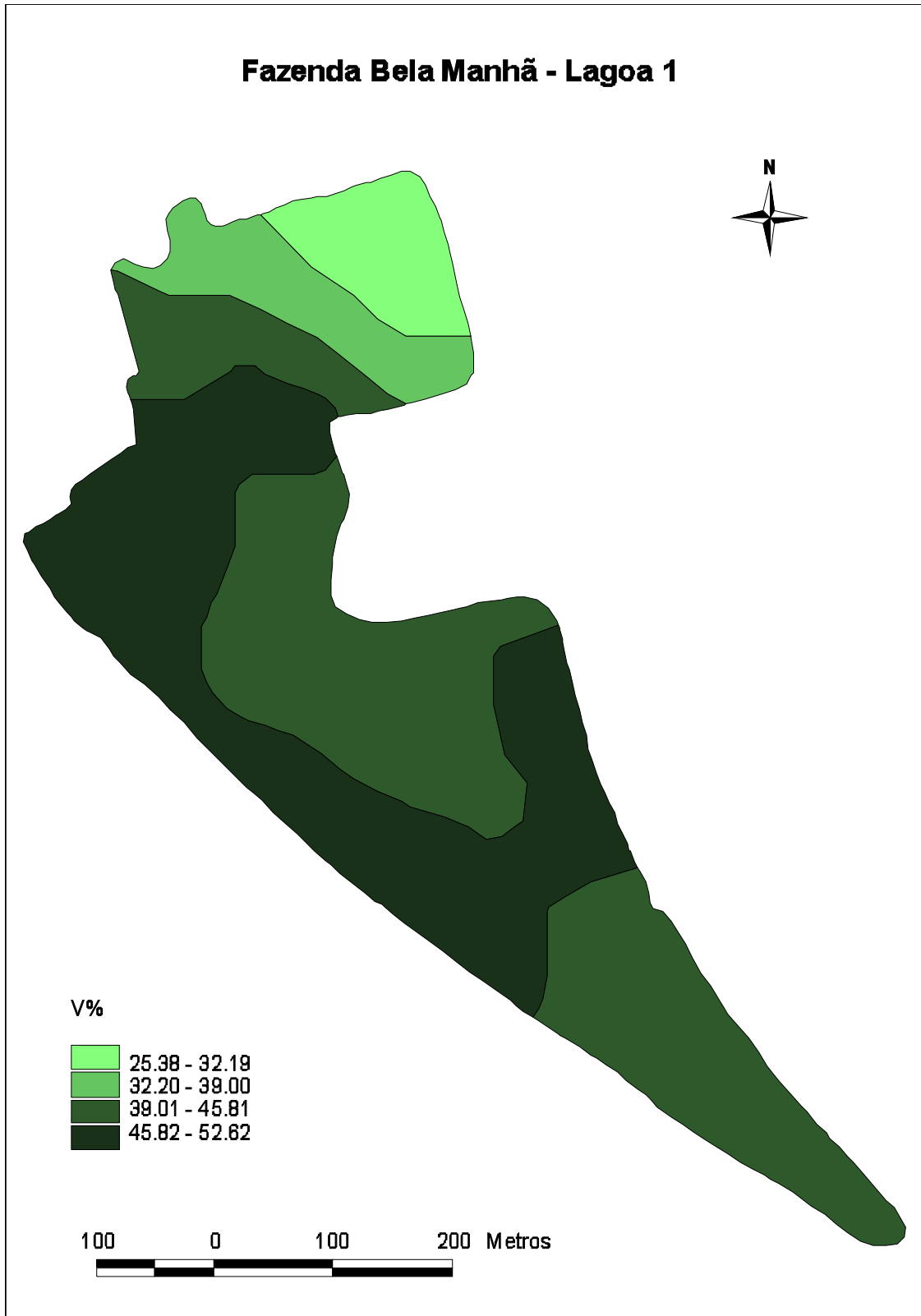
Anexo 8 - Mapeamento dos teores de P no solo.



Anexo 9 - Mapeamento dos valores de T no solo.



Anexo 10 - Mapeamento dos teores de C no solo.

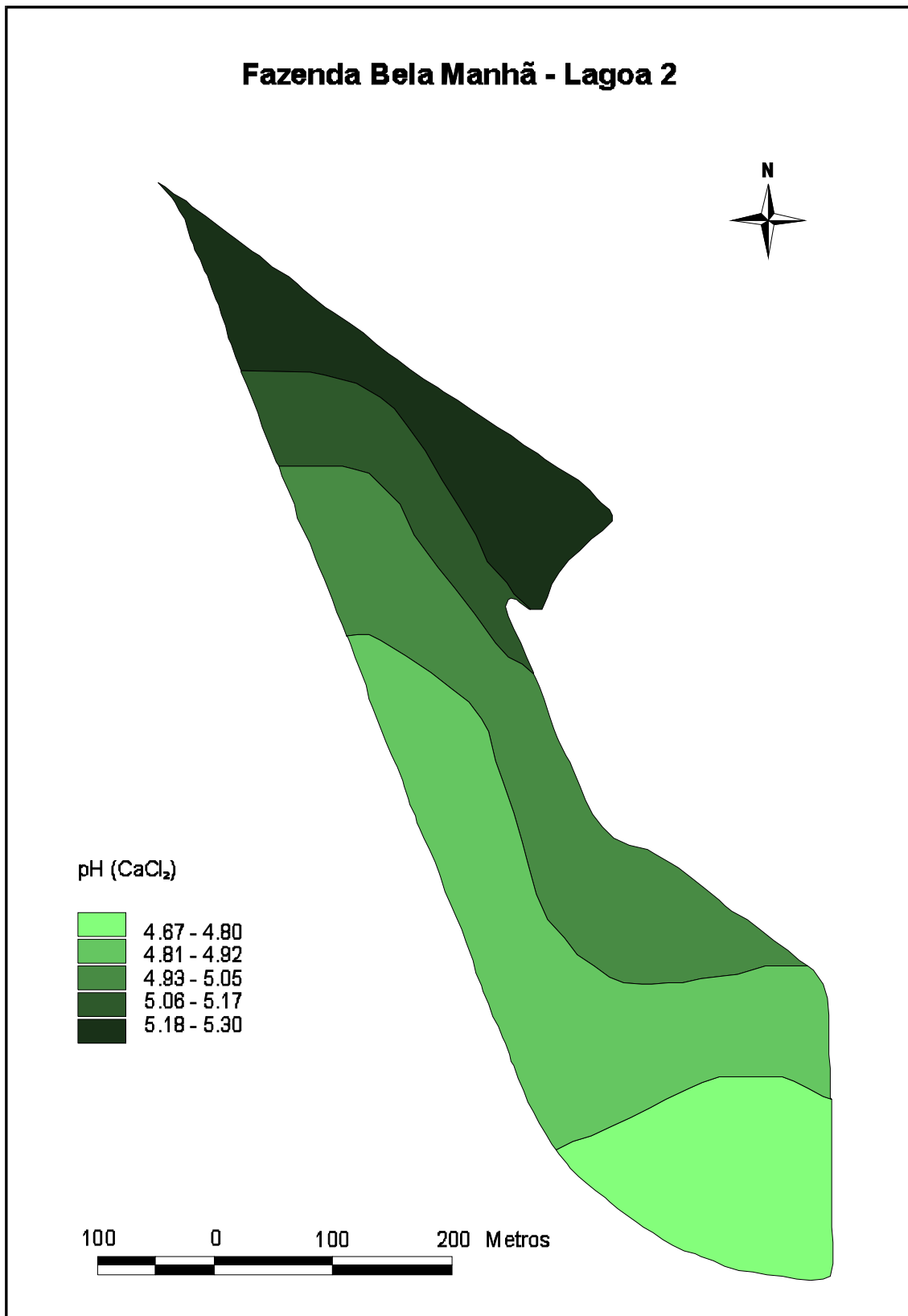


Anexo 11 - Mapeamento dos valores de V% no solo.

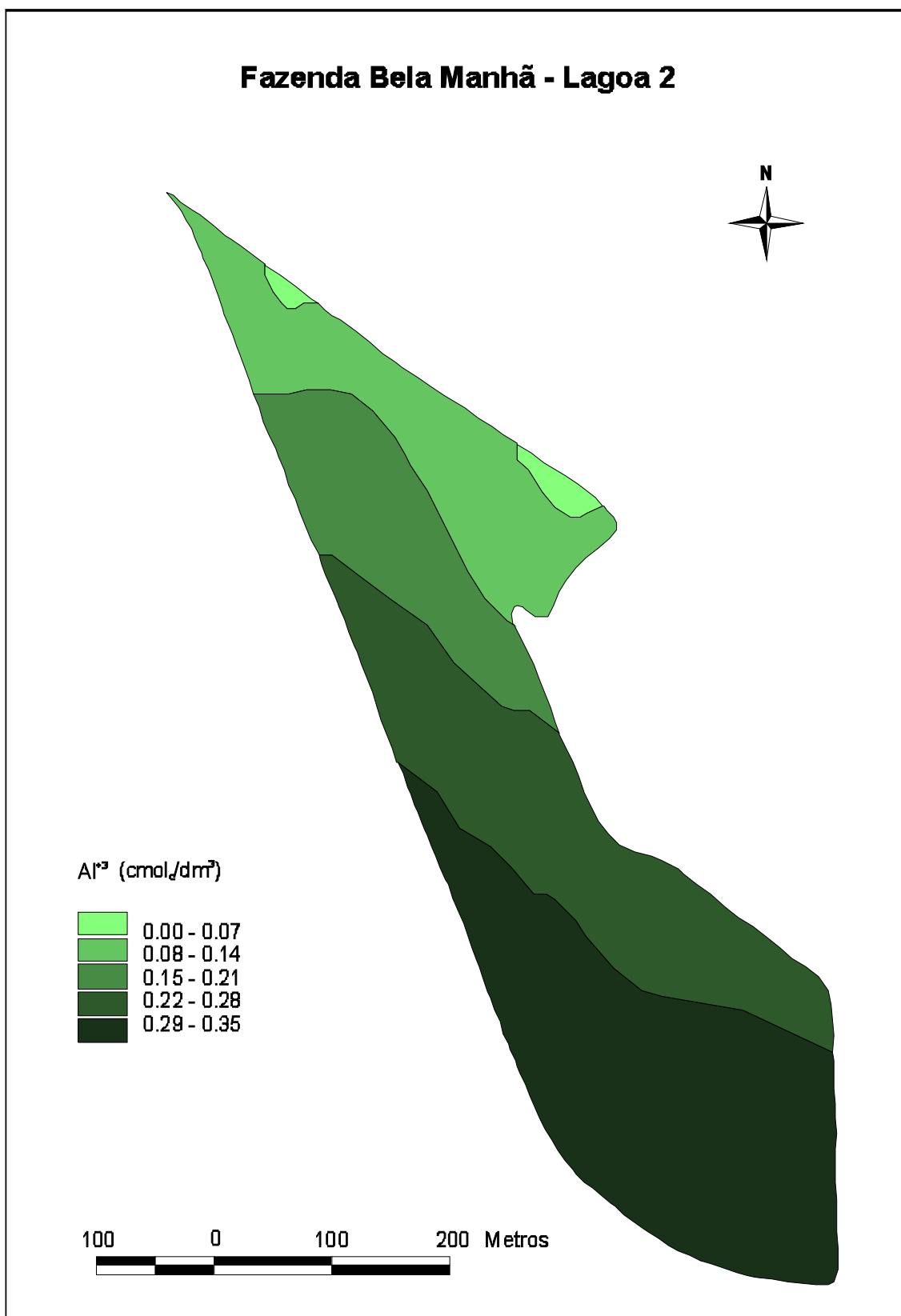


## ANEXO 12 – Análise Física do Solo Lagoa 2.

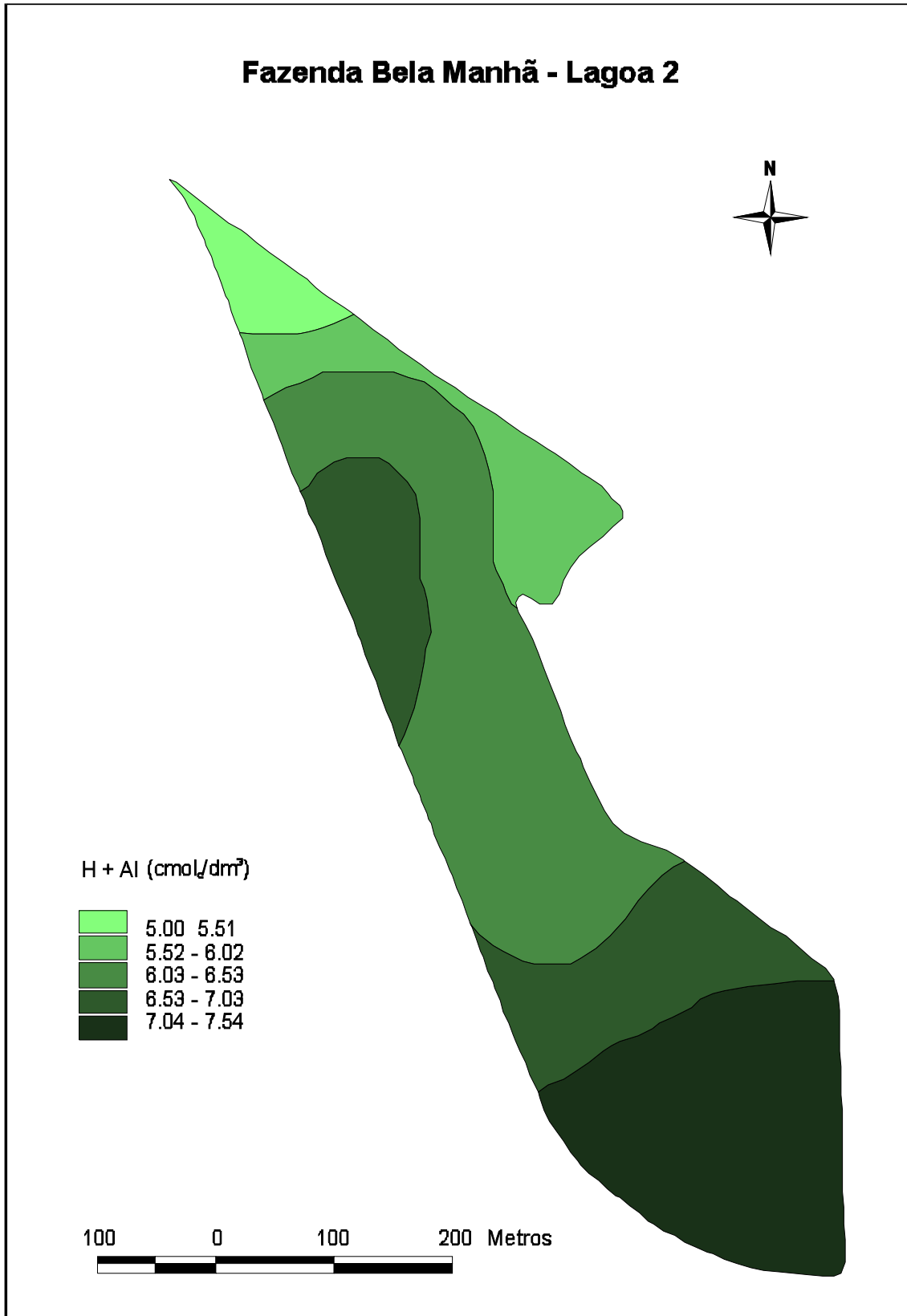
Amostra	% A. Fina	% A. Grossa	% Areia	% Silte	% Argila
LAG.2-P.1	4	4	8	40	52
LAG.2-P.2	2	6	8	56	36
LAG.2-P.3	4	4	8	68	24
LAG.2-P.4	4	4	8	54	38
LAG.2-P.5	2	6	8	44	48
LAG.2-P.6	4	6	10	42	48
LAG.2-P.7	6	6	12	36	52
LAG.2-P.8	4	8	12	32	56
LAG.2-P.9	6	8	14	36	50
LAG.2-P.10	4	12	16	40	44
LAG.2-P.11	8	10	18	30	52
LAG.2-P.12	10	12	22	26	52
LAG.2-P.13	8	20	28	28	44
LAG.2-P.14	4	8	12	38	50
LAG.2-P.15	8	8	16	38	46



Anexo 13 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl<sub>2</sub>) no solo.



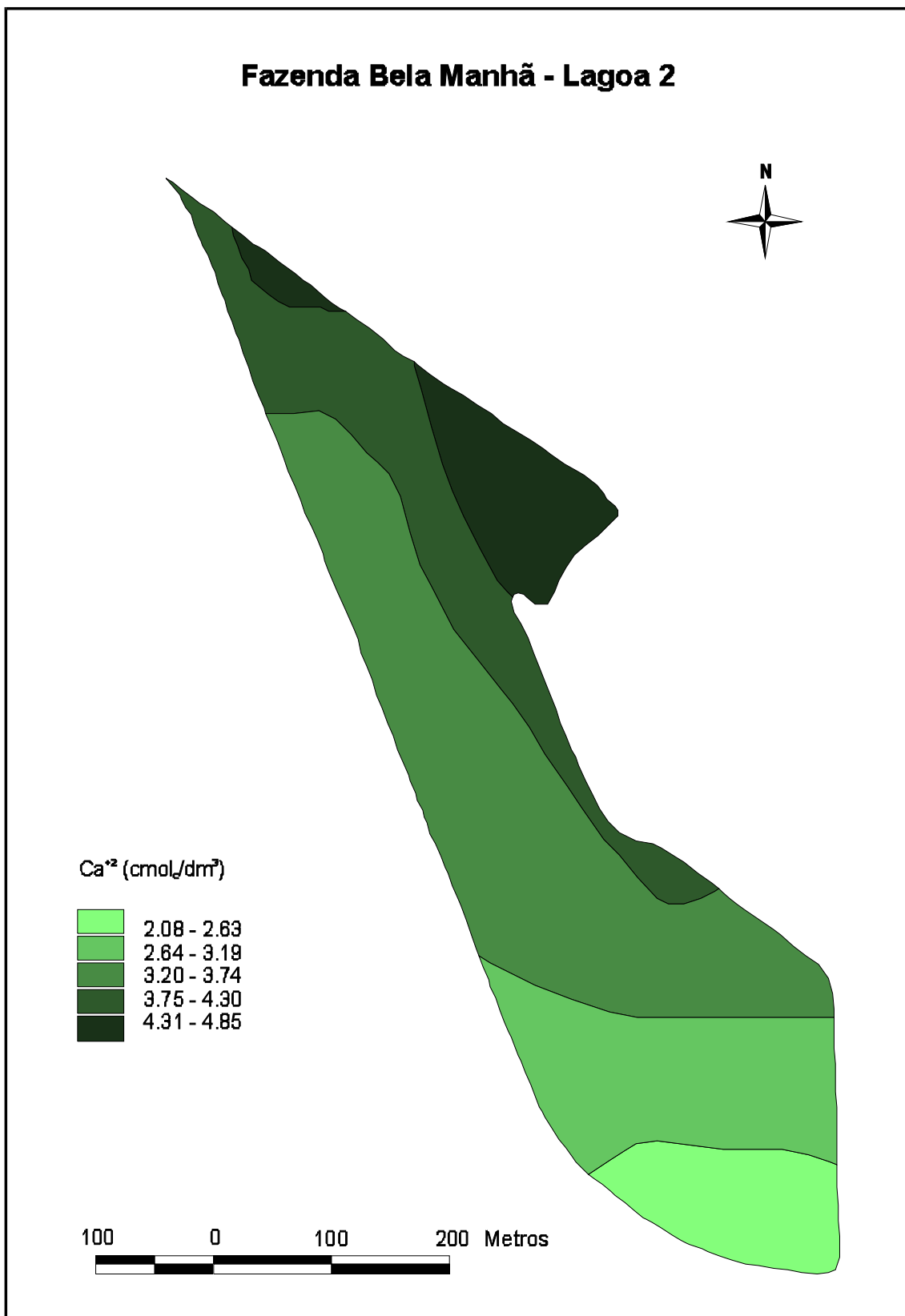
Anexo 14 - Mapeamento dos teores de  $Al^{3+}$  no solo.



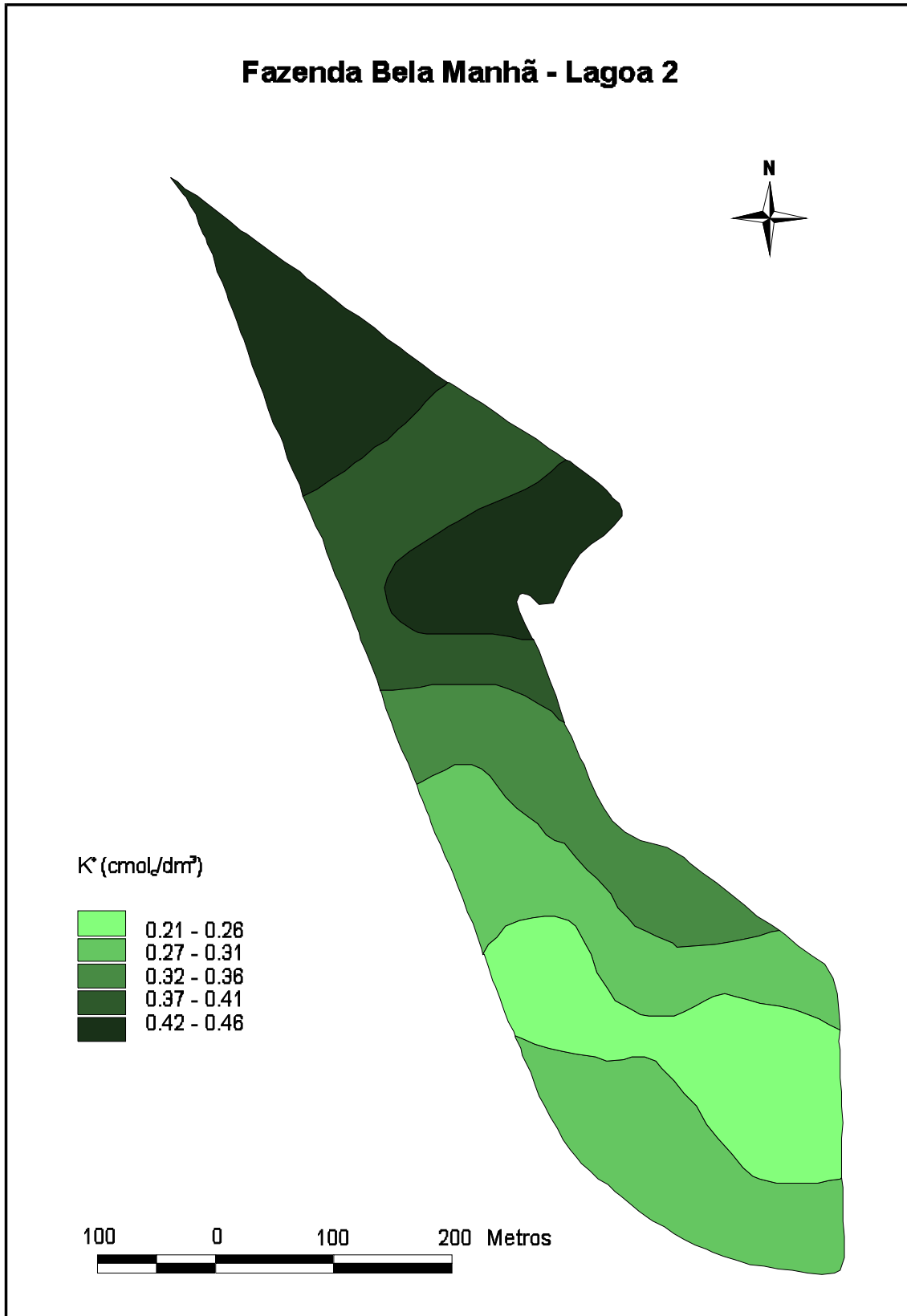
Anexo 15 - Mapeamento os teores de H+Al no solo.



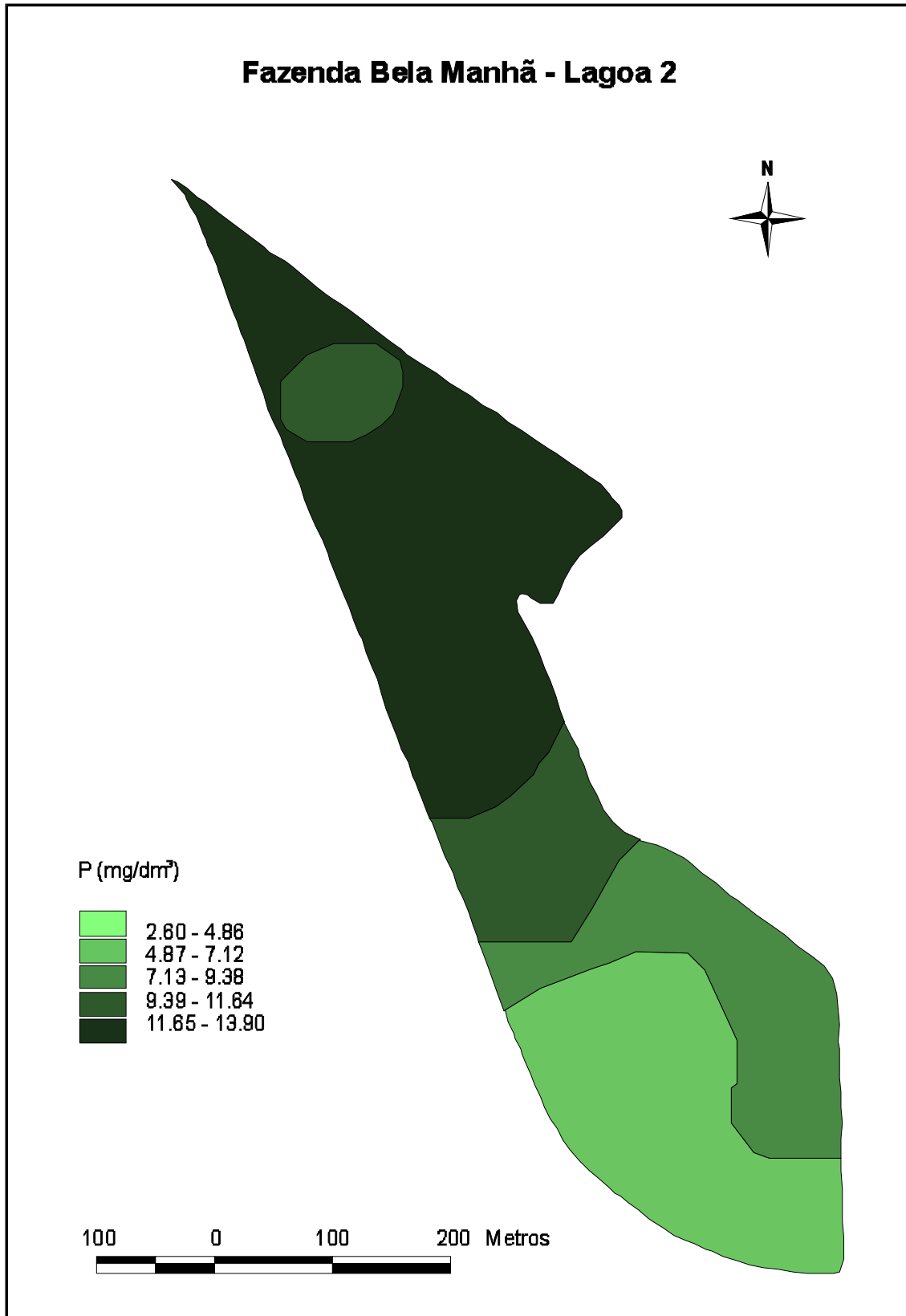
Anexo 16 - Mapeamento dos teores de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  no solo.



Anexo 17 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup> no solo.

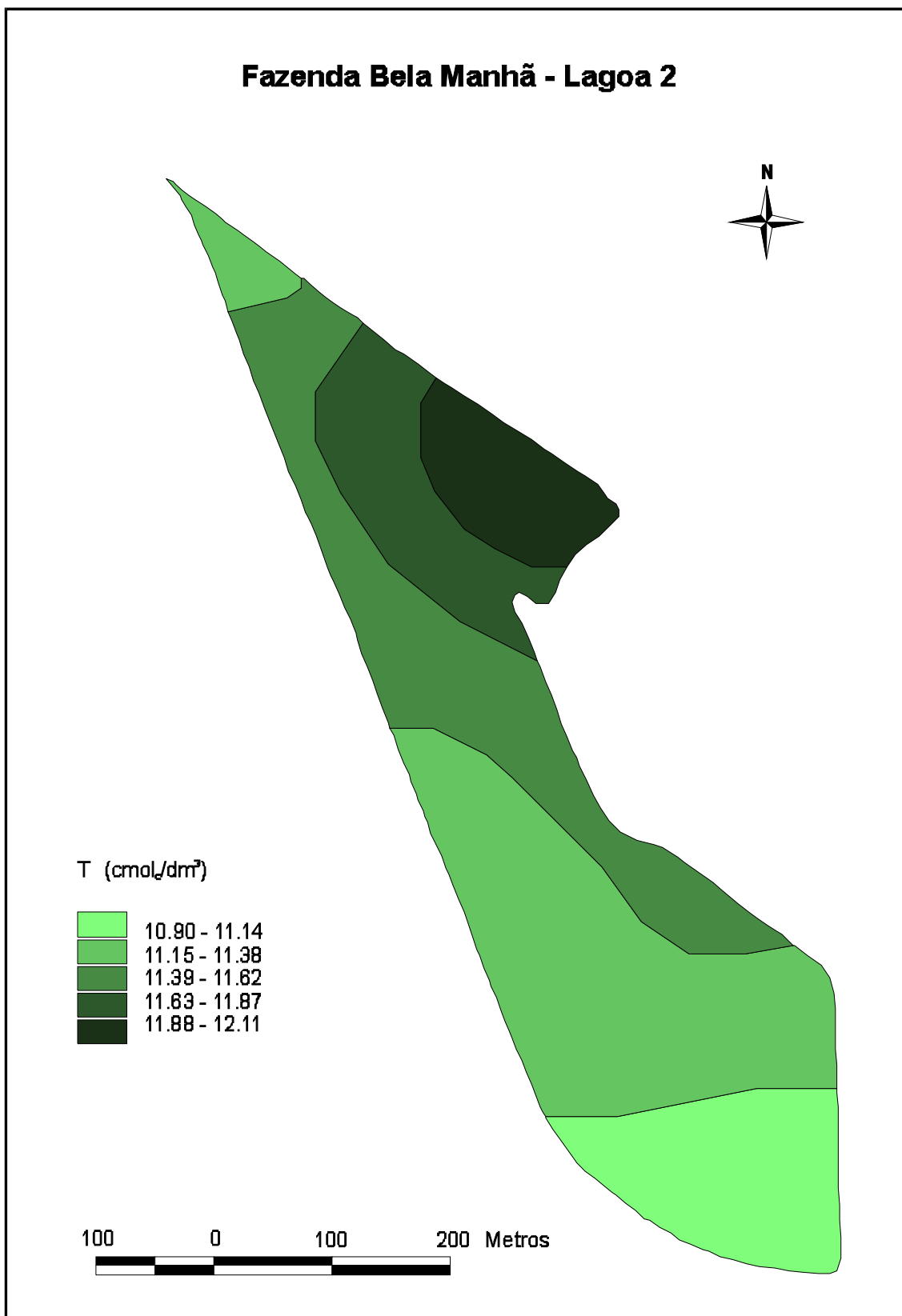


Anexo 18 - Mapeamento dos teores de K<sup>+</sup> no solo.

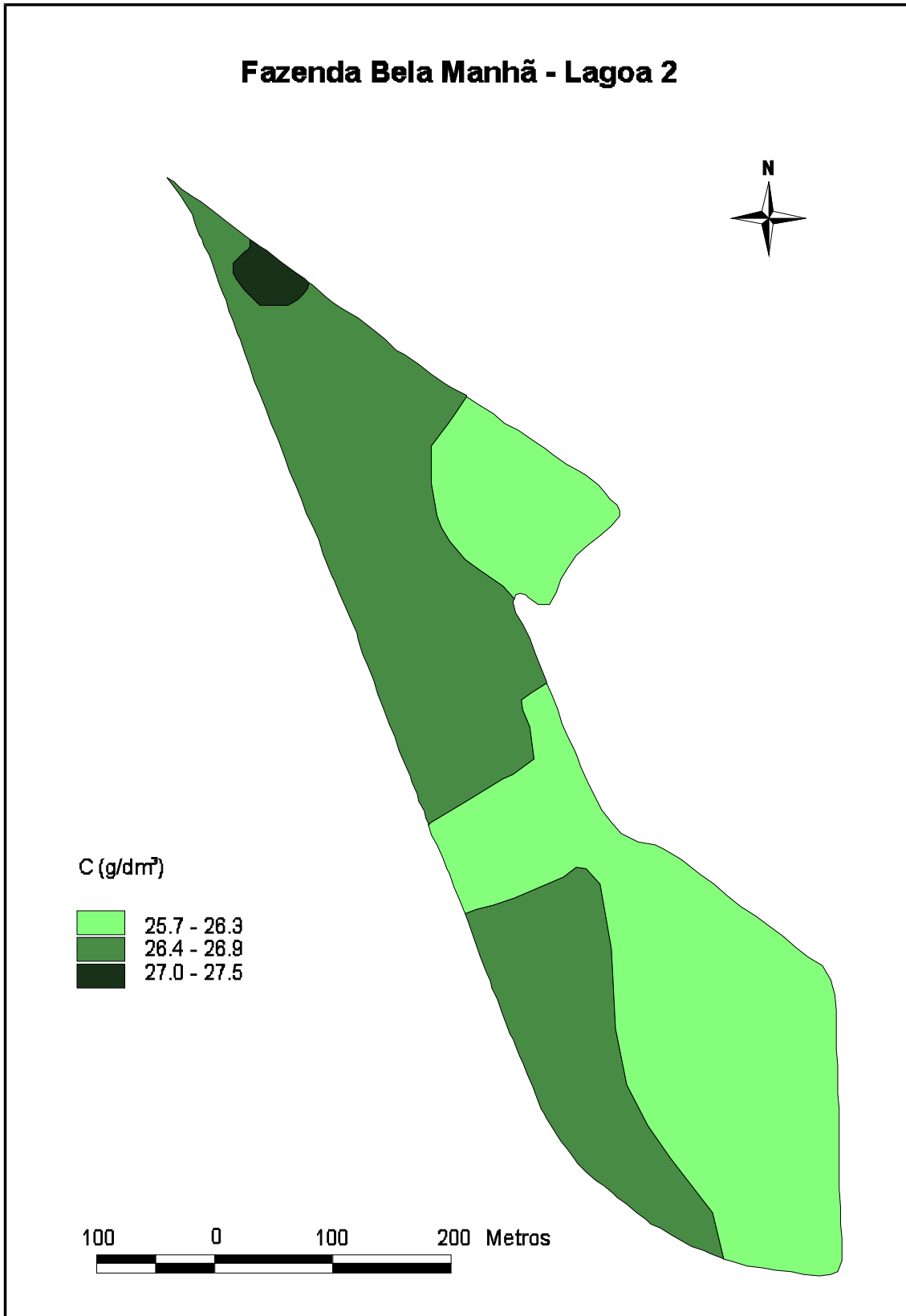


Anexo 19 - Mapeamento dos teores de P no solo.

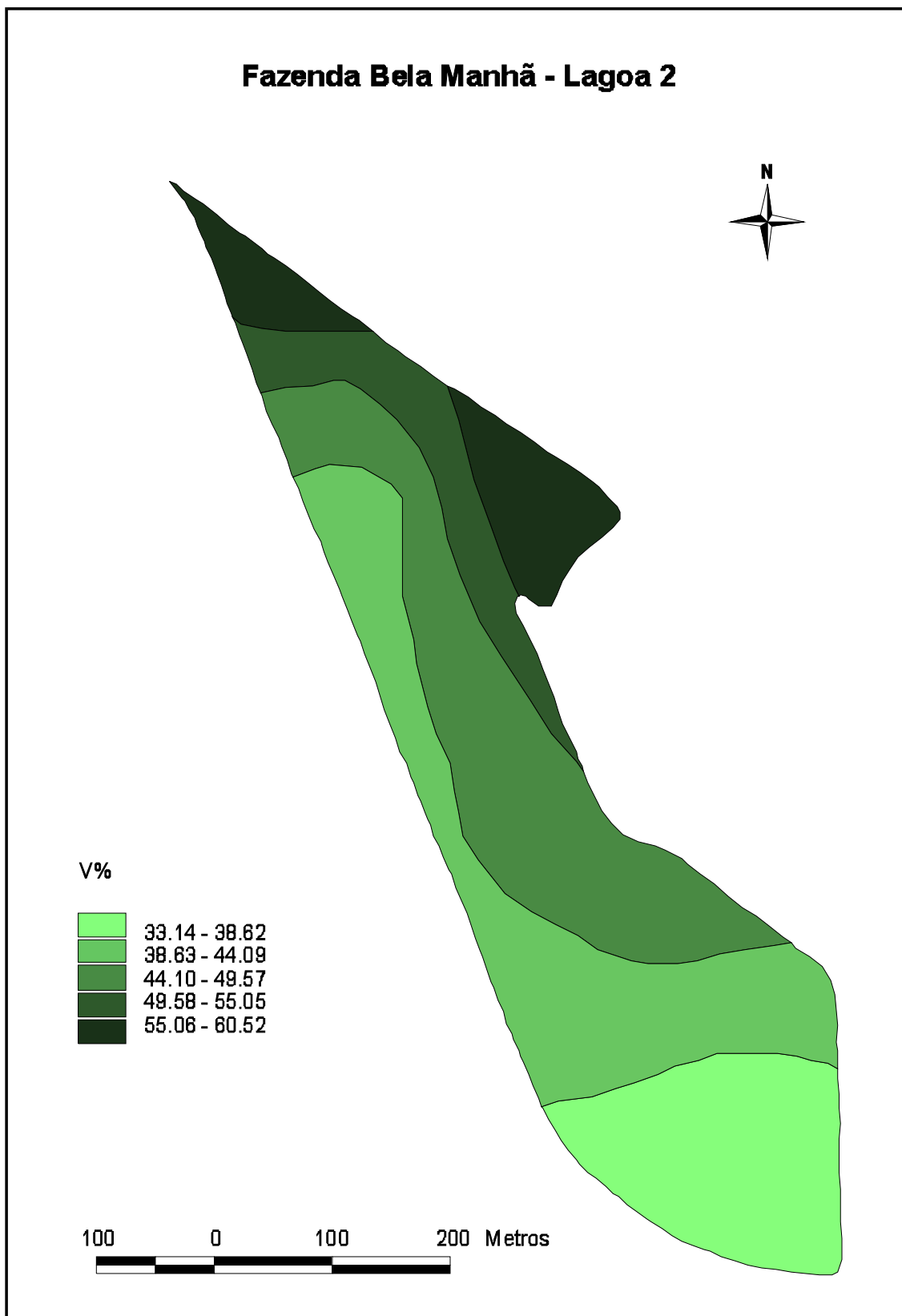




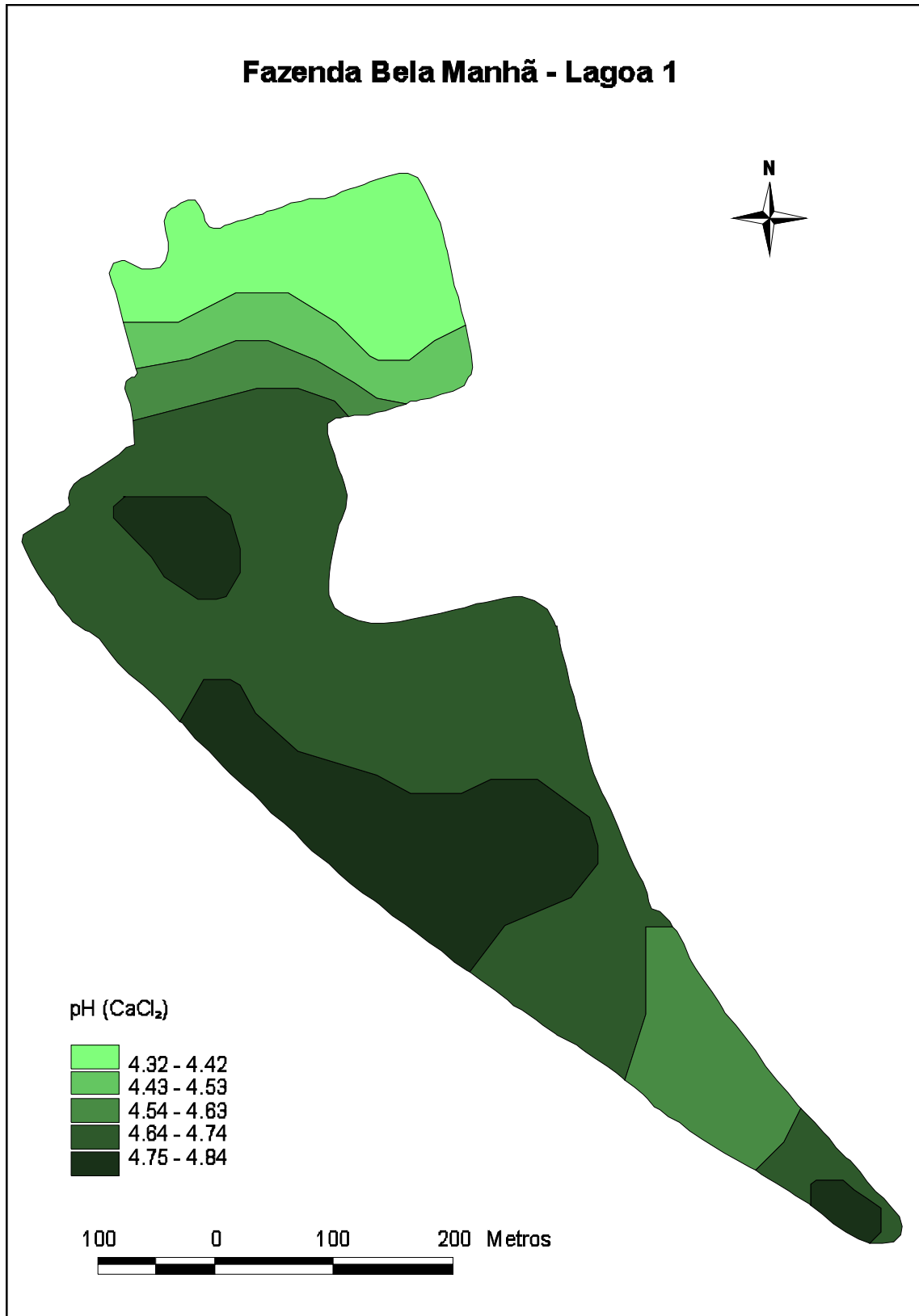
Anexo 20 - Mapeamento dos valores de T no solo.



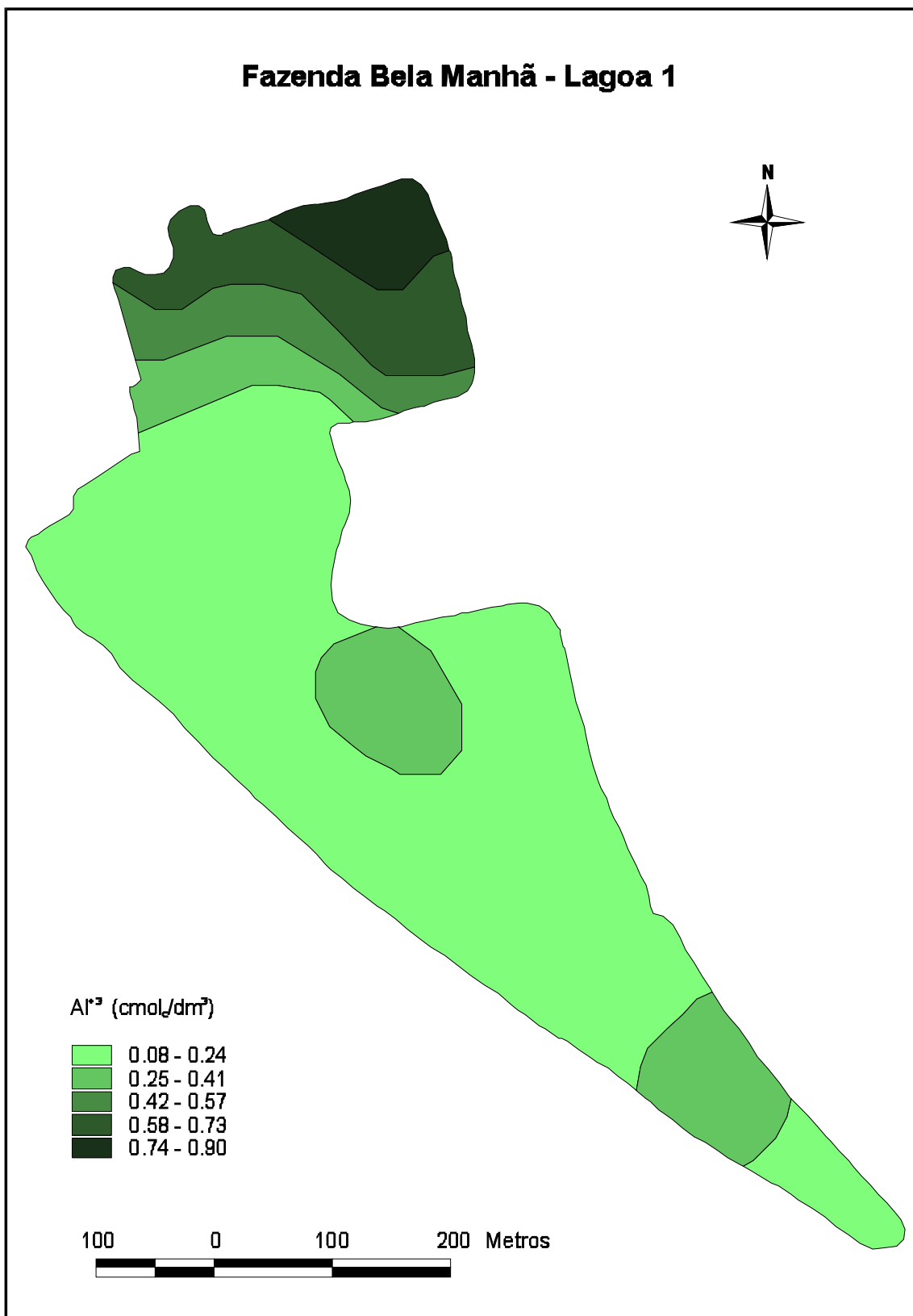
Anexo 21 - Mapeamento dos teores de C no solo.



Anexo 22 - Mapeamento dos valores de V% no solo.

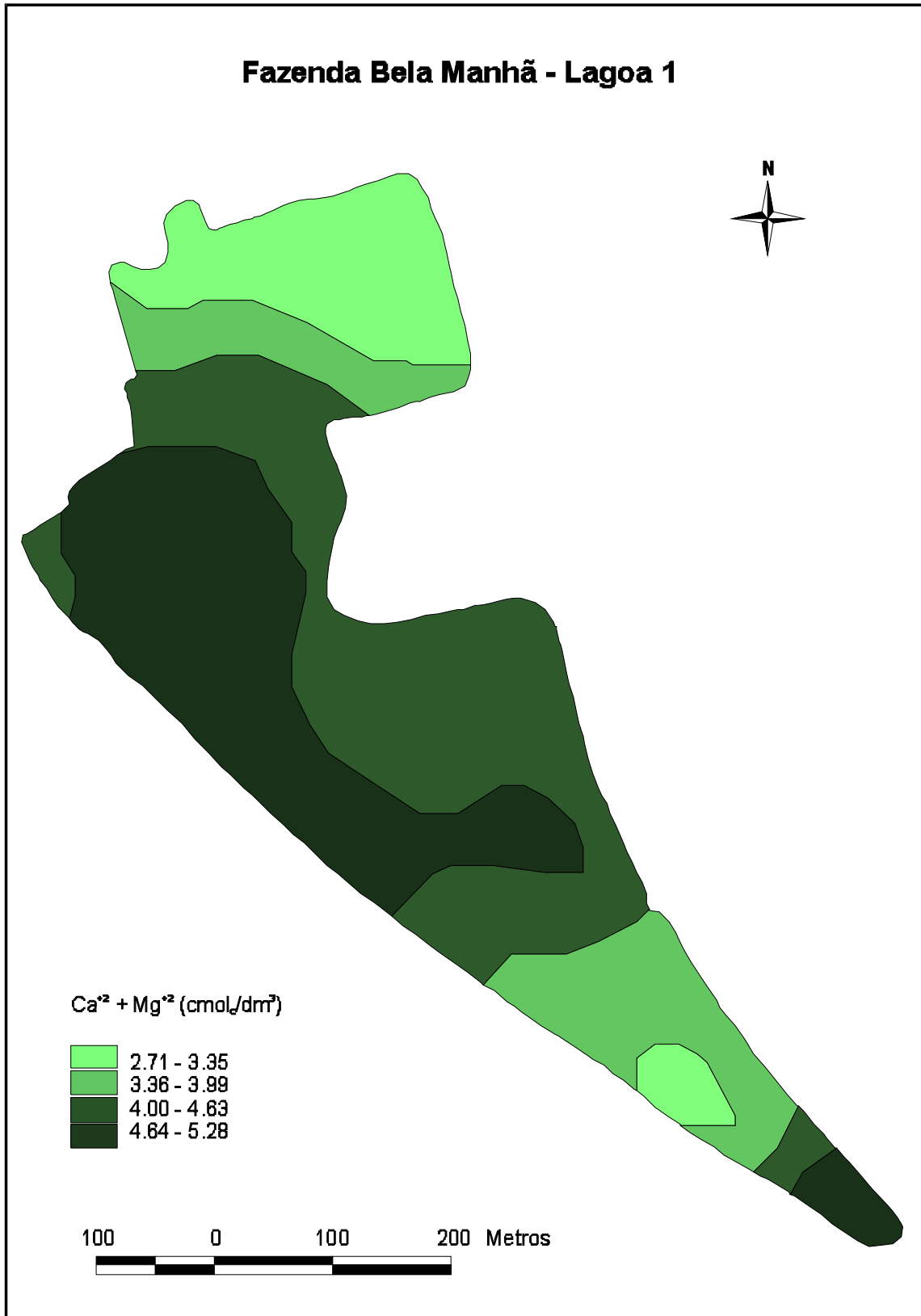


Anexo 23 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl<sub>2</sub>) no solo.

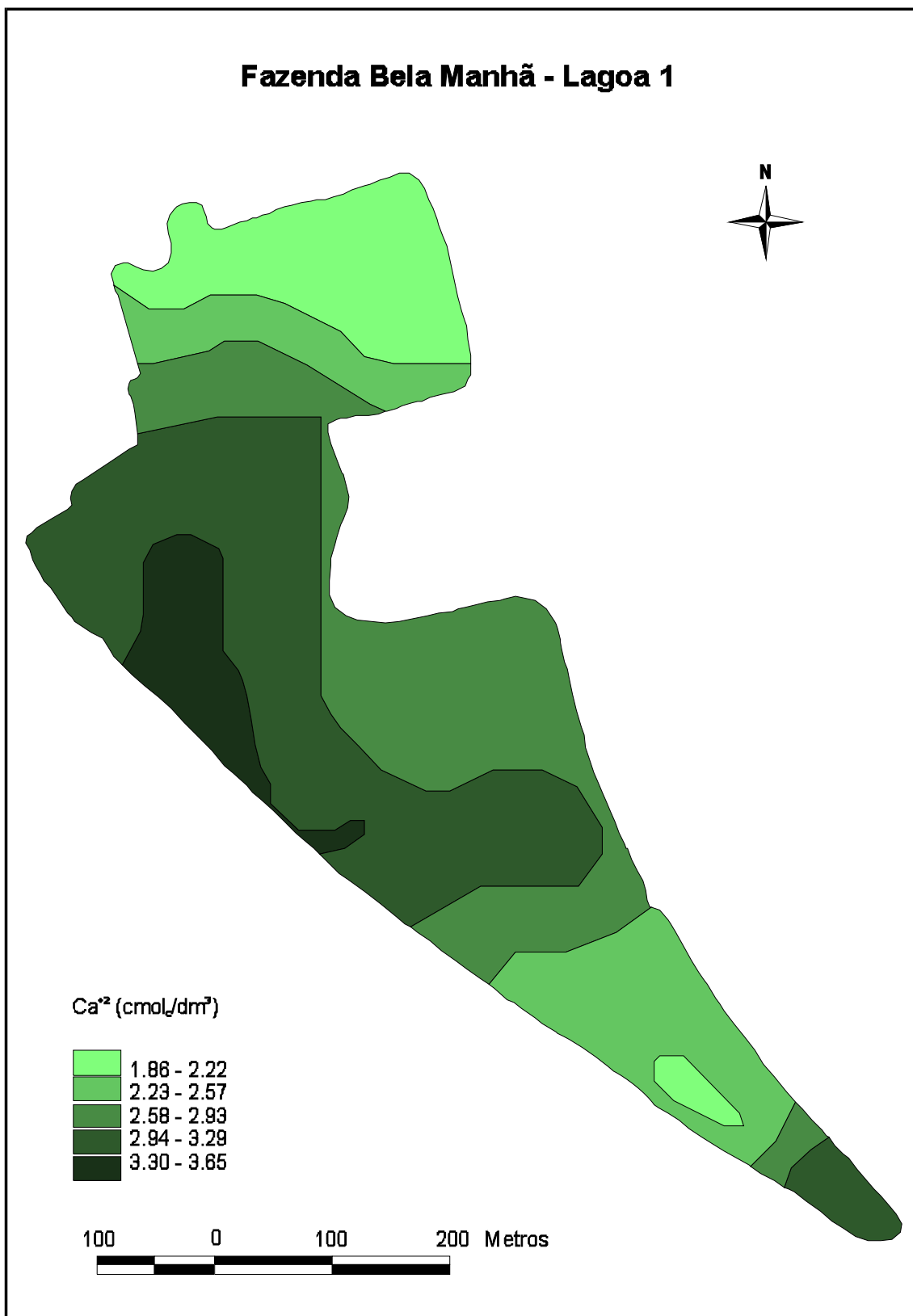
Anexo 24 - Mapeamento dos teores de Al<sup>3+</sup> no solo.



Anexo 25 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo.



Anexo 26 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> no solo.



Anexo 27 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup> no solo.

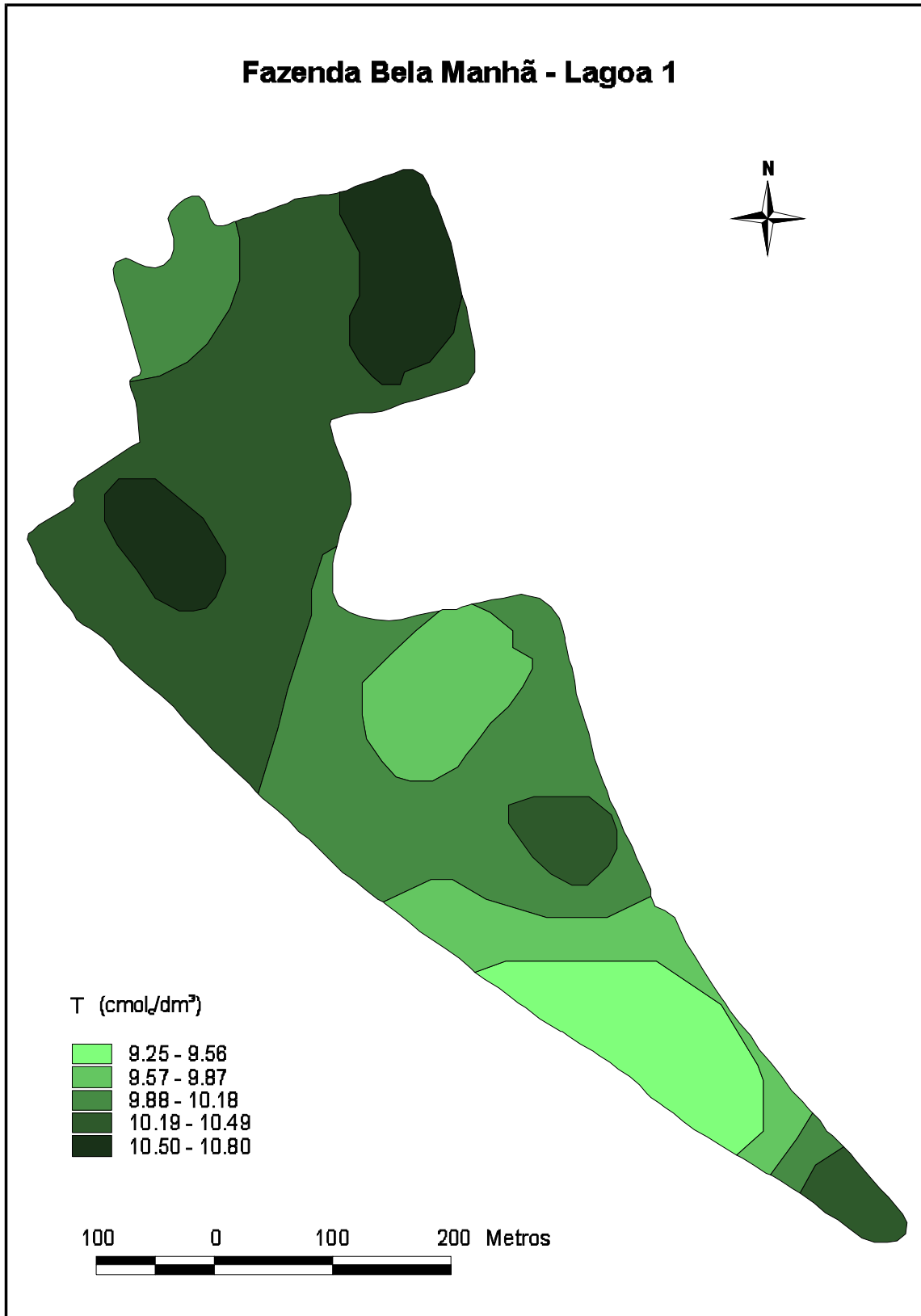




Anexo 28 - Mapeamento dos teores de K<sup>+</sup> no solo.



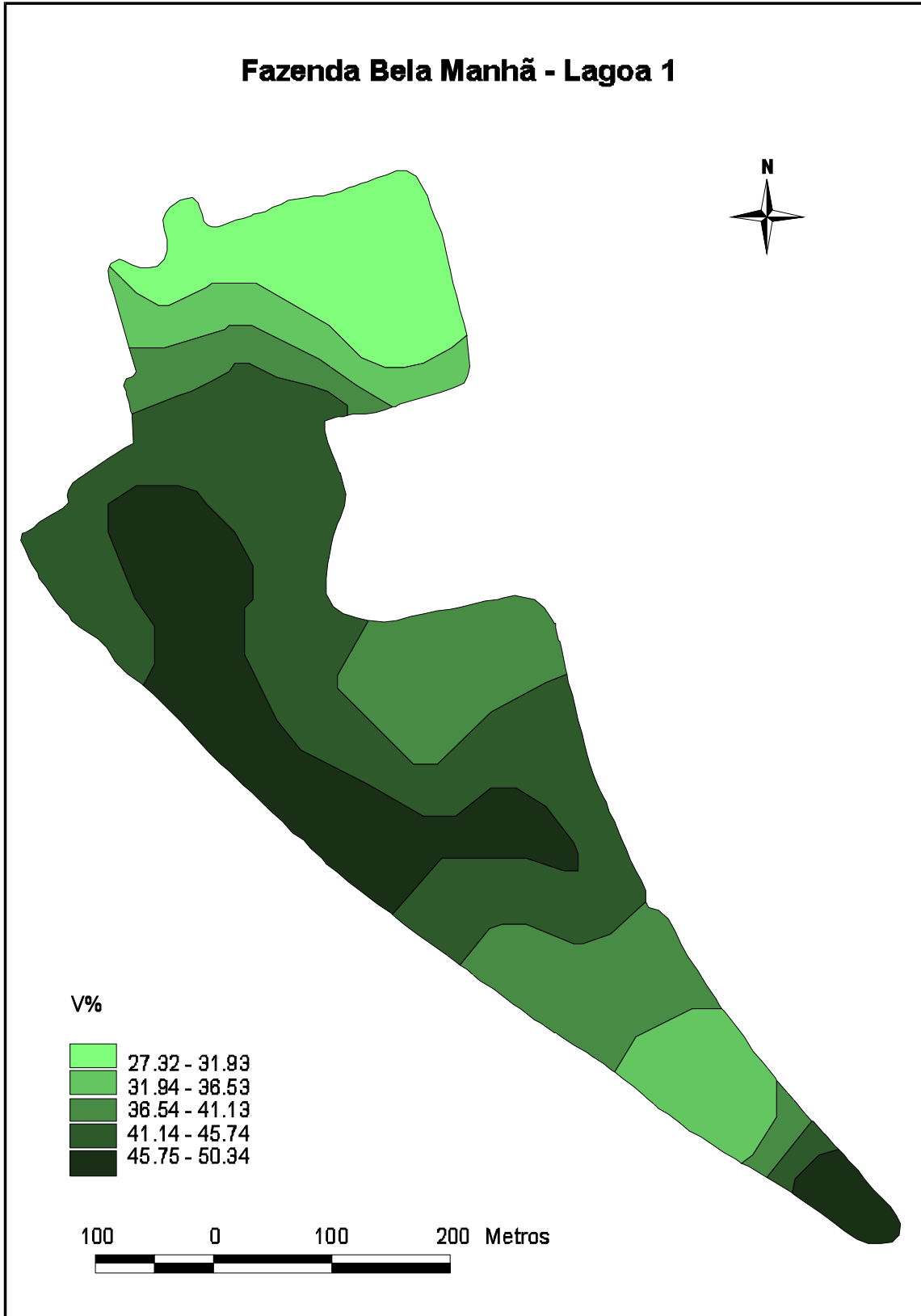
Anexo 29 - Mapeamento dos teores de P no solo.



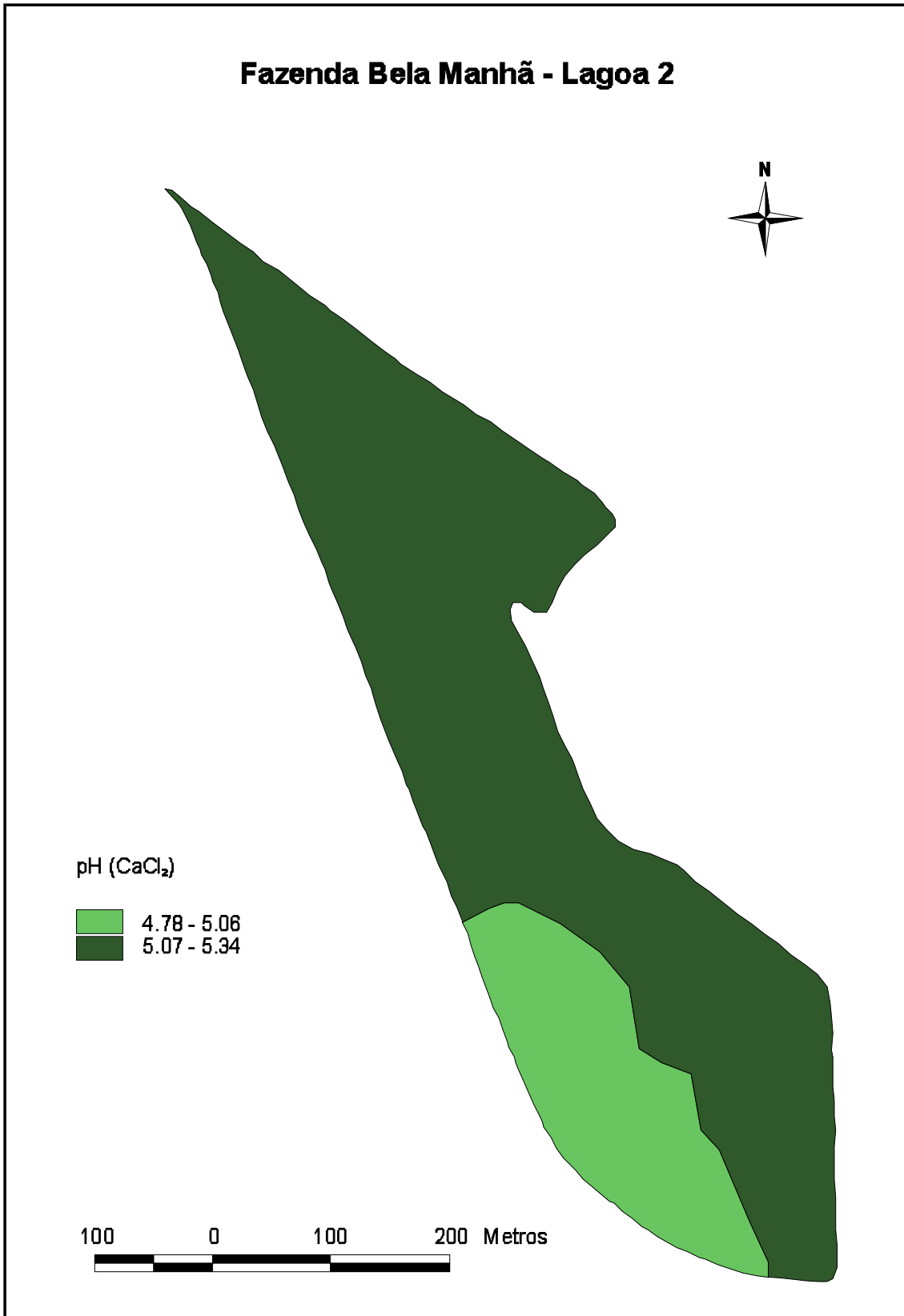
Anexo 30 - Mapeamento dos valores de T no solo.



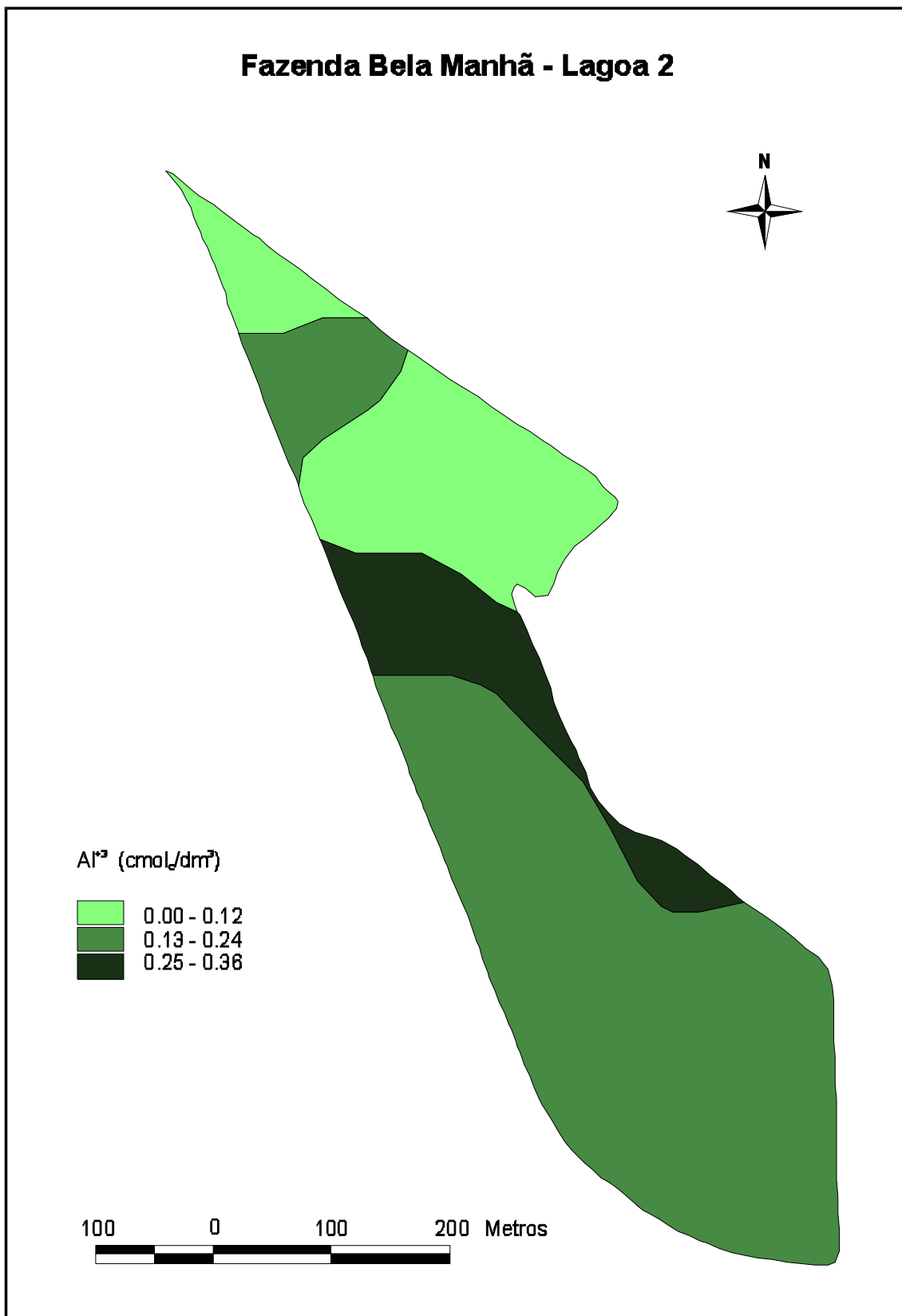
Anexo 31 - Mapeamento dos teores de C no solo.



Anexo 32 - Mapeamento dos valores de V% no solo.



Anexo 33 - Mapeamento dos valores de pH (CaCl<sub>2</sub>) no solo.

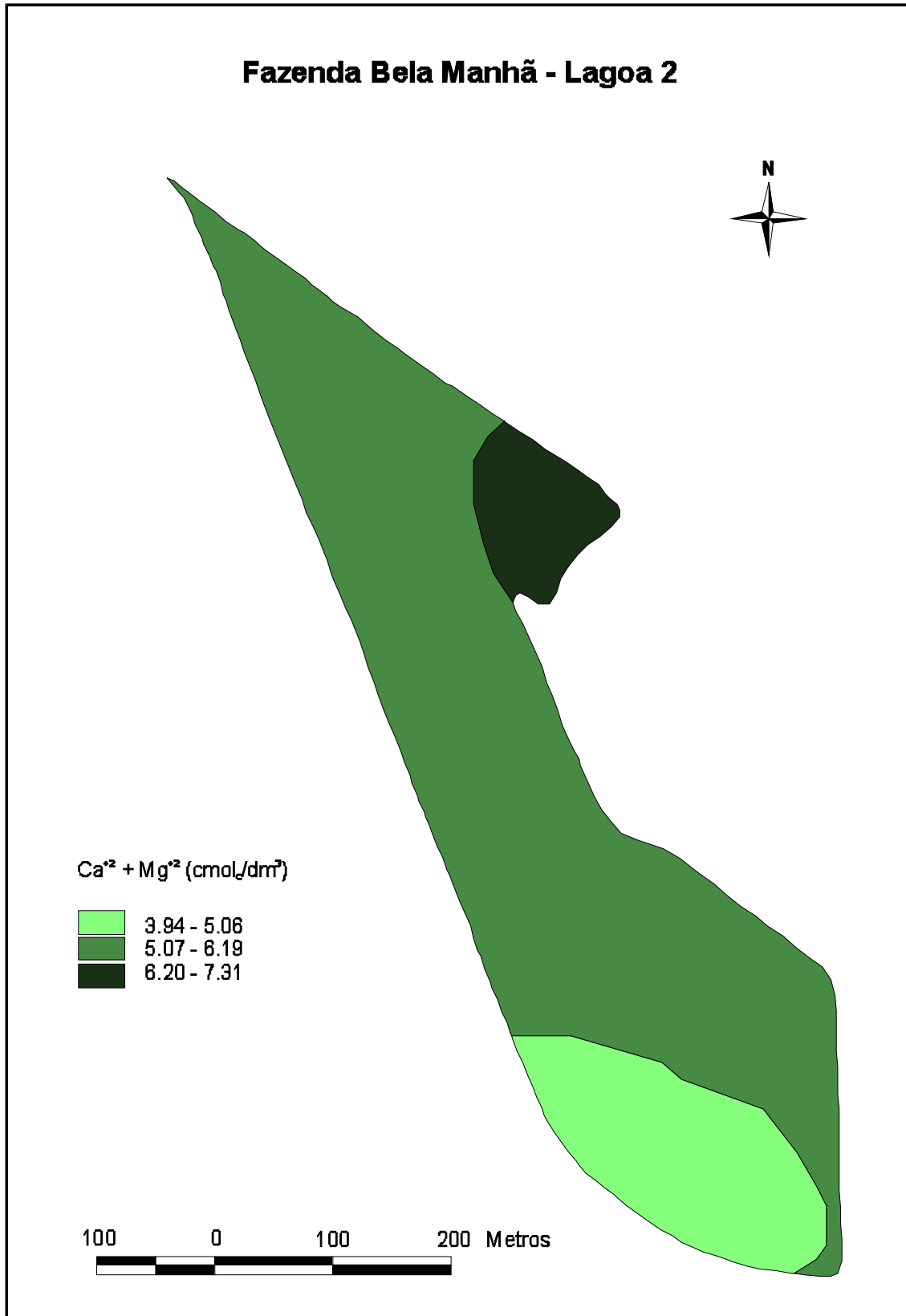


Anexo 34 - Mapeamento dos teores de Al<sup>3+</sup> no solo.

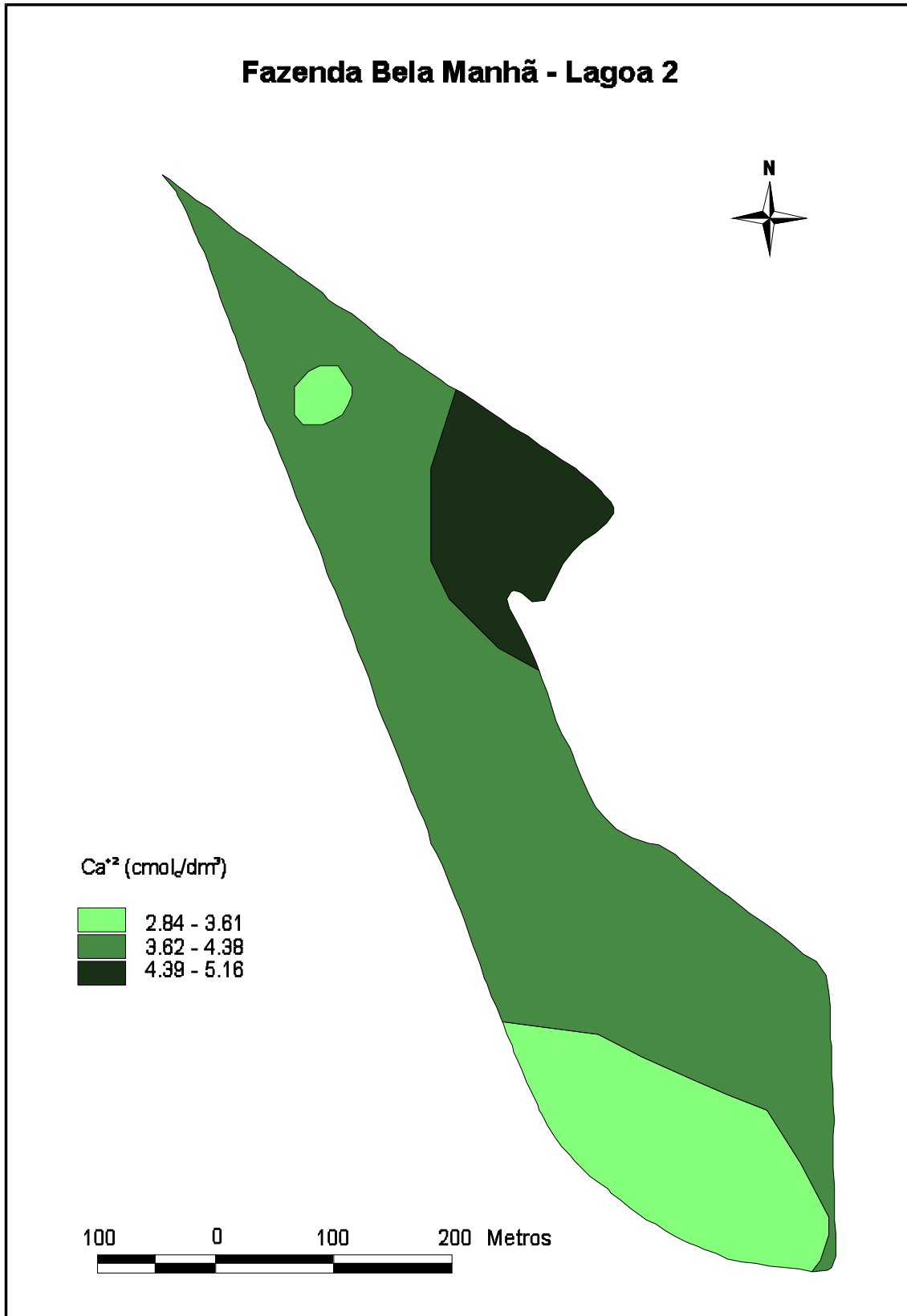


Anexo 35 - Mapeamento dos teores de H+Al no solo.

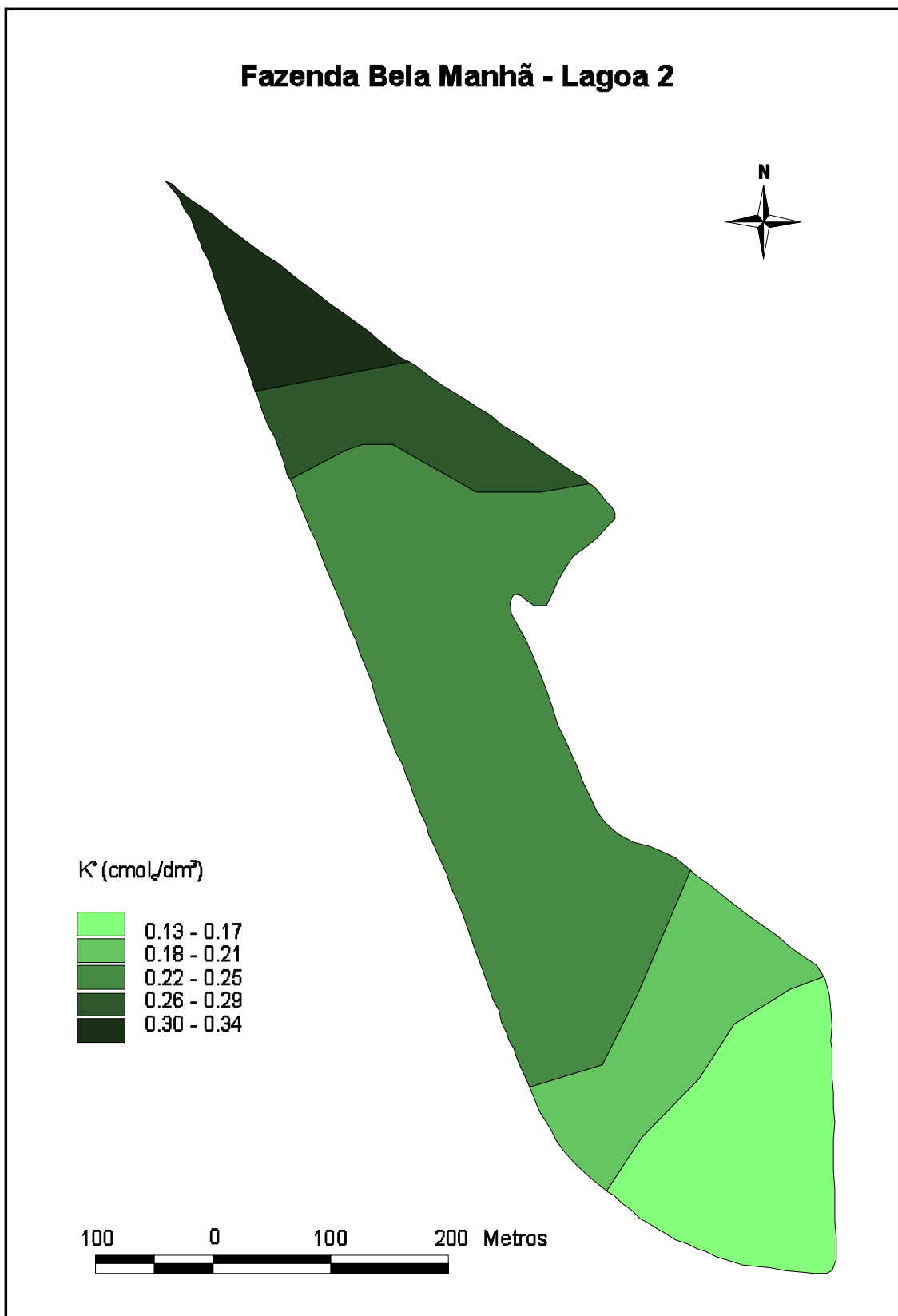




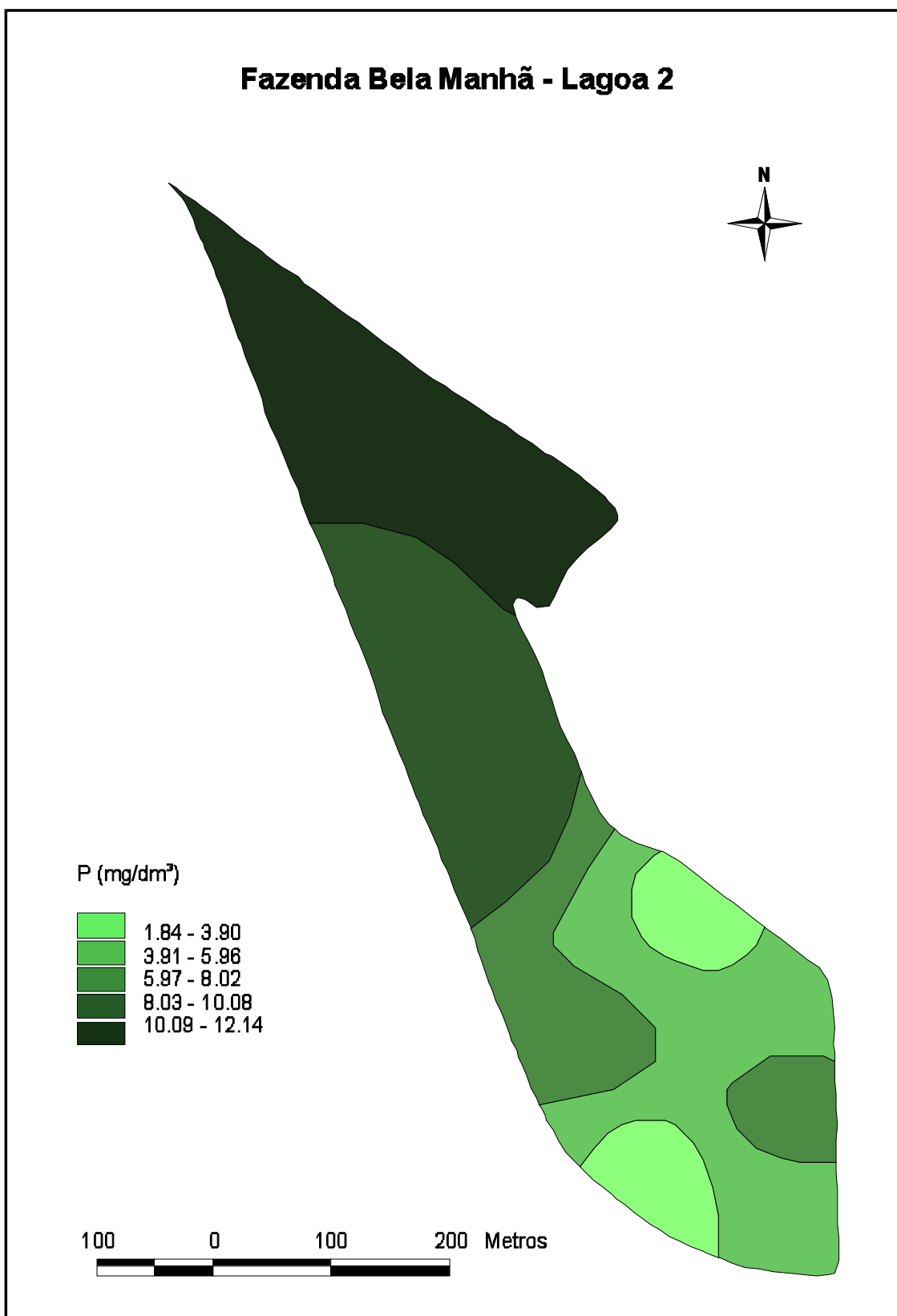
Anexo 36 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> no solo.



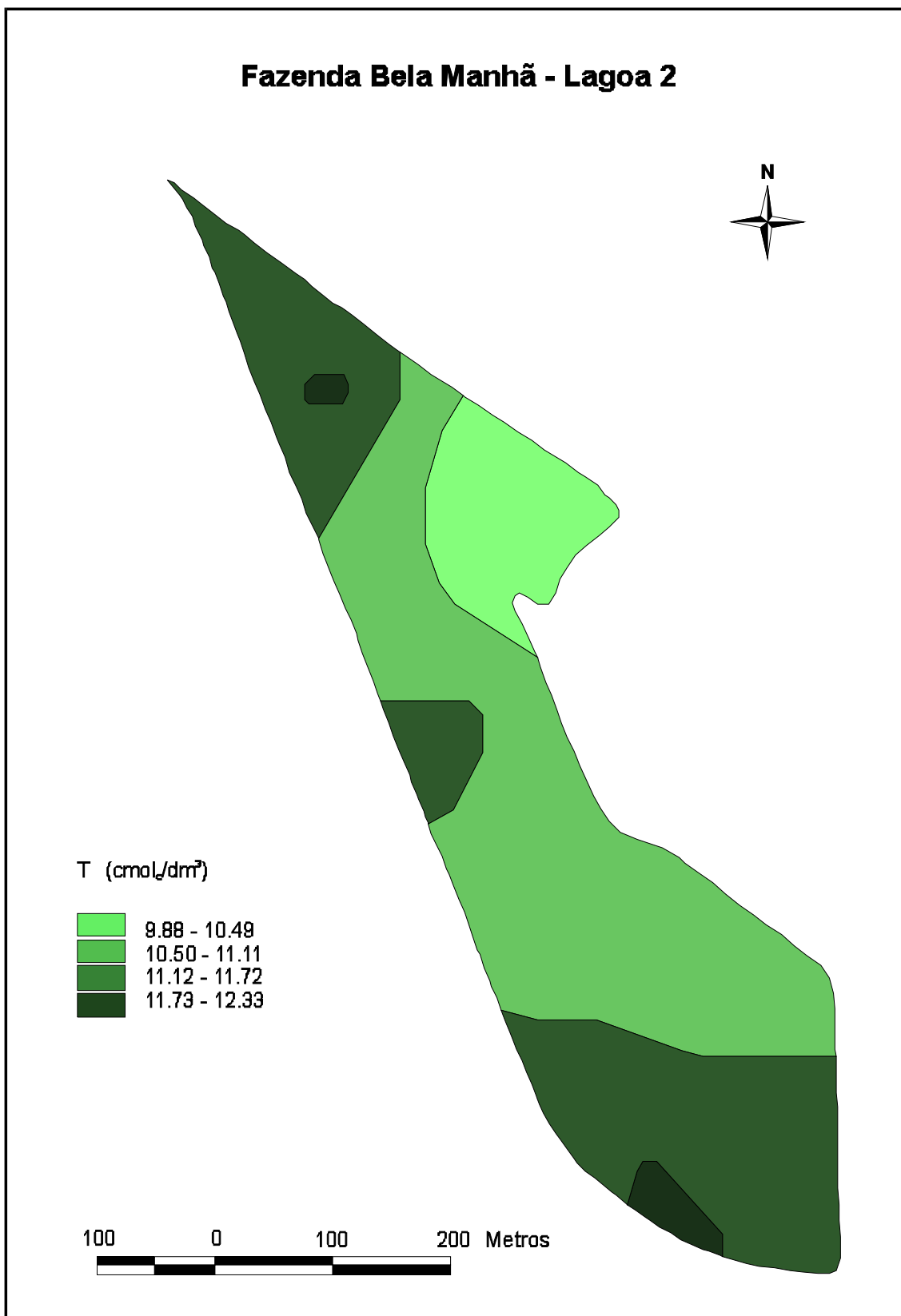
Anexo 37 - Mapeamento dos teores de Ca<sup>2+</sup> no solo.



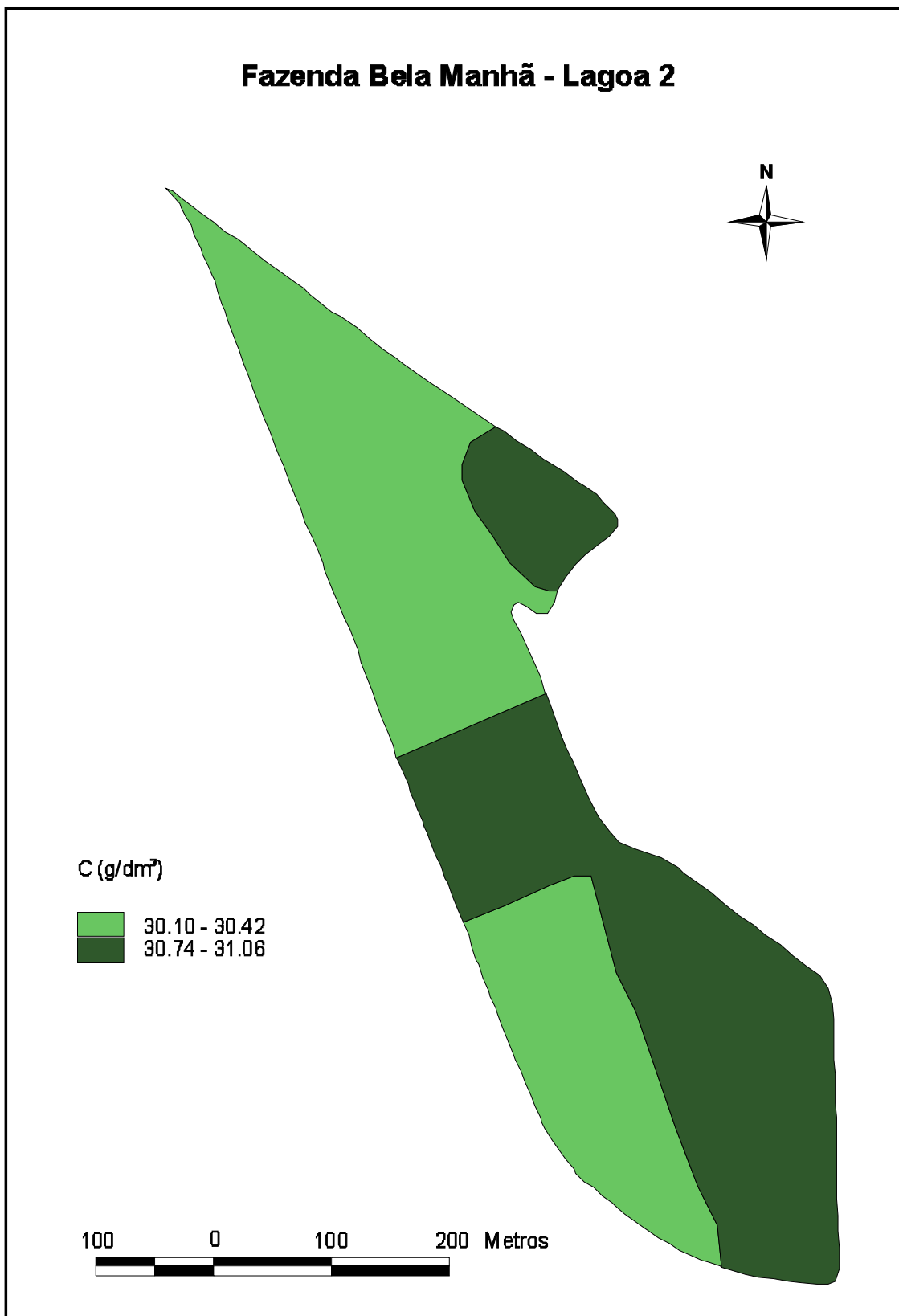
Anexo 38 - Mapeamento dos teores de K<sup>+</sup> no solo.



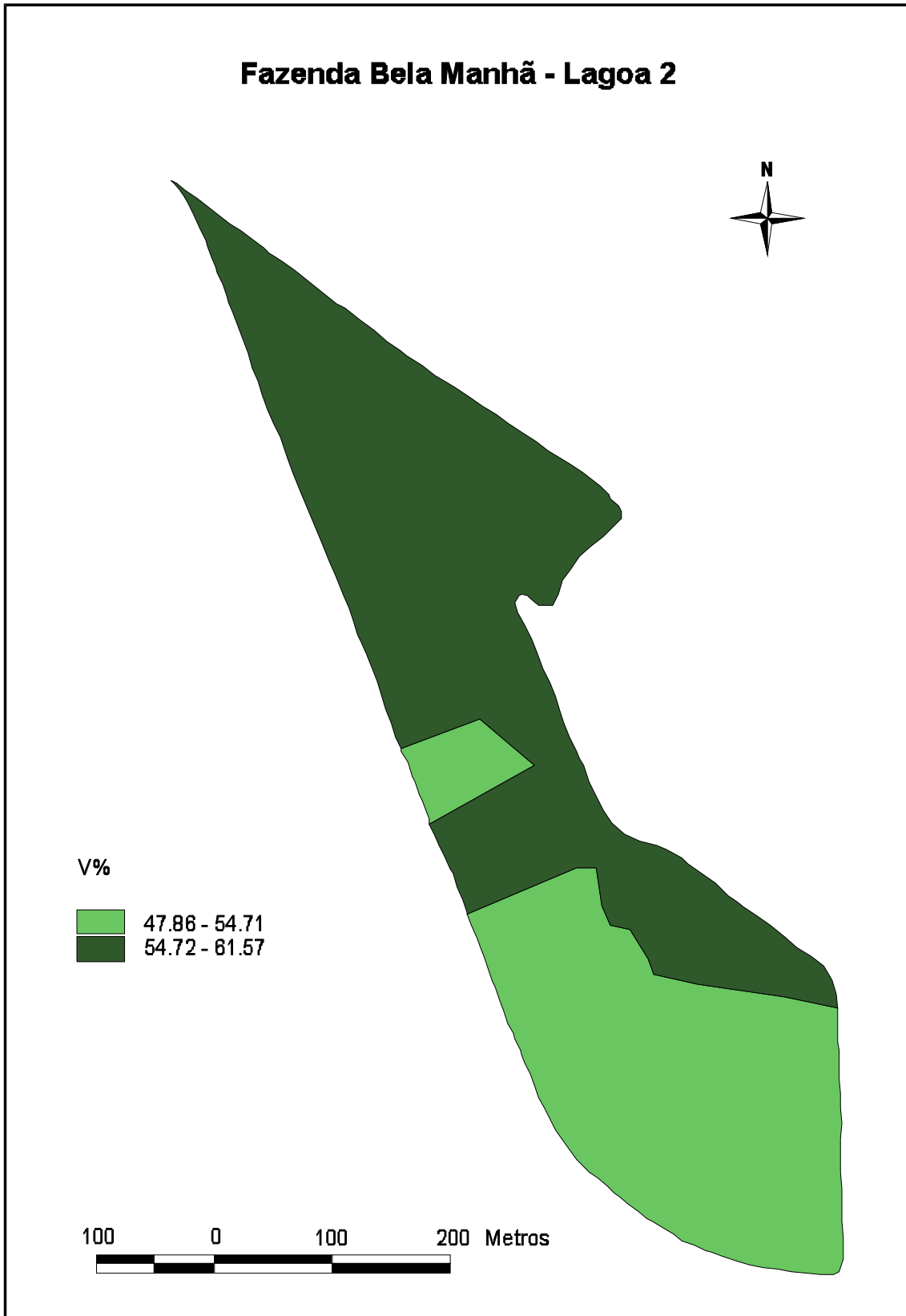
Anexo 39 - Mapeamento dos teores de P no solo.



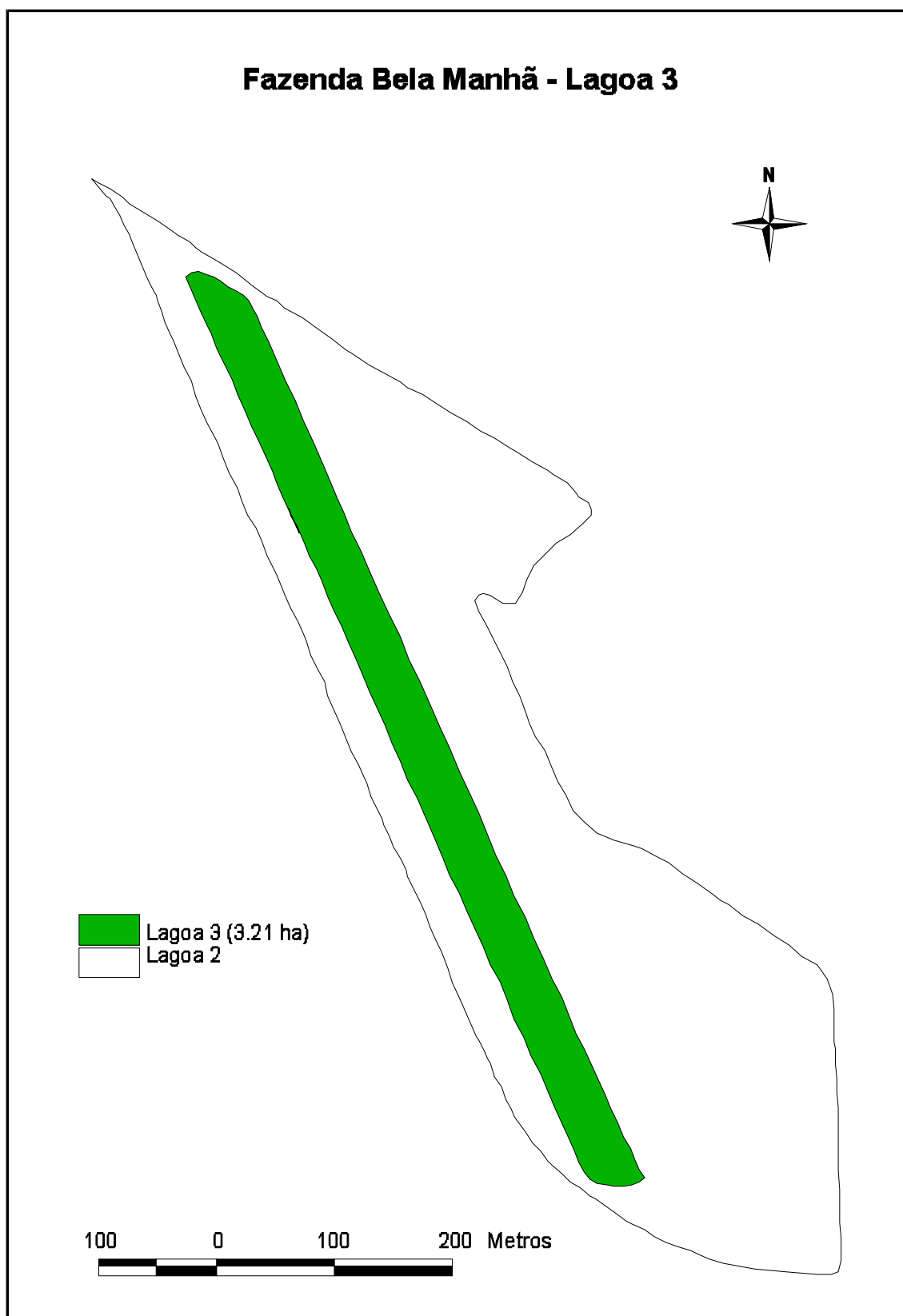
Anexo 40 - Mapeamento dos valores de T no solo.



Anexo 41 - Mapeamento dos teores de C no solo.



Anexo 42 - Mapeamento dos valores de V% no solo.



Anexo 43 - Lagoa 3



## ANEXO 44 – Produtividade da cultura da soja safra 2002/2003 (Lagoa 1).

ponto	Am	Nº pl	Nº vg	pu (g)	ps (g)	umd (g)	PSP (g)	prod. (5pls)	prod. (kg/ha)	prod corr. (kg/ha)
1	1	30	222	68,139	60,551	0,125	68,423	684,23	4105	3402,66
1	2	27	160	86,968	77,343	0,124	87,398	873,98	4719	3911,66
1	3	33	274	74,167	66,097	0,122	74,690	746,90	4930	4085,75
2	1	31	205	101,148	90,162	0,122	101,883	1018,83	6317	5235,54
2	2	34	232	73,992	65,971	0,122	74,547	745,47	5069	4201,54
2	3	26	211	71,690	63,920	0,122	72,230	722,30	3756	3113,05
3	1	34	205	61,766	55,119	0,121	62,284	622,84	4235	3510,40
3	2	29	140	87,320	77,906	0,121	88,034	880,34	5106	4232,00
3	3	33	263	91,624	81,738	0,121	92,364	923,64	6096	5052,59
4	1	30	275	112,661	100,496	0,121	113,560	1135,60	6814	5647,37
4	2	31	209	102,094	91,076	0,121	102,916	1029,16	6381	5288,62
4	3	33	198	72,386	64,507	0,122	72,893	728,93	4811	3987,47
5	1	30	233	67,920	60,313	0,126	68,154	681,54	4089	3389,29
5	2	28	216	73,932	65,618	0,127	74,148	741,48	4152	3441,58
5	3	30	202	56,487	50,263	0,124	56,797	567,97	3408	2824,53
6	1	29	175	59,880	53,295	0,124	60,223	602,23	3493	2895,08
6	2	34	139	44,555	39,473	0,129	44,604	446,04	3033	2513,94
6	3	32	991	341,358	304,496	0,121	344,080	X	<b>3441</b>	2851,86
7	1	32	210	66,229	58,598	0,130	66,216	662,16	4238	3512,44
7	2	21	197	84,890	75,311	0,127	85,101	851,01	3574	2962,47
7	3	31	178	61,127	53,985	0,132	61,003	610,03	3782	3134,81
8	1	22	207	72,661	64,466	0,127	72,847	728,47	3205	2656,62
8	2	20	298	117,144	104,266	0,124	117,821	1178,21	4713	3906,15
8	3	19	165	48,570	43,009	0,129	48,600	486,00	1847	1530,70
9	1	30	195	74,279	66,009	0,125	74,590	745,90	4475	3709,38
9	2	30	166	57,354	50,999	0,125	57,629	576,29	3458	2865,89
9	3	37	164	63,955	56,732	0,127	64,107	641,07	4744	3931,93
10	1	28	195	76,907	68,838	0,117	77,787	777,87	4356	3610,46
10	2	24	225	86,570	77,618	0,115	87,708	877,08	4210	3489,40
10	3	29	245	79,475	71,209	0,116	80,466	804,66	4667	3868,20
11	1	32	175	72,504	63,040	0,150	71,235	712,35	4559	3778,70
11	2	27	207	66,801	59,325	0,126	67,037	670,37	3620	3000,39
11	3	18	306	88,900	79,011	0,125	89,282	892,82	3214	2664,01
12	1	28	280	105,270	94,753	0,111	107,071	1070,71	5996	4969,67

ponto	Am	Nº pl	Nº vg	pu (g)	ps (g)	umd (g)	PSP (g)	prod. (5pls)	prod. (kg/ha)	prod. corr. (kg/ha)
12	2	28	221	96,608	86,873	0,112	98,166	981,66	5497	4556,37
12	3	31	1198	337,039	302,123	0,116	341,399	X	<b>3414</b>	2829,63
13	1	22	228	71,708	63,774	0,124	72,065	720,65	3171	2628,11
13	2	30	147	43,251	38,343	0,128	43,328	433,28	2600	2154,69
13	3	33	184	63,058	56,122	0,124	63,418	634,18	4186	3469,15
14	1	27	182	62,702	55,938	0,121	63,210	632,10	3413	2829,09
14	2	33	190	62,024	55,308	0,121	62,498	624,98	4125	3418,84
14	3	31	137	45,358	40,566	0,118	45,840	458,40	2842	2355,59
15	1	33	210	61,945	55,430	0,118	62,636	626,36	4134	3426,38
15	2	34	242	86,810	77,687	0,117	87,786	877,86	5969	4947,70
15	3	33	227	72,615	64,805	0,121	73,230	732,30	4833	4005,89
16	1	34	320	76,034	66,993	0,135	75,702	757,02	5148	4266,63
16	2	35	180	87,740	77,642	0,130	87,735	877,35	6141	5090,28
16	3	37	200	47,845	42,198	0,134	47,684	476,84	3529	2924,62
17	1	33	158	53,460	47,706	0,121	53,908	539,08	3558	2948,92
17	2	32	156	57,687	51,320	0,124	57,992	579,92	3711	3076,19
17	3	34	165	59,535	53,056	0,122	59,953	599,53	4077	3379,01
18	1	25	156	66,855	59,671	0,120	67,428	674,28	3371	2794,34
18	2	36	193	66,550	59,659	0,116	67,415	674,15	4854	4023,05
18	3	35	128	42,908	38,236	0,122	43,207	432,07	3024	2506,78
19	1	29	205	73,760	65,554	0,125	74,076	740,76	4296	3561,01
19	2	32	178	55,960	49,626	0,128	56,077	560,77	3589	2974,65
19	3	36	1330	310,440	277,679	0,118	313,777	X	<b>3138</b>	2600,70
20	1	31	156	50,068	44,755	0,119	50,573	505,73	3136	2598,84
20	2	30	184	74,844	66,742	0,121	75,418	754,18	4525	3750,57
20	3	33	139	47,900	42,508	0,127	48,034	480,34	3170	2627,61
21	1	27	178	65,064	58,364	0,115	65,951	659,51	3561	2951,79
21	2	28	173	66,724	59,813	0,116	67,589	675,89	3785	3137,11
21	3	32	183	66,718	59,746	0,117	67,513	675,13	4321	3581,26
22	1	20	301	106,250	94,690	0,122	107,000	1070,00	4280	3547,40
22	2	33	183	66,399	59,130	0,123	66,817	668,17	4410	3655,09
22	3	21	207	71,700	64,265	0,116	72,619	726,19	3050	2527,96
23	1	21	220	91,313	81,456	0,121	92,045	920,45	3866	3204,19
23	2	22	162	58,190	51,725	0,125	58,449	584,49	2572	2131,57
23	3	21	233	70,318	62,560	0,124	70,693	706,93	2969	2460,89
24	1	32	192	58,583	51,873	0,129	58,616	586,16	3751	3109,34
24	2	35	275	55,588	49,234	0,129	55,634	556,34	3894	3227,82

ponto	Am	Nº pl	Nº vg	pu (g)	ps (g)	umd (g)	PSP (g)	prod. (5pls)	prod. (kg/ha)	prod. corr. (kg/ha)
24	3	28	980	342,066	306,760	0,115	346,639	X	<b>3466</b>	2873,06
25	1	39	124	43,060	38,262	0,125	43,236	432,36	3372	2795,17
25	2	39	193	59,225	52,764	0,122	59,623	596,23	4651	3854,60
25	3	32	159	50,200	44,701	0,123	50,512	505,12	3233	2679,44
26	1	34	165	48,025	42,644	0,126	48,188	481,88	3277	2715,90
26	2	32	134	42,785	37,925	0,128	42,855	428,55	2743	2273,28
26	3	32	158	54,035	48,122	0,123	54,378	543,78	3480	2884,50
27	1	31	110	40,171	35,560	0,130	40,183	401,83	2491	2064,90
27	2	29	187	58,285	51,722	0,127	58,446	584,46	3390	2809,63
27	3	28	145	47,942	42,481	0,129	48,004	480,04	2688	2228,07
28	1	30	192	73,462	65,305	0,125	73,795	737,95	4428	3669,82
28	2	34	142	46,980	41,678	0,127	47,096	470,96	3203	2654,38
28	3	33	149	52,270	46,406	0,126	52,439	524,39	3461	2868,56
29	1	36	127	41,828	36,644	0,141	41,408	414,08	2981	2471,05
29	2	35	232	91,057	80,561	0,130	91,034	910,34	6372	5281,65
29	3	33	166	60,770	53,490	0,136	60,444	604,44	3989	3306,46
30	1	34	200	52,970	46,960	0,128	53,065	530,65	3608	2990,77
30	2	27	183	52,889	46,839	0,129	52,928	529,28	2858	2368,91
30	3	32	864	226,860	202,335	0,121	228,639	X	<b>2286</b>	1895,04

- am = amostra.
- pu (g) = peso úmido dos grãos.
- ps (g) = peso seco dos grãos.
- umd (g) = umidade dos grãos.
- PSP (g) = Peso Seco Padrão (13%).
- prod. (5pls) = produtividade para 5 plantas.

## ANEXO 45 – Produtividade da cultura da soja safra 2002/2003 (Lagoa 2).

ponto	Am	Nº pl	Nº vg	pu (g)	ps (g)	umd (g)	PSP (g)	prod. (5pls)	prod. (kg/ha)	prod corr (kg/ha)
1	1	31	177	60,145	53,683	0,120	60,662	606,62	3761	2678,58
1	2	33	191	63,621	56,983	0,116	64,391	643,91	4250	3026,67
1	3	35	190	67,115	60,391	0,111	68,242	682,42	4777	3402,10
2	1	31	165	65,133	58,233	0,118	65,803	658,03	4080	2905,61
2	2	30	191	92,782	83,2	0,115	94,016	940,16	5641	4017,45
2	3	32	290	86,965	77,712	0,119	87,815	878,15	5620	4002,62
3	1	33	205	69,398	62,09	0,118	70,162	701,62	4631	3297,93
3	2	29	186	90,397	80,858	0,118	91,370	913,70	5299	3774,22
3	3	29	310	109,51	98,903	0,107	111,760	1117,60	6482	4616,51
4	1	30	239	88,441	78,71	0,124	88,942	889,42	5337	3800,65
4	2	29	211	83,253	74,133	0,123	83,770	837,70	4859	3460,32
4	3	28	240	103,292	92,058	0,122	104,026	1040,26	5825	4148,83
5	1	33	265	51,957	46,354	0,121	52,380	523,80	3457	2462,11
5	2	35	190	57,818	51,627	0,120	58,339	583,39	4084	2908,38
5	3	27	1075	261,48	232,967	0,122	263,253	X	<b>2633</b>	1874,87
6	1	34	245	78,308	69,516	0,126	78,553	785,53	5342	3804,26
6	2	33	210	89,905	80,14	0,122	90,558	905,58	5977	4256,67
6	3	36	196	82,958	74,207	0,118	83,854	838,54	6037	4299,85
7	1	32	245	80,512	71,754	0,122	81,082	810,82	5189	3695,75
7	2	25	275	113,567	100,894	0,126	114,010	1140,10	5701	4059,86
7	3	29	1190	350,958	313,11	0,121	353,814	X	<b>3538</b>	2519,84
8	1	32	163	73,296	65,484	0,119	73,997	739,97	4736	3372,81
8	2	28	207	111,248	99,319	0,120	112,230	1122,30	6285	4476,07
8	3	31	290	89,63	80,392	0,115	90,843	908,43	5632	4011,26
9	1	30	306	69,9	62,352	0,121	70,458	704,58	4227	3010,77
9	2	35	315	110,342	99,134	0,113	112,021	1120,21	7841	5584,66
9	3	31	154	88,547	79,333	0,116	89,646	896,46	5558	3958,42
10	1	30	237	110,316	98,69	0,118	111,520	1115,20	6691	4765,41
10	2	24	190	104,475	93,726	0,115	105,910	1059,10	5084	3620,57
10	3	27	232	91,303	81,977	0,114	92,634	926,34	5002	3562,56
11	1	40	198	64,668	57,128	0,132	64,555	645,55	5164	3678,03
11	2	31	257	106,984	95,504	0,120	107,920	1079,20	6691	4765,29
11	3	43	1090	353,609	315,655	0,120	356,690	X	<b>3567</b>	2540,32
12	1	34	228	69,559	61,78	0,126	69,811	698,11	4747	3380,91
12	2	33	223	73,405	64,987	0,130	73,435	734,35	4847	3451,81

ponto	Am	Nº pl	Nº vg	pu (g)	ps (g)	umd (g)	PSP (g)	prod. (5pls)	prod. (kg/ha)	prod corr (kg/ha)
12	3	33	225	74,252	66,29	0,120	74,908	749,08	4944	3521,02
13	1	28	162	73,155	65,001	0,125	73,451	734,51	4113	2929,44
13	2	27	190	76,785	68,002	0,129	76,842	768,42	4149	2955,23
13	3	27	264	104,889	93,038	0,127	105,133	1051,33	5677	4043,25
14	1	31	193	59,352	52,63	0,128	59,472	594,72	3687	2626,04
14	2	32	180	53,27	47,532	0,121	53,711	537,11	3438	2448,17
14	3	35	219	84,908	75,324	0,127	85,116	851,16	5958	4243,34
15	1	34	181	50,32	44,749	0,124	50,566	505,66	3439	2448,89
15	2	29	170	64,5	57,236	0,127	64,677	646,77	3751	2671,61
15	3	35	198	69,728	62,117	0,123	70,192	701,92	4913	3499,33

- am = amostra.
- pu (g) = peso úmido dos grãos.
- ps (g) = peso seco dos grãos.
- umd (g) = umidade dos grãos.
- PSP (g) = Peso Seco Padrão (13%).
- prod. (5pls) = produtividade para 5 plantas.

ANEXO 46 – Custos operacionais aplicados no levantamento dos orçamentos parciais aplicados a tecnologia de Agricultura de Precisão.

Custos Operacionais		R\$ (18/02/2004)	
Fertilizante (00.20.20)	641,34/Mg	MF283 (4X4)	84.000,00
Fertilizante Ss. (00.21.00)	498,63/Mg	Jan Lancer	11.000,00
Cloreto de Potássio	701,48/Mg	Rota Flow	10.920,00
Calcário dolomítico	11,50/Mg	Grade niveladora (32d)	4.400,00
Frete	23,00/Mg	Subsolador	1.880,00
Análise de solo	10,50/ha	Salário	600,00
Mapeamento das áreas	30,00/ha	-----	-----

Valores estabelecidos na pesquisa, através de informações cedidas pela CAPAL, revendedores autorizados, laboratório de fertilidade dos solos (UFPR) e empresa INSOLO

ANEXO 47 – Doses e quantidades totais de insumos utilizados na aplicação em taxa variável nas glebas Lagoa 1 e Lagoa 2.

Lagoa 1	doses (kg/ha)	área (ha)	calcário dolomítico (kg/área)	Lagoa 2	doses (kg/ha)	área (ha)	calcário dolomítico (kg/área)
	500	13,23	6.615		500	11,4	5.700
	1500	12,92	19.380		1000	0,96	960
	2000	1,72	3.420		2000	2,23	4.460
	3500	2,58	9.030		2500	2,1	5.250
<b>Total</b>			<b>38.445</b>				<b>16.370</b>
Lagoa 1	doses (kg/ha)	área (ha)	Ssimples (kg/área)	Lagoa 2	doses (kg/ha)	área (ha)	Ssimples (kg/área)
	50	4,48	224		50	2,71	135,5
	100	5,52	552		75	4,26	319,5
					100	4,48	448
					125	3,41	426,25
<b>Total</b>			<b>776</b>				<b>1329,25</b>

## ANEXO 48 – Custos operacionais envolvidos na aplicação em taxa variável de insumos para as glebas Lagoa 1 e Lagoa 2.

Máquinas	Mão de obra R\$ 3,00/h			vida útil (h)	h/ano	US\$ 2,90			juros/h	mnt.	Juros 9,00% aa		R\$/h	custo/h	(h/ha)	Diesel R\$ 1,35/l		viável (ha)	custo/ha
	R\$ novo	suc. (%)	R\$ suc.			depr./h	seg. (%)	seg./h			mnt./h	litros/h				(ha/h)			
Trator/4R 71-90 cv	84.000,00	30	25.200,00	10.000	1.000	5,88	0,01	0,66	4,90	0,75	6,30	9	12,15	29,90	--	--	--	--	--
Grade niveladora	4.400,00	10	440,00	2.000	200	1,96	0,01	0,07	1,10	0,70	1,50	--	--	4,68	1,25	0,80	160	47,00	
Subsolador (3 hastes)	1.880,00	10	188,00	2.000	200	0,85	0,01	0,03	0,50	0,70	0,70	--	--	2,00	1,25	0,80	160	43,60	
Jan (lancer) Rotaflo	10.920,00	20	2.184,00	1.500	400	5,82	0,01	0,10	1,50	0,70	5,10	--	--	12,49	0,05	20	8000	2,30	
Distribuidora Calcário (Jan)	11.000,00	20	2.200,00	3.750	750	2,35	0,01	0,05	0,80	0,60	1,80	--	--	4,95	0,11	9	6750	4,20	
Distribuidora Calcário (Jan)	11.000,00	20	2.200,00	3.750	750	2,35	0,01	0,05	0,80	0,60	1,80	--	--	4,95	0,17	6	4500	6,30	

Fonte: Fundação ABC.

- mnt. = manutenção.
- suc. = sucata.
- depr.= depreciação.
- seg.= seguro.

ANEXO 49 - Custos referentes à demarcação das isolinhas nas respectivas glebas, para aplicação em taxa variável de calcário dolomítico e Superfosfato Simples.

demarcação das áreas	metros	tempo (min)	custo/ha
Calcário Lagoa 1	2001,49	20,01	0,05
Fósforo Lagoa 1	1471,76	14,72	0,02
Calcário Lagoa 2	888,02	8,88	0,02
Fósforo Lagoa 2	1102,34	11,02	0,01

Valores calculados com base no Anexo 48.