

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICE ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO E FERTILIDADE DO  
SOLO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Lorena Solar Silva Oliveira  
Engenheira Agrônoma**

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICE ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO E FERTILIDADE DO  
SOLO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**Lorena Solar Silva Oliveira**

**Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

**2019**

O48i Oliveira, Lorena Solar Silva  
Índice espectral de vegetação e fertilidade do solo na cultura de cana-de-açúcar/ Lorena Solar Silva Oliveira,-- Jaboticabal 2019  
60 p.: il, tabs., fotos, mapas  
  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.  
Orientadora: Prof<sup>ta</sup>. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra  
  
1. NDVI. 2. Sensoriamento remoto. 3. Política de uso do solo. I  
Titulo

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ÍNDICE ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO E FERTILIDADE DO SOLO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

**AUTORA: LORENA SOLAR SILVA OLIVEIRA**

**ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA  
Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM / Uberaba/MG

Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS  
Departamento de Engenharia Rural-FCA/UNESP / Botucatu/SP

Jaboticabal, 05 de agosto de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**LORENA SOLAR SILVA OLIVEIRA** – nascida em Lavras - MG no dia 01 de junho de 1992, graduou-se como Engenheira Agrônoma em fevereiro de 2017 pela Universidade Federal de Lavras – UFLA. Foi bolsista de Iniciação Científica pelo programa PIVIC/CNPq (Programa de Iniciação Científica Voluntária) entre agosto de 2011 a agosto de 2013. Em 2014 participou do Programa Ciência Sem Fronteiras onde concluiu parte de sua graduação na *Northwest Missouri State University* e fez um estágio-pesquisa na *Kansas State University*. Em março de 2017, ingressou no curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Ciência do Solo, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – Unesp – Campus de Jaboticabal, sendo bolsista do Programa CAPES.

*“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.*

*Ayrton Senna*

À minha mãe Sueli e minha vó Cunduca, a quem devo o ser humano que sou hoje  
Ao meu falecido pai Jorge, que deve estar lá no céu vibrando de tanto orgulho  
Ao meu avô Ico pelas recordações de infância.  
A minha irmã Lorrana pelo apoio e carinho

**DEDICO**

Entrega teu caminho ao Senhor, confia Nele e o mais Ele fará”.

(Salmos 37:5)

## **AGRADECIMENTOS**

À minha querida orientadora Prof<sup>a</sup>. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pelo auxílio no projeto de pesquisa, por ter me dado a chance de subir mais um degrau de minha vida profissional.

Aos Professores Mara Cristina Pessoa Cruz, Itamar Andreoli e Manuel Evaristo Ferreira pelo apoio no período de Mestrado, pela rotina do laboratório e por me incentivar no caminho do saber.

Agradeço também aos amigos do laboratório de Fertilidade do Solo.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, UNESP- Campus de Jaboticabal, aos servidores da seção de pós-graduação, em especial ao coordenador do programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Aos professores que constituíram a banca de qualificação e defesa de dissertação: Cristiano Zerbato, Gener Tadeu, Renato Farias e Sérgio Campos.

Aos amigos e companheiros de pós-graduação, Nayane, Maira, Roberta, Samira, Vinícius, Aline, Daniel, Yane, Robson, Gustavo, Patric, Paulo, Carol. Obrigada por todo o apoio, noites de estudo, trabalhos, idas ao Sapão, churrascos e pelas risadas. Jamais me esquecerei de vocês!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

**MUITO OBRIGADA!**



## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
RESUMO.....	XII
SUMMARY.....	XIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Cana de açúcar.....	3
2.2 Características do Metabolismo.....	4
2.3 Exigências edáficas para cana-de-açúcar.....	5
2.4 Atributos do solo para fins de fertilidade.....	6
2.5 Sensoriamento Remoto.....	8
2.5.1 Geoprocessamento.....	10
2.5.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	11
2.6 Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI).....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5 CONCLUSÕES.....	40
6 REFERÊNCIAS.....	41

## LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 1.	Localização do Município de Palestina, Estado de São Paulo, Brasil.....	14
Figura 2.	Caracterização geológica da área de estudo – Município de Palestina– SP.....	15
Figura 3.	Solos da área de estudo – Município de Palestina– SP.....	16
Figura 4.	Área Experimental de amostragem de solos e coleta do NDVI, Palestina/SP.....	16
Figura 5.	Malha amostral realizada com o SSTolbox Lite 3.6.....	17
Figura 6.	Ferramenta de coleta de solo – trado holandês.....	18
Figura 7.	Ponto de amostragem (25 cm da linha de plantio da cana-de-açúcar) (a), Trado perpendicular ao solo para a retirada da amostra (b).....	19
Figura 8.	Correlação entre os valores de pH da solução tampão SMP e os teores de H + Al determinados pela extração com acetato de cálcio.....	26
Figura 9.	Classes de NDVI na área de estudo.....	33
Figura 10.	Teores de matéria-orgânica nos anos de 2016, 2017 e 2018.....	35
Figura 11.	Teores de potássio nos anos de 2016, 2017 e 2018.....	36

**LISTA DE TABELAS**

	Página
Tabela 1. Limites de interpretação das determinações dos teores químicos do solo de acordo com Raij et al (1989).....	23
Tabela 2. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo na amostra na profundidade de 0-25 cm, no ano de 2016.....	29
Tabela 3. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo na profundidade de 25-50 cm no ano de 2016.....	30
Tabela 4. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo na profundidade de 0-25 cm, no ano de 2017.....	30
Tabela 5. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo – na profundidade de 25-50 cm no ano de 2017.....	31
Tabela 6. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo – na profundidade de 0-25 cm no ano de 2018.....	31
Tabela 7. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo – na profundidade de 25- 50 cm, no ano de 2018.....	32
Tabela 8. Análise estatística dos valores de matéria orgânica (MO), fósforo (P resina), potássio (K) e NDVI, para os anos de 2016, 2017 e 2018.....	38

## ÍNDICE ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO E FERTILIDADE DO SOLO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** – As tecnologias de sensoriamento remoto são utilizadas para definir índices de vegetação obtidos a partir da reflectância das culturas e para aprimorar as técnicas e práticas de manejo na implantação do sistema de agricultura de precisão. Este trabalho teve como objetivo analisar temporalmente, em três cortes (2016, 2017 e 2018), a correlação entre o índice espectral de vegetação (NDVI) e a fertilidade do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar. A amostragem dos dados foi realizada em uma malha amostral de 57 pontos. O solo foi analisado considerando as características químicas de fertilidade e os índices de vegetação por diferença normalizada – NDVI foram obtidos por técnicas de sensoriamento remoto em imagens de satélite Landsat 8, datadas um mês anterior ao corte. As análises estatísticas foram realizadas para verificar as diferenças temporais entre as reflectâncias da cultura da cana-de-açúcar entre os anos de 2016 (3º corte), 2017 (4º corte) e 2018 (5º corte). O índice espectral de vegetação (NDVI) e a fertilidade do solo na cultura de cana-de-açúcar apresentam comportamento diferenciado ao longo do tempo. As zonas de solo mais fértil refletiram a transformação espectral das bandas projetadas para aumentar a contribuição das propriedades da vegetação e permitiu intercomparações espaciais e temporais com o desenvolvimento da atividade fotossintética da cana-de-açúcar e as variações estruturais do dossel anterior aos cortes. A técnica de sensoriamento com o índice espectral de vegetação (NDVI) apresentou aplicabilidade em analisar temporalmente os atributos do solo correlacionados ao corte e a reflectância da cultura de cana-de-açúcar, mostrando-se uma ferramenta para delimitação de áreas de manejo e demonstram as zonas de diferentes potenciais produtivos.

**Palavras-chave:** NDVI, Sensoriamento remoto, Política de uso do solo.

## **SPECTRAL VEGETATION INDEX AND SOIL FERTILITY IN SUGAR CANE CROP**

**SUMMARY** – Remote sensing technologies are used to define vegetation indices obtained from crop reflectance and to improve management techniques and practices in the implementation of the precision farming system. The objective of this work was to analyze, in three cuts (2016, 2017 and 2018), the correlation between vegetation spectral index (NDVI) and soil fertility in na área planted with sugarcane. The data were sampled in a sample mesh of 57 points. The soil was analyzed considering the fertility chemical characteristics and the normalized difference vegetation indices - NDVI were obtained by remote sensing techniques in Landsat 8 satellite images, dated one month prior to the cut. Statistical analyzes were performed to verify the temporal differences between sugarcane crop reflectances between 2016 (3rd crop), 2017 (4th crop) and 2018 (5th crop). The spectral vegetation index (NDVI) and soil fertility in the sugarcane crop showed different behavior over time. The most fertile soil zones reflected the spectral transformation of the bands designed to increase the contribution of vegetation properties and allowed spatial and temporal intercomparisons with the development of the photosynthetic activity of the sugarcane and the structural variations of the canopy prior to the cuts. The vegetation spectral index sensing technique (NDVI) was applicable in the temporal analysis of soil attributes correlated to the cut and reflectance of the sugarcane crop, showing a tool to delimit management areas and to demonstrate the zones of different productive potentials.

**Keywords:** NDVI, Remote sensing, Land use policy.

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a base da economia brasileira para a produção de açúcar, etanol e energia. É uma gramínea pertencente à família *Poaceae*, com gênero *Sacharum*, com a formação da origem genética dos cultivares híbridos interespecíficos de variedades, substituídos pelo híbrido *Saccharum spp.* A cana é um vegetal de reprodução sexuada quando cultivada comercialmente. Entretanto é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa.

O cultivo é realizado em diversos locais, tanto em regiões tropicais quanto subtropicais, em mais de 90 países. O Brasil cultiva a cana-de-açúcar desde 1532 e é o maior produtor mundial.

A planta possui fotossíntese do tipo C4, que se caracteriza por forte acumulação de biomassa, o que propicia uma taxa de crescimento e eficiência fotossintética, caracterizando maior eficiência do uso da água e do nitrogênio e, portanto, maior potencial produtivo.

A fertilidade do solo reflete a capacidade do solo em ceder elementos essenciais às plantas durante o crescimento e o desenvolvimento. Além das condições físicas e microbiológicas, a fertilidade é um componente do fator solo na equação de produção ( $\text{Produção} = f(\text{solo, clima, planta e manejo})$ ) que envolve a mineralogia e a química dos elementos que compõem o solo. A fertilidade atual é a que apresenta o solo após receber práticas de manejo para satisfazer as necessidades das culturas.

Neste trabalho foi analisada a fertilidade atual, e obteve-se a noção da complexidade da fertilidade do solo com o manejo da cultura de cana-de-açúcar ao longo do tempo, em três cortes. A variabilidade dos atributos do solo, isto é, dos valores das variáveis, é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação e das práticas de manejo do solo e da cultura.

É importante conhecer a distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área para obter o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade do meio.

As técnicas de sensoriamento remoto descrevem os métodos que utilizam a energia eletromagnética na detecção e medida das características das culturas, e

aprimoram o manejo e a aplicação do processo de agricultura de precisão para aumentar o rendimento operacional e os tratos culturais.

Essa tecnologia é utilizada para identificar e quantificar a distribuição das características fisiológicas da cana-de-açúcar em uma determinada região, por análise das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações, como a fertilidade de um solo.

Para caracterizar o comportamento espectral da vegetação é preciso conhecer o processo de interação da resposta eletromagnética na proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido pela planta. As propriedades espectrais de uma folha são função de sua composição, morfologia e estrutura interna que apresentam variações.

O índice NDVI (*Normalized Difference Index Vegetation*) é calculado pela diferença entre o infravermelho próximo e vermelho dividida pela sua soma e é útil em vários campos, tais como, agricultura de precisão, estudo da fenologia da vegetação, em classificações espectrais e avaliações primárias de produtividades.

Este trabalho teve como objetivo analisar temporalmente o índice espectral de vegetação e a fertilidade do solo na cultura de cana-de-açúcar. A hipótese é de que o índice espectral de vegetação (NDVI) apresenta aplicabilidade em analisar temporalmente os atributos do solo correlacionados ao corte e a reflectância da cultura de cana-de-açúcar, mostrando-se uma poderosa ferramenta para delimitação de áreas de manejo e zonas de diferentes potenciais produtivos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Cana de açúcar

A cana-de-açúcar tem sua origem no sudeste asiático e existem indícios de cultivo na Índia de 5000 anos atrás. Também nesse país, acredita-se que se iniciou a produção de açúcar a partir de sacarose extraída do caule. No século VII, a tecnologia da produção de açúcar da cana-de-açúcar foi iniciada na China. A partir do século VIII, esta tecnologia foi difundida para o mundo árabe, Mesopotâmia, Egito, norte da África e Espanha, assim chegando ao novo mundo no século XVI com os espanhóis (FISCHER et al., 2008).

A cana é uma gramínea pertencente à família *Poaceae* que tem como representantes o milho (*Zea mays*), o trigo (*Triticum spp.*), o arroz (*Oryza sativa*) e o sorgo (*Sorghum bicolor*) (SEGALLA, 1978).

As variedades *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. sinense*, *S. barberi*, *S. robustum* e *S. edule* formam a origem genética dos cultivares híbridos interespecíficos. Estes cultivares foram substituídos pelo híbrido *Saccharum spp.* Este fato ocorreu devido ao aparecimento de doenças, e as espécies híbridas garantem maior resistência e capacidade de adaptação (SEGALLA, 1978).

A cana é um vegetal de reprodução sexuada quando cultivada comercialmente. Entretanto é multiplicada assexuadamente, por propagação vegetativa. O tipo de inflorescência é a panícula, suas flores são hermafroditas, caule cilíndrico que possui nós e entrenós, folhas alternas e opostas estando presas aos nós dos colmos, com lâminas de sílica em suas bordas, e bainha aberta (RODRIGUES, 1995).

O cultivo é realizado em diversos locais, tanto em regiões tropicais quanto subtropicais de 90 países, e existem plantios da cultura da latitude 35°N até a 30°S, adaptando-se a diversas condições de climas e solo, exigindo precipitações pluviométricas entre 1500 a 2500 mm por ciclo vegetativo (RODRIGUES, 1995).

O Brasil cultiva a cana desde 1532. De acordo com dados da FAO (2016), o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo. Segundo estimativas de fechamento da safra 2018/2019, a produção brasileira está em torno de 635,51



milhões de toneladas, aumento de 0,4% em relação à safra anterior. A produção de etanol está em torno de 30,41 bilhões de litros, incremento de 11,6% em relação à safra passada (CONAB, 2018). Já a produção de açúcar foi de 34,25 milhões de toneladas, retração de 9,6% ao produzido na safra 2017/18. O estado de São Paulo é o maior produtor nacional com 341, 37 milhões de toneladas produzidas na safra 2018/19.

O aumento da área destinada a produção de cana-de-açúcar, puxado pelo aumento na demanda por biocombustíveis, foi de aproximadamente 4,5 Mha entre os anos de 2000 e 2014 em todo território brasileiro (IBGE, 2016). Entretanto, devido ao clima, manejo inadequado e dificuldades financeiras do setor, a produtividade dos canaviais tem decrescido (WALTER, et al., 2013).

A cultura vem se destacando no cenário mundial como uma cultura chave para a obtenção de energia renovável desde a década de 2000 (VASCONCELOS, 2013). No Brasil, dentre as fontes de energia alternativas utilizadas a que vem se destacando mais é a biomassa de cana-de-açúcar. De acordo com Dias et al. (2009), além de ser destaque na produção de etanol, os subprodutos palha e bagaço da cana, tem em sua composição altos teores de materiais lignocelulósicos, fazendo com que se tornem matérias-primas capazes de produzir energia. Gomazako e Oliveira (2007), afirmam que parte do resíduo é utilizada para geração de energia térmica e elétrica em usinas de cogeração sucroenergético, assim, essas indústrias possuem autossuficiência energética, sendo que algumas produzem excedentes de eletricidade para serem vendidas às concessionárias de energia elétrica.

De acordo com dados da ANEEL (2014), estão em operação no Brasil 475 usinas termelétricas a partir de biomassa, fornecendo uma capacidade instalada de 11.407 MW.

## **2.2 Características do Metabolismo**

Essa planta possui fotossíntese do tipo C4, esse tipo de metabolismo se caracteriza por forte acumulação de biomassa em zonas tropicais e crescimento menos vigoroso em zonas temperadas (BRADSHAW, 2016). Está entre as

gramíneas de maior eficiência fotossintética, por apresentar metabolismo C4, o que propicia uma taxa de crescimento e eficiência do uso da água de duas a três vezes maiores que as plantas de metabolismo C3 (CASAGRANDE, 1996).

O metabolismo fotossintético C4 possui adaptações anatômicas e bioquímicas capazes de concentrar CO<sub>2</sub> ao redor do sítio de carboxilação da Rubisco (VON CAEMMERER e FURBANK, 2003). Essa elevada concentração de CO<sub>2</sub> permite às plantas C4 possuírem maior eficiência do uso da água, e do nitrogênio e, portanto, maior potencial produtivo (LONG, 1999).

Outra característica da cultura é a produção de muitos perfilhos, em especial na fase inicial do desenvolvimento, cada um com nós deparados por entrenós (OLIVEIRA et al, 2004; TEJERA et al., 2007). Plantas com arquitetura do dossel com folhas eretas no topo proporcionam uma distribuição de energia luminosa melhor entre a folhagem e assim maior eficiência de uso da radiação. Outro aspecto importante a se considerar, é a orientação das folhas. Esta característica atua na quantidade e na qualidade da luz absorvida, tanto por variar a reflexão dos raios solares, quanto por alterar a área transversal disponível para a interceptação da radiação (MURCHIE et al., 1999).

As características intrínsecas a cada genótipo determinam o número de colmos em cada planta, a altura, diâmetro do colmo, o comprimento, largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão desses caracteres influenciada por diversos fatores como clima, manejo e práticas culturais utilizadas (SANTANA, 2012).

As características das variedades influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento. Quanto mais inclinada uma folha no colmo, maior a eficiência fotossintética, especialmente em populações de alta densidade, devido ao fato da luz penetrar mais eficientemente no dossel (RODRIGUES, 1995; SILVA, 2012).

### **2.3 Exigências edáficas para cana-de-açúcar**

No cultivo de cana-de-açúcar aconselha-se evitar solos rasos, mal drenados, argilosos ou arenosos, bem como, solos declivosos que dificultem a entrada de

máquinas e implementos agrícolas nas áreas de cultivo (LEPSCH, 2010). A cana tem melhor desenvolvimento em solos com boa fertilidade, profundos, argilosos, com boa capacidade de retenção de água, mas sem encharcamento e com pH de 6,0 a 6,5 (LUCCHESI, 2001). Existem cultivos de cana em uma larga faixa de pH, variando de 4 até 8,5, apresentando, diminuição na produtividade quando caminha para valores extremos (LUCCHESI, 2001). Usualmente, os solos alcalinos prejudicam a cana em menor intensidade do que solos ácidos (HUMBERT, 1974).

Quanto a textura do solo, os solos arenosos possuem baixa capacidade de armazenamento de água e perdem grande parte de seus nutrientes por lixiviação, além de tenderem a favorecer o desenvolvimento de inúmeras pragas de solo. Os solos muito argilosos, no entanto, são propensos a uma drenagem mais lenta, ocasionando uma menor aeração na zona das raízes. As condições edáficas, ou seja, as características e propriedades físicas e químicas do solo influenciam de maneira significativa a profundidade do sistema radicular (FAUCONNIER e BASSEREAU, 1975).

Apesar de ser uma planta rústica, a viabilidade econômica da cultura da cana-de-açúcar diminui à medida que as características do solo se tornam menos favoráveis, como ambientes sujeitos a inundações, ou altamente erodíveis, ou declivosos, ou pedregosos e os solos de fertilidade muito baixa (ZANZARINI et al., 2013).

#### **2.4 Atributos do solo para fins de fertilidade**

A fertilidade tem sido conceituada como "a capacidade do solo de ceder elementos essenciais às plantas" (Raij, 1981; Braga, 1983), bem como, armazenar estes elementos e ceder para as plantas durante todo o crescimento e desenvolvimento da planta, mesmo que esta deixe de absorver ou utilizar numa determinada fase de seu ciclo (MALAVOLTA, 1976; RAIJ, 1981). Além das condições físicas e microbiológicas, a fertilidade é um componente do fator solo na equação de produção ( $\text{Produção} = f(\text{solo, clima, planta e manejo})$ ) que envolve além desses fatores, outros como a mineralogia e a química.

A matéria orgânica (MO) é formada de organismos, resíduos vegetais e

resíduos animais em decomposição e é capaz de alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, dessa forma, podendo interferir no crescimento e desenvolvimento das plantas.

O pH se refere a atividade do íon Hidrogênio nos solos, que apresenta a característica de fazer ligações covalentes de alta energia que provocam reações que dirigem a maioria das demais reações que ocorrem no solo.

Os elementos que compõem o solo são absorvidos pelas plantas a partir do processo de absorção radicular conforme a exigência de cada espécie vegetal. Alguns elementos são exigidos em quantidades superiores aos demais: nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), formando os chamados macronutrientes. Já os micronutrientes, que são exigidos em quantidades inferiores são: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), boro (B) molibdênio (Mo) e cloro (Cl). Mas mesmo em concentrações mais baixas, são considerados essenciais.

O Alumínio se encontra no solo na forma de hidróxido de alumínio, isto é, um átomo de alumínio cercado por seis hidroxilas. Esta espécie altamente reativa ao se hidrolisar conforme se faz calagem, por exemplo, com a finalidade de aumentar o pH do solo, libera íons de hidrogênio. Esta liberação de hidrogênio a partir dos hidróxidos decorrentes da hidrólise faz o pH dos solos cair, portanto acidificando-os. Por isto, a soma de  $H^+$  +  $Al$  é chamada de acidez potencial, que se refere ao potencial que o próprio alumínio tem de acidificar os solos durante sua hidrólise.

A soma de bases trocáveis (SB) representa a soma dos teores de cátions permutáveis no solo, exceto  $H^+$  e  $Al^{3+}$  ( $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ). A saturação por bases é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo. A capacidade de troca de cátions (CTC) corresponde a capacidade que o solo possui em reter os cátions trocáveis. Quanto maior for a quantidade de cargas negativas existentes na superfície das partículas sólidas do solo, maior será a CTC.

Se a saturação por bases do solo (V%) é alta, ou seja, maior ou igual a 50% o solo é eutrófico (rico em nutrientes, especialmente em cálcio). Isso ocorre porque mais da metade do reservatório-solo (CTC) armazena esses nutrientes representados pela soma de bases (SB). O valor "V" relativamente alto (30-50%), juntamente com valor "SB" também relativamente alto (maior que  $1,2 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ )

representa o solo mesotrófico. Se o valor "m" for relativamente alto (maior que 15% sem atingir 50%) e ao mesmo tempo com alumínio maior que 0,4 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>, o solo é mesoálico. Numa condição intermediária, entre mesotrófico e mesoálico, o solo é distrófico.

A fertilidade natural corresponde à fertilidade do solo quando ainda não sofreu nenhum manejo, ou seja, não foi trabalhado e, portanto, não sofreu recente interferência antrópica. A fertilidade potencial evidencia-se a existência de algum elemento ou característica que impede o solo de mostrar sua real capacidade de ceder nutrientes. Entre as características limitantes, no caso de solos ácidos, onde o teor de Al<sup>3+</sup> é elevado e a disponibilidade de Ca, Mg e P é baixa ou insuficiente. Este processo pode ser corrigido com adição de calcário, gesso e fosfato (VITTI; MALAVOLTA, 1985). A fertilidade atual é a que apresenta o solo após receber práticas de manejo para satisfazer as necessidades das culturas.

A variabilidade dos atributos do solo, isto é, dos valores das variáveis, é uma consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e da cultura são causas adicionais desta variabilidade (CORÁ, 1997).

É importante conhecer a distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área para obter o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade do meio (Cambardella et al., 1994), da mesma maneira que é importante definir a intensidade de amostragem do solo para a caracterização do mesmo. Desse modo, o erro-padrão da média é reduzido, potencializando assim a eficiência da amostragem, e conseqüentemente, os custos e mão-de-obra do trabalho são reduzidos.

## **2.5 Sensoriamento Remoto**

Por definição, sensoriamento remoto relaciona-se a um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informações sobre objetos, sem que haja contato físico com eles. O termo sensoriamento remoto é utilizado para descrever os métodos que utilizam a energia eletromagnética na detecção e medida das características de

objetos, incluindo-se as energias relativas à luz, calor e ondas de rádio (GARCIA, 1982).

De acordo com Moreira (2001), sensoriamento remoto é resumido como um conjunto de atividades utilizado para a obtenção de informações a respeito dos recursos naturais, renováveis e não renováveis, por meio da utilização de dispositivos sensores colocados em aviões, satélites ou até mesmo na superfície.

Já Ponzoni e Shimabukuro (2007) definem Sensoriamento Remoto como uma tecnologia utilizada para identificar e quantificar a distribuição dos alvos de uma determinada região, desde a escala global até a escala local, e utilização de modernos sensores, aeronaves, espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

O sol é necessário como a fonte principal de radiação eletromagnética que incide sobre a superfície terrestre. De acordo com Novo (2008), a produção de energia pelo sol se dá por meio de um processo conhecido como ciclo próton-próton, que se resume na conversão de quatro átomos de hidrogênio em um átomo de hélio e energia na forma de fótons e neutrinos.

Para caracterizar o comportamento espectral da vegetação, é preciso conhecer o processo de interação da resposta eletromagnética em termos de, no mínimo, três fenômenos físicos: reflectância, transmitância e absortância. Contudo, a maioria dos casos que envolvem o uso do sensoriamento remoto em estudos da vegetação inclui a reflectância como o fenômeno mais analisado (PONZONI, 2001). Reflectância é a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido por materiais que estão na superfície da Terra, como exemplo destacam-se os solos, a água e a vegetação (FERREIRA e PEREIRA FILHO, 2009).

Segundo Carvalho Junior et al, (2005), as propriedades espectrais de uma folha são função de sua composição, morfologia e estrutura interna que apresentam variações em função das diferentes variedades. Na faixa do espectro eletromagnético (EEM) de 0,4 a 2,6  $\mu\text{m}$ , onde atua a maioria dos sensores ópticos, a

vegetação possui uma reflectância típica que a diferencia dos demais alvos da superfície terrestre.

Essa faixa do EEM pode ser dividida em subfaixas denominadas de: visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho médio (1,3 a 2,6  $\mu\text{m}$ ). A região do visível é identificada por uma baixa reflectância da vegetação decorrente de uma alta absorção da radiação solar que incide sobre as folhas. Os pigmentos das folhas são os principais responsáveis por essa absorção, pois captam a energia solar nessa região do EEM para ser utilizada no processo fotossintético (CARVALHO JUNIOR et al, 2005).

### **2.5.1 Geoprocessamento**

O Geoprocessamento é um campo de atividades que se relaciona com os meios usados para aquisição, armazenamento, análise, apresentação, distribuição e gerenciamento de dados orbitais, que podem ser utilizados no auxílio de tomada de decisões em áreas técnicas, legais, científicas e administrativas, ainda que o termo seja novo, mostra a evolução dos levantamentos e do mapeamento do meio físico (SILVEIRA, 2016).

Essa ferramenta constitui um importante conjunto de tecnologias que apoia o desenvolvimento da agricultura, por permitir analisar grandes quantidades de dados georreferenciados, independentemente de serem estatísticos, dinâmicos, atuando de maneira isolada ou em conjunto e, ainda, permitir o tratamento destes dados, gerando informações e possibilitando soluções por meio de simulações de cenários e modelagem (BUCENE, 2002).

De forma mais simples, o geoprocessamento pode ser definido como um grupo de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto, SIG (Sistema de Informações Geográficas), cartografia, fotogrametria, topografia, banco de dados geográficos e sistema de posicionamento global (GPS). Ou melhor, uma ciência interdisciplinar, que engloba diversas disciplinas, programas, equipamentos, dados, processos e metodologias de coleta, apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

Um ponto importante que deve ser mencionado, conforme afirmou Barbosa (2009), é que a ferramenta principal deste conjunto de técnicas é o Sistema de Informação Geográfica (SIG), tecnologia esta que muitas vezes é confundida com o termo em questão.

### **2.5.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)**

A base do geoprocessamento são programas computacionais chamados SIGs, os quais permitem análises mais complexas integrando dados de diversas fontes e montagem de bancos de dados georreferenciados. Sua principal característica é flexibilidade quanto às fontes geradoras e formatos de dados apresentados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998a).

SIG é uma ferramenta que expressa uma espécie de matemática, em que qualquer dado que possua um componente espacial, uma localização determinável, pode ser utilizado, armazenado e analisado. Tecnicamente seria como uma caixa de ferramentas digital para coleta, armazenamento, busca, análise, transformação e exposição de dados espaciais, com uma posição x, y e z. Assim, como a estatística, esse sistema é simplesmente uma ferramenta auxiliar para descrever e inferir. As possibilidades de solução dependem de um objetivo bem definido sobre o problema ambiental (SILVEIRA, 2004).

Câmara (1995) assegurou que devido ao grande número de aplicações do SIG, tais como a agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há no mínimo três maneiras de utilizar um SIG: como apoio para análise espacial de fenômenos; como ferramenta para produção de mapas e como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Moreira (2005) definiu os cinco principais componentes independentes de um SIG, porém, estes são interligados uns aos outros por funções específicas. Os componentes do SIG são: entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem e banco de dados geográficos. O formato de representação digital dos dados é uma característica distintiva do SIG.



Essencialmente, um SIG dispõe de dois tipos de dados da superfície terrestre: as definições topológicas de uma estrutura do terreno e os atributos e qualidades que esta estrutura possui. Essa representação geralmente é feita por dois tipos de formato digital: raster ou vetorial.

O SIG-raster é definido como um modelo indicado para análises ambientais, visto que, possui uma estrutura de dados mais simples, permitindo operações de análises diretamente sobre os dados, cuja variabilidade espacial é mais bem representada, uma vez que os fenômenos ambientais não têm limites fixos, considerando-se difusa a transição entre eles. A unidade espacial é representada pelo pixel, o qual possui o mesmo tamanho e forma, possibilitando uma análise mais eficiente em ambientes contínuos, cujos dados como biomassa vegetal, o tipo de solo, a pluviosidade e a temperatura mudam frequentemente em função do do tempo e espaço (SILVEIRA, 2004).

## **2.6 Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)**

O índice NDVI (*Normalized Difference Index Vegetation*) foi proposto por Rouse et al. (1973) e é calculado pela diferença entre o vermelho e o infravermelho próximo dividida pela sua soma. O índice NDVI é útil em vários campos, tais como, agricultura de precisão, estudo da fenologia da vegetação, em classificações espectrais e avaliações primárias de produtividades (MIURA et al., 2001).

Esse índice baseia-se na grande absorção da clorofila que é constatada na região espectral do vermelho e na alta reflectância esclarecida pela estrutura interna das folhas na região do infravermelho próximo. O valor de NDVI varia entre -1 e 1. Na cana-de-açúcar, o índice apresenta valores em torno de 0,2 e 0,8 (ROUSE et al., 1973). O índice é calculado por:  $NDVI = ((IV - V) / (IV + V)) \times 100$ , onde IV é o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e V o fluxo radiante refletido no vermelho da região do visível.

Para o NDVI, as bandas espectrais da região do vermelho e infravermelho próximo ao espectro magnético são escolhidas por serem mais afetadas pela absorção da clorofila pela folhagem da vegetação verde e em consequência pela densidade dessa vegetação na superfície (COSTA FILHO et al., 2007). Como os

valores de NDVI tem amplitude de -1 a +1, os valores negativos representam as nuvens e ao redor de zero representa solo nu ou sem vegetação. O valor de NDVI quando maior que zero representa a vegetação. O valor de NDVI mais alto indica o grau de verde mais alto da superfície que pode ser usado para inferir na vegetação mais densa ou vegetação em pleno vigor de crescimento. Numa superfície de vegetação em vigor de crescimento vegetativo, o grau de verde alcança o valor máximo. A reflectância do NIR (*Near Infrared Reflectance*) alcança o valor máximo de 0,55 e o VIS (*Visible*), faixa do visível, mínimo de 0,5 (LIU, 2006).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A área do estudo localiza-se em área agrícola em Palestina, município localizado no noroeste do Estado de São Paulo, nas coordenadas  $20^{\circ}26' 52''$  S e  $49^{\circ}29'29''$  (Figura 1).

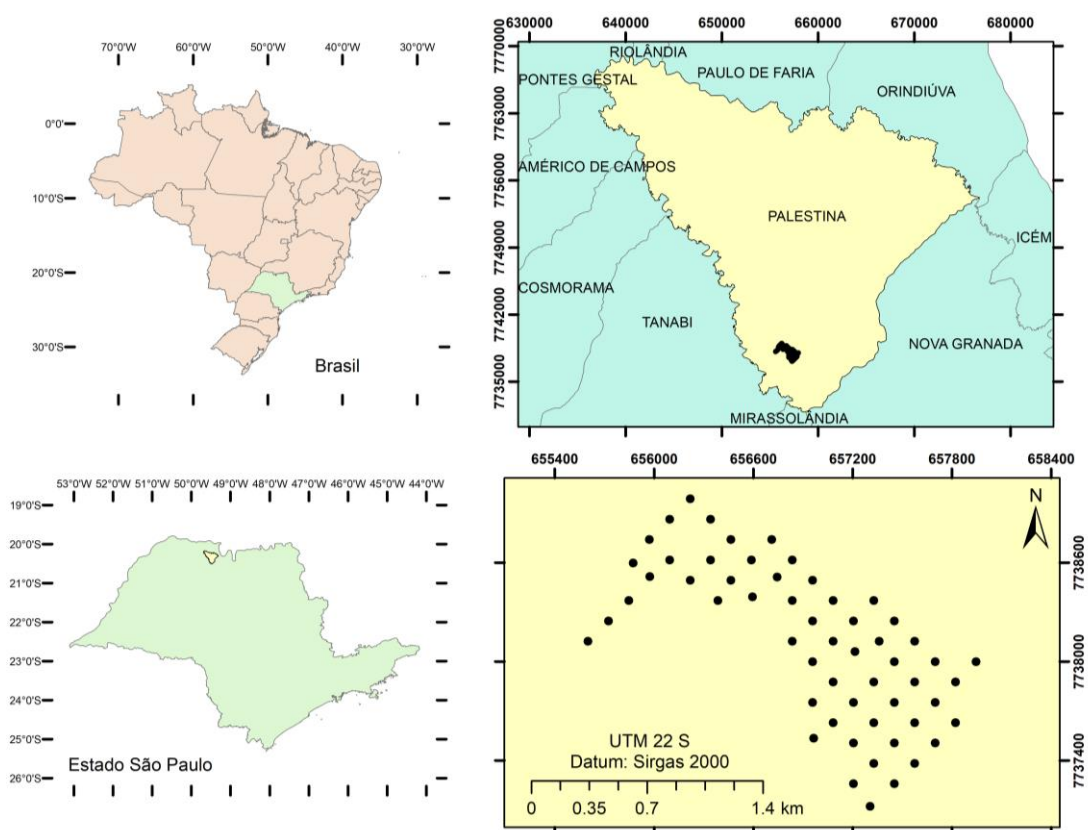


Figura 1. Localização do Município de Palestina, Estado de São Paulo, Brasil.

O clima da região é o tropical chuvoso, tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por inverno seco e verão quente e úmido. A área em estudo é de aproximadamente 173 hectares cultivados com cana-de-açúcar, sendo distribuídos em 57 pontos de amostragem (Figura 1).

A geologia da área se caracteriza pela formação Vale do Rio do Peixe (Figura 2).

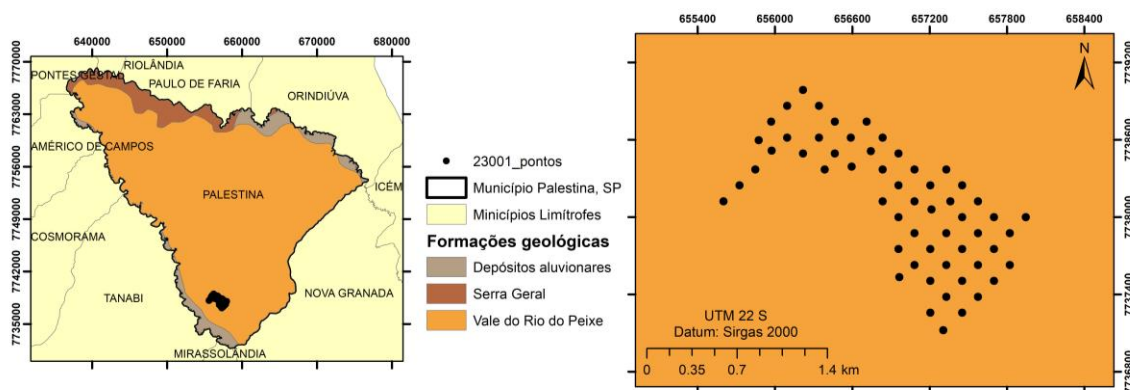


Figura 2. Caracterização geológica da área de estudo – Município de Palestina– SP.

A formação Vale do Rio do Peixe do Grupo Bauru se estende até parte da região oeste de São Paulo e do Triângulo Mineiro (FERNANDES e COIMBRA, 2000). É composto por estratos de espessura submétrica (geometria tabular típica), de arenitos intercalados com siltitos ou lamitos arenosos, de contatos pouco erosivos. Os arenitos são muito finos, de coloração marrom-claro rosado a alaranjado. Tem espessura preservada da ordem de 100 m, medida em perfurações de poços para águas subterrâneas. A Formação Vale do Rio do Peixe repousa diretamente sobre os basaltos da Formação Serra Geral (Grupo São Bento), sendo estes contatos sub-horizontal e não erosivo.

De acordo com a caracterização pedológica pré-existente os solos são de textura predominantemente arenosa, em sua maioria representada por Argissolos (EMBRAPA, 2006) (Figura 3). Esses solos foram definidos pelo SBCS (Embrapa, 2006) pela presença de horizonte diagnóstico B textural, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo. Apresentam frequentemente, mas não exclusivamente, baixa atividade da argila (CTC), podendo ser alíticos (altos teores de alumínio), distróficos (baixa saturação de bases) ou eutróficos (alta saturação de bases), sendo normalmente ácidos.

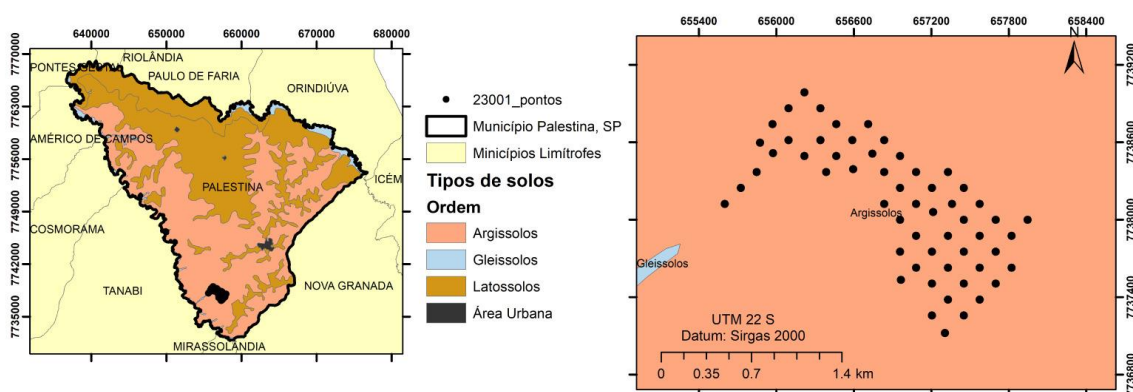


Figura 3. Solos da área de estudo – Município de Palestina– SP.

A área de amostragem do solo foi composta por 57 pontos com cultivo de cana em 3<sup>o</sup> (Ano 2016) 4<sup>o</sup> (Ano 2017) e 5<sup>o</sup> (Ano 2018) cortes, totalizando aproximadamente 173 hectares (ha) (Figura 4).

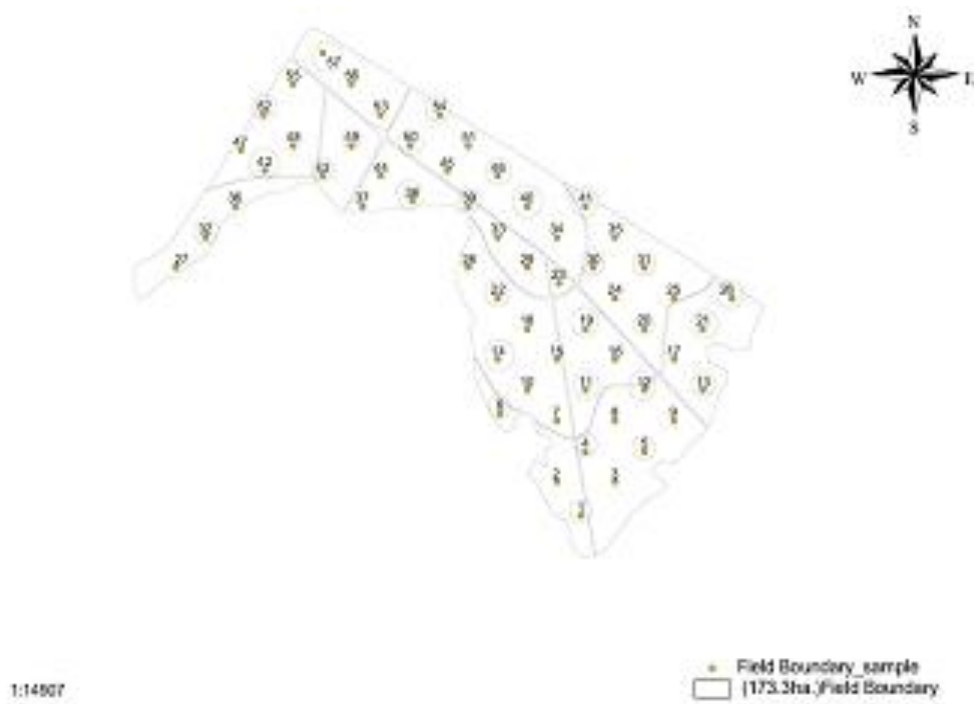


Figura 4. Área Experimental de amostragem de solos e coleta do NDVI, Palestina/SP.

A variedade de cana-de-açúcar cultivada na área foi a RB855156 sendo esta de colheita precoce (colheita de abril a maio) e os seguintes caracteres agrônômicos: elevado touceiramento, principalmente na soca, colmos eretos, mas

decumbentes na fase adulta, empalhados, de diâmetro fino a médio, de cor verde-clara, e com presença de rachaduras. O plantio ocorreu após preparo convencional do solo, onde foram feitas as correções e adubações de rotina com nitrato, MAP e KCl. O plantio inicial ocorreu no dia 14 de março de 2013, a colheita do quinto corte foi no dia 02 de maio de 2018. O processo de colheita da cana foi o mecanizado.

As amostragens de solo foram realizadas a partir do mapa de fertilidade gerado, que, em sua grande maioria, são realizadas de acordo com uma grade amostral definida previamente com base nas características da área e na densidade amostral desejada. A densidade amostral utilizada nesse estudo foi de 1 amostra a cada 3 hectares, totalizando 0,33 amostras por hectare. Essa medida foi escolhida por representar boa representatividade da área e boa relação custo-benefício. Em todos os pontos pré-definidos foram feitas 9 sub-amostras periféricas de 0-25 cm e uma central. Nos pontos circulados, foi feita amostragem de 25-50 cm, além da amostragem de 0-25 cm, seguindo a mesma metodologia.

A metodologia é muito utilizada em áreas comerciais de sistema de produção agrícola de cana-de-açúcar e foi realizada com o programa informatizado SStolbox®, que utiliza o Sistema de Informações Geográficas (SIG), onde um algoritmo converte as informações das variáveis estudadas para cada ponto. A malha amostral pode ser observada na Figura 5.

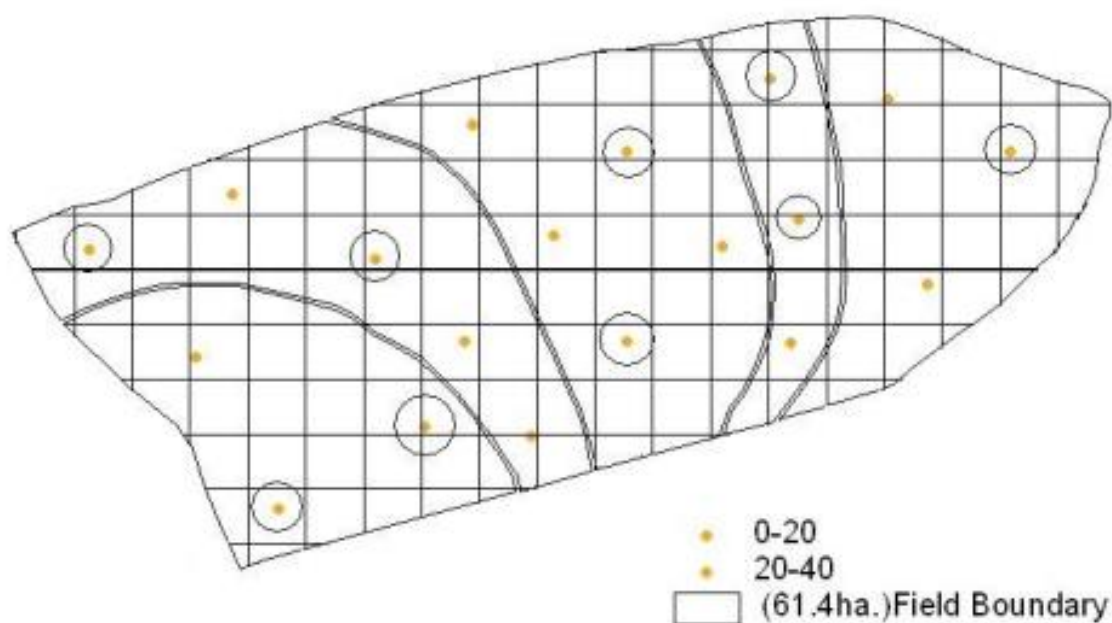


Figura 5. Malha amostral realizada com o SStolbox Lite 3.6.

A coleta das amostras foi realizada utilizando um trado do tipo holandês (Figura 6), que permitiu a retirada da amostra nas profundidades 0-10 cm e 20-40 cm, com a mesma quantidade de solo nos pontos amostrados.



Figura 6. Ferramenta de coleta de solo – trado holandês.

Os pontos de coleta foram pré-definidos, cadastrados e georreferenciados em um mapa e com auxílio de um receptor de posicionamento global – GPS do modelo Garmin Etrex 10 conectado ao GPS e GLONASS com precisão de 1 a 1,5m. Os receptores GPS coletam dados enviados pelos satélites, transformando-os em coordenadas, distâncias, tempo, deslocamento e velocidade, através de processamento em tempo real ou pós-processados. Os dados coletados foram pós-processados no programa GPSurvey e cadastrados no Programa Topograph para a coleta das coordenadas de cada ponto amostrado assim como do valor da altitude.

Nos pontos de coleta foram retirados detritos e restos da cultura da cana. Pontos próximos a cupins, formigueiros, casas, estradas, currais, estrume de animais, depósitos de adubo, calcário e manchas de solo foram evitados.

A ferramenta foi posicionada perpendicularmente ao solo e a 25 cm da linha de cana. A primeira amostra coletada foi a de 0-25 cm e colocada em um balde que representou a profundidade amostrada (amostra composta) seguida pela amostragem na profundidade de 25- 50 cm formando outra amostra composta (Figura 7).





Figura 7. Ponto de amostragem (25 cm da linha de plantio da cana-de-açúcar) (a), Trado perpendicular ao solo para a retirada da amostra (b).

A tradagem foi repetida do mesmo modo em cada um dos pontos para a formação da amostra composta, a qual foi homogeneizada e cerca de 300g de terra do balde foi retirada e colocada em saco plástico para análise ao laboratório. No laboratório, as amostras foram secas ao ar e peneiradas na fração de 2 mm, para posterior acondicionamento em caixinhas com as informações de cada ponto. Essas amostras condicionadas foram utilizadas para as análises químicas.

Foram feitas as análises químicas de matéria orgânica (MO); pH em SMP; pH  $\text{CaCl}_2$ ; Fósforo Resina (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Alumínio (Al) em KCl; Alumínio + Hidrogênio (H+Al) SMP; Soma de Bases (SB); Capacidade de Troca Catiônica (CTC); Saturação de Bases (V%); Enxofre (S); no laboratório de solos, conforme a metodologia de Raij e Quaggio (1989).

A matéria orgânica foi determinada por métodos indiretos, usando combustão por via úmida ou por via seca, medindo-se a subsequente evolução do gás carbônico (ALLISON et al., 1965).

O pH em solução de cloreto de cálcio 0,01 mol/L foi introduzido por Schofield e Tylor (apud Rossa, 2006) e sua determinação apresenta algumas vantagens em relação à determinação do pH em água, conforme descrito por Peech (apud ROSSA, 2006). O pH em  $\text{CaCl}_2$  é pouco afetado pela relação entre o solo e a solução, a concentração salina de 0,01 mol/L é suficiente para padronizar as variações de sais entre amostras, evitando variações estacionais de pH, a suspensão de solo em  $\text{CaCl}_2$  é floculada, o que minimiza os erros provenientes do potencial de junção líquida, uma vez que o eletrodo de referência permanece em um sobrenadante isento de partículas de solo. A concentração salina utilizada é semelhante à



concentração de sais observada em solução de solo de boa fertilidade. A fórmula utilizada para esse cálculo é  $\text{pH} = -\log (\text{H}^+)$ .

Outro valor de pH foi determinado em solução tampão SMP - Shoemaker, Mc Clean e Pratt em 1961. A solução SMP foi idealizada de tal forma que a sua curva de neutralização com ácido é uma reta em uma considerável faixa de pH. O princípio de uso de soluções- tampão para a determinação da necessidade de calagem em solos é bastante simples. Adiciona-se a uma quantidade de solo, um volume da solução-tampão e agita-se. Estabelece-se o equilíbrio. É lido o pH da suspensão, em geral representada por pH SMP. Quanto maior for a acidez potencial do solo, maior será a depressão de pH da solução tampão em contato com o solo.

Existe uma variedade muito grande de métodos de extração de fósforo nos solos, o que é um reflexo da complexidade do comportamento do elemento no solo. O método da resina trocadora de ânions consegue extrair o P disponível,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis foram extraídos com resina trocadora de íons, seguindo os métodos de Raij e Quaggio (2001). O extrator utilizado nesse método foi o ácido sulfúrico 0,05N ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N) desenvolvido pelo Instituto Agronômico de Campinas (Catan; Gargantini, 1955) recomendando a extração de 4g de terra com 100 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05N.

O teor de alumínio trocável é importante na avaliação da capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos, ou da saturação da CTC efetiva em alumínio. Em algumas regiões do Brasil, o teor de Al trocável no solo é utilizado como referência para o cálculo da necessidade de calagem dos solos (KAMPRATH, 1970). Como o alumínio é considerado o cátion predominante da acidez trocável na maioria dos solos brasileiros, o resultado obtido na titulação do extrato de solo em KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  com NaOH  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$  é considerado como sendo o teor de Al (EMBRAPA, 1997).

O enxofre é extraído do solo com solução de  $\text{CaH}_2\text{PO}_4$   $0,01 \text{ mol/L}$ , que extrai principalmente a forma de sulfato, considerada disponível as plantas. Convém ressaltar que é comum haver acúmulo de sulfato abaixo da camada arável e, assim, uma diagnose mais apurada sobre a disponibilidade de enxofre deve levar em conta, também, os teores da camada de 20-40 cm de profundidade.

As argilas minerais, as substâncias húmicas e os óxidos de ferro e alumínio possuem determinada superfície de troca e são os principais coloides responsáveis

pela capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos sob condições tropicais. Em razão do maior número de cargas negativas do que positivas desses coloides, a adsorção é principalmente de cátions. No entanto, há alguns sítios nestes coloides com cargas positivas que podem atrair ânions (principalmente nos óxidos de ferro e alumínio). A fórmula utilizada para cálculo da CTC é  $t = SB + Al^{3+}$ .

A capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou dos húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável ( $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + H^+ + Al^{3+}$ ) (EMBRAPA, 2010).

A CTC pode ser expressa como “CTC total” quando considerar todos os cátions permutáveis do solo ( $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + H^+ + Al^{3+}$ ). No entanto, o  $H^+$  só é retirado da superfície de adsorção por reação direta com hidroxilas ( $OH^-$ ) originando água ( $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$ ). Quando a CTC é expressa sem considerar o íon  $H^+$  ( $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Al^{3+}$ ) a denominação é “CTC efetiva”. Um solo pode apresentar alto valor de CTC total (por exemplo,  $100 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ), mas uma parcela significativa das cargas negativas do solo (por exemplo, 60%) está adsorvendo íons  $H^+$ , e a CTC efetiva será de apenas  $40 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto  $H^+$  e  $Al^{3+}$  ( $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ ). Denomina-se saturação por bases (V%) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions. Essa relação pode ser representada pela seguinte fórmula:

$$V\% = (100 \times S) / T = [100 \times (Ca+Mg+K+Na)] / (Ca+Mg+K+Na+H+Al)$$

Neste trabalho foi analisado a fertilidade atual, e ter-se-á a noção da complexidade da fertilidade do solo com o manejo da cultura de cana-de-açúcar ao longo do tempo. Sendo assim, a interpretação dos dados foi considerada pelas correções realizadas, por exemplo, calagem, adubação fosfatada etc. e foi caracterizada pela determinação das formas disponíveis dos nutrientes do solo.

Para o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), a imagem utilizada foi Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1, *Path:221 e Row:74*, Município de Palestina, SP (<<https://earthexplorer.usgs.gov/>>). A data escolhida para a retirada

das imagens foi a de 1 mês antes da colheita da cana, por haver menor ocorrência de nuvens e céu considerado limpo.

A composição Landsat-8 de 6 Bandas foi criada e, em seguida, foi gerada a imagem NDVI no ArcGIS 10.1. No processamento foram utilizadas as bandas: *Band 4 – Red, 0.64 – 0.67 Wavelength (micrometers)* e *Band 5 – Near Infrared (NIR) - 0.85 – 0.88 Wavelength (micrometers)*, ambas com resolução espacial de 30 m. Os espectros de NDVI obtidos nas imagens relativas às diferentes datas foram unidos nos eixos "x" e "y" as coordenadas geográficas e no eixo "z" o espectro temporal NDVI. A interferência de ruídos, o que ocasiona variações indesejáveis que prejudicam a análise espectral, foi suavizada pela combinação de dois métodos (Carvalho Junior et al., 2008a): (a) emprego do filtro de mediana ao longo do espectro, e (b) emprego da transformação Minimum Noise Fraction (MNF) um procedimento estatístico no âmbito da Análise de Principais Componentes (Green et al., 1988), que concilia tanto os procedimentos de segregação da componente ruído como também de redução da dimensionalidade dos dados. A reclassificação no *Raster* foi realizada para extrair o espectro da vegetação da imagem nos recortes dos intervalos do NDVI, utilizando a metodologia *Natural Breaks (Jenks)*. As imagens utilizadas foram datadas de 16/04/2016, 19/04/2017 e 22/04/2018.

De posse das imagens georreferenciadas, efetuou-se o cadastro dos pontos visualmente nas mesmas com relação ao polígono da região de estudo e então recortou-se somente as áreas que representam os talhões de cana-de-açúcar estudados.

Em seguida o índice foi calculado pela diferença entre as bandas do Infra Vermelho Próximo (IVP, 0.85 – 0.88 micrometers – Banda 4) e do Vermelho (V, 0.64 – 0.67 micrometers – Banda 3), normalizada pela soma das mesmas bandas de acordo com a equação (1). O índice foi proposto visando eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimizar os efeitos da atenuação atmosférica observados para dados multitemporais.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V}$$

Sendo:

NDVI, valor do índice de vegetação da diferença normalizada;

IVP, valor da reflectância na faixa do infravermelho próximo (0.85 – 0.88 micrometers);

V, valor da reflectância na faixa do vermelho (0.64 – 0.67 micrometers).

A partir dos valores de NDVI gerados para cada pixel da imagem, foi selecionado o pixel mais próximo dos pontos de coleta de solo e este valor de NDVI adotado como o representativo daquela região.

O processamento digital das imagens e o cálculo do NDVI foram realizados utilizando o programa ArcGIS (Versão 10.2).

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva, calculando-se a média, o erro padrão da média, o desvio-padrão, o maior, o menor, o coeficiente de variação, a moda e a mediana. Na análise estatística dos dados, foi utilizado o programa R.

Os limites de interpretação das determinações dos teores químicos do solo constam na Tabela 1.

Tabela 1. Limites de interpretação das determinações dos teores químicos do solo de acordo com Raij et al (1989).

Amostra	Unidade	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
MO	g cm <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-
pH(Smp)	-	>6,0	5,6-6,0	5,1-5,5	4,4– 5,0	Até 4,3
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	0,6	7-15	16-40	41-80	>80
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	3,1-6,0	>6,0
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		0,3	4-7	>7	-
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		0-4	5-8	>8	-
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-	-	-	-	-
V%	%	0-25	26-50	51-70	71-90	>90
S	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-	0-4	5-10	>10	-

De acordo com Raij et al. (1989), o teor de matéria orgânica do solo não revelou ser, no Estado de São Paulo, um índice adequado para predizer a

disponibilidade de nitrogênio em solos e, conseqüentemente, não tem sido usado para essa finalidade.

Esse índice é útil para dar idéia da textura do solo, com valores até de  $15 \text{ g/dm}^3$  para solos arenosos, entre  $16$  e  $30 \text{ g/dm}^3$  para solos de textura média e de  $31$  a  $60 \text{ g/dm}^3$  para solos argilosos. Valores muito acima de  $60 \text{ g/dm}^3$  indicam acúmulo de matéria orgânica no solo por condições localizadas, em geral por má drenagem ou acidez elevada.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de rotina do solo apresentaram os resultados indicadores da disponibilidade de nutrientes e outros complementares que auxiliam na avaliação da fertilidade, do estresse ou de impedimentos químicos ao desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar.

Na análise do teor de matéria orgânica, observa-se que ocorre uma diminuição dos valores das camadas de 0-25 cm para 25 – 50 cm em todos os anos analisados e os valores oscilaram entre 33 a 8 g.cm<sup>-3</sup>, caracterizando uma superfície de solo que varia da textura arenosa à argilosa (Tabela 1).

Os menores teores de matéria-orgânica em relação à profundidade foram observados nos anos estudados, ocorrendo uma diferença média entre as camadas de 0-25 e 25-50 de 11,9 g cm<sup>-3</sup> a 11,6 g cm<sup>-3</sup> em 2016, de 16,05 g cm<sup>-3</sup> a 13,89 g cm<sup>-3</sup> em 2017 e 23,09 g cm<sup>-3</sup> a 21,25 g cm<sup>-3</sup> em 2018. Este fato reflete, também, o sistema de colheita efetuado, caracterizando uma cobertura de palha que incrementa a matéria orgânica do solo ao longo do tempo. O sistema de colheita mecanizado colhe a cana crua, sem queima, liberando na superfície do solo uma camada de palha que se decompôs em diferentes níveis ao longo dos cortes durante os três ciclos de cultivo.

Chaves e Farias (2008), ao estudarem os estoques de carbono em tabuleiros costeiros cultivados com cana-de-açúcar observaram maiores estoques de carbono na camada 0-30 cm em relação às camadas 30-60 e 60-90 cm. Esses resultados corroboram com os encontrados por Brady e Weil (1999), comparando solos com pastagem e floresta. O que corrobora com o trabalho realizado, confirmando que os resíduos orgânicos são depositados na superfície do solo, o que faz a matéria orgânica acumular nas camadas superficiais do solo.

O pH em solução SMP apresentou os mesmos padrões, com valores em torno de 7,06 a 7,11, considerado solo alcalino, em profundidade e nos três anos estudados. A estreita correlação entre os valores de pH da solução tampão SMP e os teores de H + Al determinados pela extração com acetato de cálcio (Figura 8) indicam a utilização da medida do pH de equilíbrio da solução tampão SMP com o solo para determinar a acidez potencial na área.

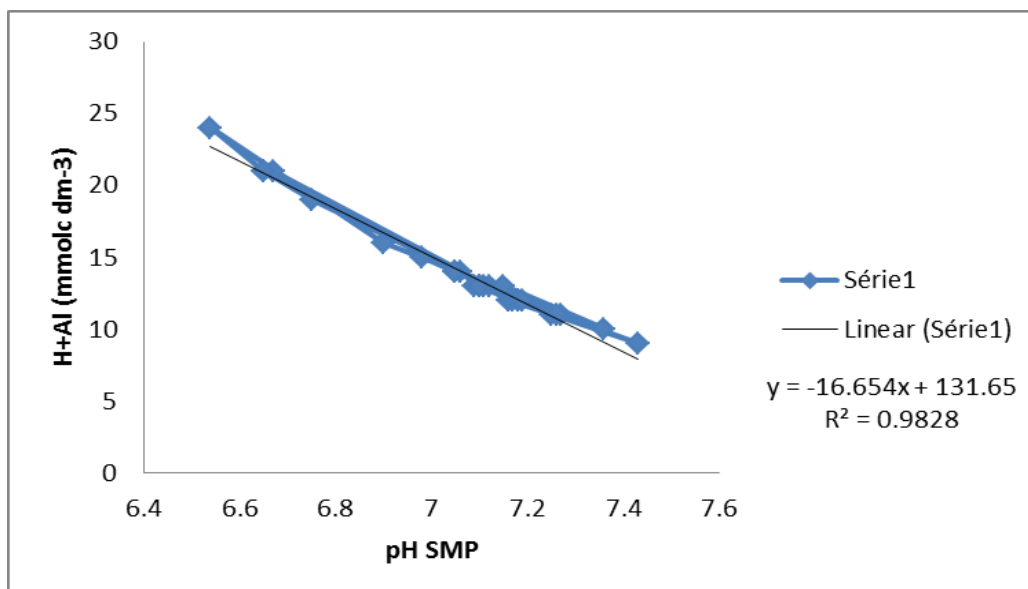


Figura 8. Correlação entre os valores de pH da solução tampão SMP e os teores de H + Al determinados pela extração com acetato de cálcio.

Raij et al. (1979) indicam que quanto maior for esta queda maior é a habilidade do solo em fornecer hidrogênio para a solução. Assim, quanto maior for a queda do pH em relação ao pH 7,5 da solução SMP, implica em maior capacidade do solo em fornecer hidrogênio para baixar o pH. Dessa forma é possível se estimar o poder tampão dos solos, isto é, sua capacidade em recuperar o pH original em contato com uma solução alcalina. Assim, pode-se inferir que quanto menor for o pH em SMP, maior é o poder tampão do solo, isto é, maior a dificuldade em mudar seu pH original quando em contato com uma base, o que pode-se observar no solo em questão. Assim, no que tange para a implantação do processo de calagens, quanto menor for o pH em SMP, maiores as doses de calcário necessárias para se fazer a correção a um pH desejável.

O pH em uma solução 0,001m de cloreto de cálcio, os valores no solo variaram de 4,8 a 6,8, indicando que o alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizado e pode não causar maiores danos ao sistema radicular, corroborando com os trabalhos de Sobral et al. (2015). As amostras encontram-se com pH classificados como bom e alto, de acordo com a CFSEMG (1999), com valores entre 5,5 e 7,0. A diferença do valor de pH entre os anos ocorre tendo em vista a correção do solo por calagem, ocasionado o aumento do pH para 5,10 a 6,10

em 2018. A correção do solo pelo uso de calagem promove variações nos atributos químicos do solo nas camadas mais superficiais.

Como a finalidade é de aumentar o pH do solo, no solo é liberado os íons de hidrogênio. Esta liberação de hidrogênio a partir dos hidróxidos decorrentes da hidrólise faz o pH dos solos cair, portanto acidificando-os. Por isto, a soma de H + Al é chamada de acidez potencial: Se refere ao potencial que o próprio alumínio tem de acidificar os solos durante sua hidrólise (RAIJ, 2011). O aumento do pH do solo, para que este elemento não esteja disponível em quantidades tóxicas, é uma das práticas mais eficientes para resolver os problemas relacionados à acidez, à elevação do pH, aos suprimentos de Ca e Mg e à saturação por bases (MOREIRA e FAGERIA, 2010).

O fósforo P resina variou de 8 a 125 mg.dm<sup>3</sup>, com uma homogeneização ao longo do tempo, conforme observado pelo menor valor do CV em 2018 (32,31%). Os valores médios (Tabela 2, 3, 4, 5 e 6) caracterizam o solo no limite de interpretação (Tabela 1) como médio, exceto na camada de 25-50 cm, no ano de 2017 considerado baixo.

Os solos tropicais se caracterizam pelo elevado grau de intemperismo e pelos baixos teores de fósforo na forma disponível as plantas (BONSER et al., 1996; ROCHA et al., 2005). Essa homogeneização pode ser devida ao fato de que nos solos tropicais há maior teor de óxidos de ferro e alumínio e as reações de P com Ca, Fe ou Al determinam, em grande parte, a biodisponibilidade de P (RAIJ, 1991).

As características e o teor dos constituintes minerais da fração argila são responsáveis pela velocidade do processo de passagem do P lábil para o P não-lábil (Gonçalves et al., 1989) podendo indicar essa alta variação ( 8 – 125 mg. dm<sup>3</sup>). Fox e Searle (1978) indicaram que o processo de adsorção pode acontecer preferencialmente, segundo uma ordem de predomínio dos minerais de argilas 2:1, seguido pelas argilas 1:1 e óxidos de Fe e Al. A adsorção de fosfato pelos solos é influenciada pelos minerais que apresentam grupamentos superficiais Fe-OH e Al-OH, nos quais o fosfato pode ser adsorvido por meio de troca de ligantes com o estabelecimento de ligações covalentes (MESQUITA FILHO e TORRENT, 1993).

Este elemento apresenta uma função importante na fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, divisão de células, crescimento de célula



e vários outros processos na cana-de-açúcar, por esses fatores é de extrema importância (FAQUIN, 2005). Em relação ao fósforo em cana-de-açúcar, Caione (2011) afirma que a altura das plantas e o perfilhamento da cana-de-açúcar são fortemente influenciados pela adubação fosfatada Korndörfer e Melo (2009) observaram respostas positiva na produção de colmos com o incremento das doses de  $P_2O_5$ .

O potássio é essencial em quase todos os processos necessários para sustentar o crescimento de uma planta e sua reprodução e quando ocorre deficiência, as plantas são menos resistentes às estiagens, ao excesso de água e a elevadas e baixas temperaturas, as doenças e pragas (VIEIRA, 2010). Este elemento variou de 0,6 a 9,70  $mmol_c.dm^{-3}$ , com teores muito baixo a muito alto (Tabela 1). Este fato ocorre por ser uma área onde aplica-se vinhaça. Ao longo do tempo de 2016 para 2018 observa-se um aumento médio dos valores, o que indica os níveis médios de média a alto, conforme dados classificados na Tabela 1. Os menores valores, considerado teores baixos foram observados nas camadas inferiores (25 a 50 cm).

A capacidade de troca de cátions (CTC) é a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação na cultura. O solo em questão apresentou CTC de média, o que requer menor quantidade de calcário para aumentar o pH.

A saturação por bases (V%) reflete a porcentagem dos pontos de troca de cátions no potencial do complexo coloidal do solo, que estão ocupados por bases, servindo para separar os solos considerados férteis (V% > 50) de solos de menor fertilidade (V% < 50). As análises de saturação por bases (V%) demonstram que as amostras de solo apresentaram resultados 45 até 85%, indicando solos férteis com boa condição para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, reflexo da alta tecnificação utilizada nas áreas por trabalho (RAIJ, 1989).

A cultura de cana-de-açúcar tem maior possibilidade de boa produtividade quando o valor de V% está compreendido entre 50 e 80% e um pH entre 5,7 e 6,5 (RAIJ et al, 1996). Um solo que apresenta médio a alto V% significa que existe uma menor adsorção de  $Al^{3+}$  e  $H^+$  e quantidades maiores de cátions básicos  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ , adsorvidos nos coloides do solo, contendo menos  $Al^{3+}$  tóxico no solo,

melhorando o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, ocorrendo maior absorção de água e nutrientes essenciais (CAVALCANTI, 2017).

Os valores do NDVI para a estimativa de classes de refletância da cultura nos anos de 2016, 2017 e 2018 constam na Figura 8.

A análise descritiva das variáveis dos atributos do solo nas profundidades de 0 -25 cm e 25 - 50 cm, da área de estudo nos anos de 2016, 2017 e 2018 encontram-se nas Tabelas 2 (0-25 cm em 2016), 3 (25-50cm em 2016), 4 (0-25cm em 2017), 5 (25-50cm em 2017), 6 (0-25 cm em 2018) e 7 (25-50 cm em 2018).

Tabela 2. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo na amostra na profundidade de 0-25 cm, no ano de 2016.

Amostra	Unidade	Média	Maior	Menor	Moda	Mediana	DP	CV
MO	g cm <sup>-3</sup>	11,9	23,0	7,0	11,0	11,0	2,5	21,4
pH(Smp)	-	7,2	7,5	7,0	7,2	7,3	0,1	1,5
pH	-	5,9	6,3	4,8	6,1	5,9	0,2	4,1
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	22,2	59,0	10,0	20,0	20,0	10,7	48,2
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,6	5,4	0,6	2,8	2,4	1,0	41,94
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	13,4	25,0	7,0	13,0	13,0	3,7	27,3
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,0	18,0	4,0	9,0	8,0	2,5	31,7
Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,0	2,0	0,0	1,0	1,0	0,3	26,7
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11,5	15,0	9,0	12,0	11,0	1,4	11,7
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	24,2	46,4	12,4	28,3	24,2	6,2	25,6
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	35,7	56,4	25,6	41,0	35,8	5,8	16,1
V%	%	66,7	82,0	45,0	66,0	68,0	7,3	11,0
S	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,6	9,0	5,0	9,0	8,0	1,4	19,1

Unidades: mmol<sub>c</sub>/kg (milimol de carga por decímetro cúbico). - milésimo do número de mols de carga. Pelo Sistema Internacional, a massa molecular deve ser expressa pelo número de mols de dada substância. mg: miligrama da massa molecular; g: grama da massa molecular.

Tabela 3. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo na profundidade de 25-50 cm no ano de 2016.

Num	Unidade	Média	Maior	Menor	Moda	Mediana	DP	CV
MO	g cm <sup>-3</sup>	11.6	21.0	8.0	12.0	11.0	2.8	24.5
pH(Ssmp)	-	7.2	7.4	7.1	7.4	7.3	0.1	1.4
pH	-	5.8	6.1	5.2	5.8	5.9	0.2	3.4
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	26.4	125.0	8.0	15.0	20.5	25.1	94.9
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2.9	7.1	0.7	2.1	2.8	1.5	52.1
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	13.4	20.0	8.0	12.0	13.0	2.9	22.1
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8.5	21.0	4.0	7.0	8.0	3.2	37.5
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	11.4	14.0	9.0	12.0	11.0	1.3	11.3
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	24.8	41.9	14.0	23.1	23.8	6.0	24.4
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	36.2	52.9	26.0	34.1	35.1	5.8	16.1
V %	%	67.8	79.0	53.0	69.0	68.5	6.4	9.5
S	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7.9	9.0	4.0	9.0	8.0	1.4	18.1

Unidades: mmolc/kg (milimol de carga por decímetro cúbico). - milésimo do número de mols de carga. Pelo Sistema Internacional, a massa molecular deve ser expressa pelo número de mols de dada substância. mg: miligrama da massa molecular; g: grama da massa molecular.

Tabela 4. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo na profundidade de 0-25 cm, no ano de 2017.

	Unidade	Média	Maior	Menor	Moda	Mediana	DP	CV
MO	g cm <sup>-3</sup>	16,05	21,00	11,00	17,00	16,00	2,19	13,65
pH(Smp)		7,09	7,41	6,55	7,16	7,16	0,20	2,83
pH		5,95	6,80	5,20	5,80	5,90	0,35	5,85
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	20,49	82,00	8,00	23,00	19,00	10,92	53,31
K	mmolc dm <sup>-3</sup>	4,51	8,40	1,10	5,10	4,70	1,43	31,73
Ca	mmolc dm <sup>-3</sup>	18,88	39,00	12,00	19,00	19,00	3,97	21,05
Mg	mmolc dm <sup>-3</sup>	6,53	16,00	4,00	6,00	6,00	1,90	29,12
H+Al	mmolc dm <sup>-3</sup>	13,75	24,00	10,00	12,00	12,00	3,10	22,50
SB	mmolc dm <sup>-3</sup>	29,92	58,80	19,20	32,10	29,80	6,15	20,57
CTC	mmolc dm <sup>-3</sup>	43,67	68,80	30,20	38,70	43,30	6,94	15,90
V %	%	68,35	85,00	58,00	64,00	69,00	5,67	8,30
S	mmolc dm <sup>-3</sup>	6,39	9,00	3,00	9,00	6,00	1,90	29,70

Unidades: mmolc/kg (milimol de carga por decímetro cúbico). - milésimo do número de mols de carga. Pelo Sistema Internacional, a massa molecular deve ser expressa pelo número de mols de dada substância. mg: miligrama da massa molecular; g: grama da massa molecular.

Tabela 5. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo – na profundidade de 25-50 cm no ano de 2017.

Num	Unidade	Média	Maior	Menor	Moda	Mediana	DP	CV
MO	g cm <sup>-3</sup>	13,89	19,00	11,00	14,00	14,00	1,93	13,90
pH(Smp)	-	7,06	7,43	6,54	7,10	7,11	0,22	3,15
pH	-	5,79	6,50	5,20	5,90	5,80	0,31	5,43
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	14,93	34,00	8,00	10,00	14,00	5,57	37,32
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,55	6,70	1,40	2,50	3,25	1,26	35,50
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	17,71	44,00	12,00	17,00	17,00	5,63	31,78
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	6,36	19,00	4,00	6,00	6,00	2,87	45,15
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	14,07	24,00	9,00	13,00	13,00	3,73	26,51
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	27,62	65,60	18,40	21,40	26,55	8,40	30,41
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	41,69	78,60	30,40	40,70	40,75	8,96	21,49
V %	%	65,75	83,00	51,00	68,00	67,00	7,42	11,29
S	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,36	9,00	3,00	5,00	5,00	1,89	35,28

Unidades: mmolc/kg (milimol de carga por decímetro cúbico). - milésimo do número de mols de carga. Pelo Sistema Internacional, a massa molecular deve ser expressa pelo número de mols de dada substância. mg: miligrama da massa molecular; g: grama da massa molecular.

Tabela 6. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo – na profundidade de 0-25 cm no ano de 2018.

Amostra	Unidade	Média	Maior	Menor	Moda	Mediana	DP	CV
MO	g cm <sup>-3</sup>	23,09	33,00	15,00	25,00	23,50	4,41	19,11
pH(Smp)	-	7,11	7,42	6,52	6,99	7,13	0,19	2,68
pH	-	5,81	6,30	5,10	5,90	5,90	0,27	4,63
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	31,09	51,00	11,00	37,00	30,50	10,04	32,31
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,53	9,70	1,40	6,00	4,25	1,78	39,28
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	18,98	34,00	9,00	23,00	18,00	6,45	33,97
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,52	26,00	5,00	9,00	10,00	3,79	36,08
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	13,43	24,00	9,00	13,00	13,00	2,88	21,48
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	34,03	68,70	16,30	44,00	33,10	10,70	31,45
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	47,46	79,70	29,20	38,40	45,70	10,87	22,91
V%	%	70,59	86,00	45,00	72,00	71,00	7,50	10,63
S	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,20	14,00	3,00	12,00	9,50	3,35	36,42

Unidades: mmolc/kg (milimol de carga por decímetro cúbico). - milésimo do número de mols de carga. Pelo Sistema Internacional, a massa molecular deve ser expressa pelo número de mols de dada substância. mg: miligrama da massa molecular; g: grama da massa molecular.

Tabela 7. Análise descritiva das variáveis dos atributos do solo – na profundidade de 25- 50 cm, no ano de 2018.

Num		Média	Maior	Menor	Moda	Mediana	DP	CV
MO	g cm <sup>-3</sup>	21,25	33,00	15,00	21,00	21,00	4,22	19,87
pH(Ssmp)	-	7,10	7,37	6,57	7,23	7,15	0,18	2,49
pH	-	5,72	6,10	5,20	6,00	5,70	0,27	4,69
P resina	mg dm <sup>-3</sup>	31,11	49,00	15,00	27,00	30,00	9,23	29,67
K	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,94	9,30	1,20	6,30	4,80	1,95	39,48
Ca	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	17,61	36,00	11,00	18,00	16,50	5,80	32,95
Mg	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	10,04	21,00	7,00	8,00	9,00	3,46	34,46
H+Al	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	13,50	23,00	10,00	12,00	13,00	2,80	20,71
SB	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	32,58	66,30	20,60	30,30	30,30	10,44	32,05
CTC	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	46,08	79,30	31,50	-	43,35	11,32	24,57
V %	%	69,82	84,00	61,00	67,00	69,00	5,83	8,35
S	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,36	15,00	3,00	10,00	9,50	3,19	34,07

Unidades: mmolc/kg (milimol de carga por decímetro cúbico). - milésimo do número de mols de carga. Pelo Sistema Internacional, a massa molecular deve ser expressa pelo número de mols de dada substância. mg: miligrama da massa molecular; g: grama da massa molecular.

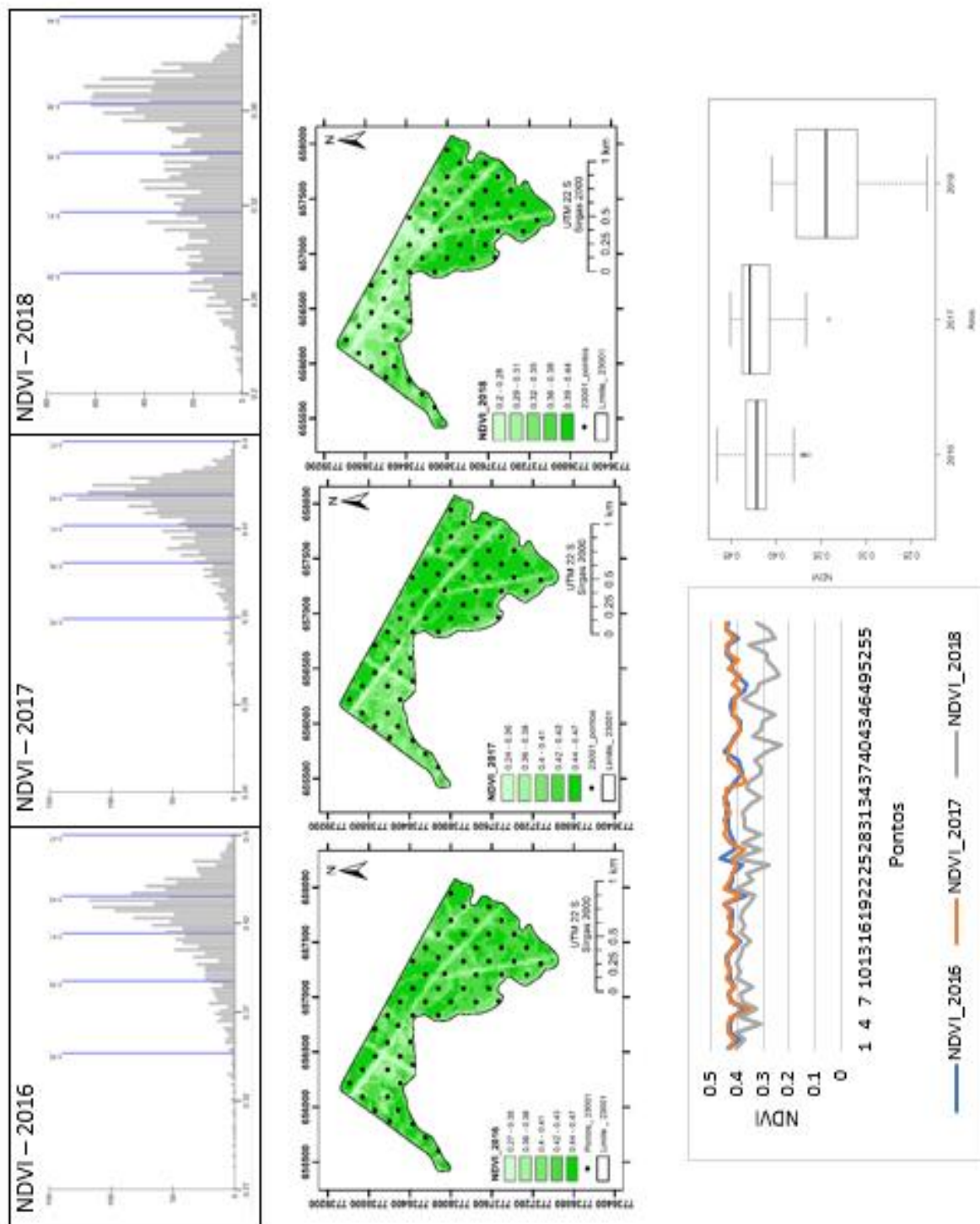


Figura 9. Classes de NDVI na área de estudo.

Nos valores das Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e Figura 9, observa-se a diferença entre os atributos químicos do solo e a reflectância da cultura na superfície da planta captada pelo sensor a bordo do satélite LandSat8, anterior a um mês antes do período de corte realizado nos anos de 2016, 2017 e 2018.

Para compreender a diferença nos mapas do índice de vegetação normalizada - NDVI, faz-se necessário uma análise do comportamento da cobertura vegetal da cana-de-açúcar. Nos mapas temáticos (Figura 9), observam-se que a amplitude vegetação para os anos de 2016 de 0,27 a 0,47, em 2017 de 0,24 a 0,47 e em 2018 de 0,2 a 0,44.

No ano de 2018 é possível perceber a maior intensidade da planta de cana-de-açúcar na área de estudo (Figura 9), com a diferença estatística entre 2016 e 2017 com os valores de 2018, que em média apresentaram menores valores de NDVI. Este fato ocorre tendo em vista a menor reflectância da superfície vegetal, por ser o quinto corte, o que diminui o processo de desenvolvimento mais vigoroso da planta (CTC, 2008).

Apesar de apresentar classes e ciclo diferente da cultura ao longo do tempo, a cultura da cana-de-açúcar apresentou NDVI maiores no terceiro corte, diferença das áreas entre os anos de 2016, 2017 e 2018 (Figura 8).

Na análise da correlação entre os atributos do solo de fertilidade e os valores de NDVI, os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio foram os mais expressivos. Sendo assim, foi realizada uma análise comparativa entre estes valores, conforme observa-se nas Figuras 9, 10 e 11 e Tabela 7.

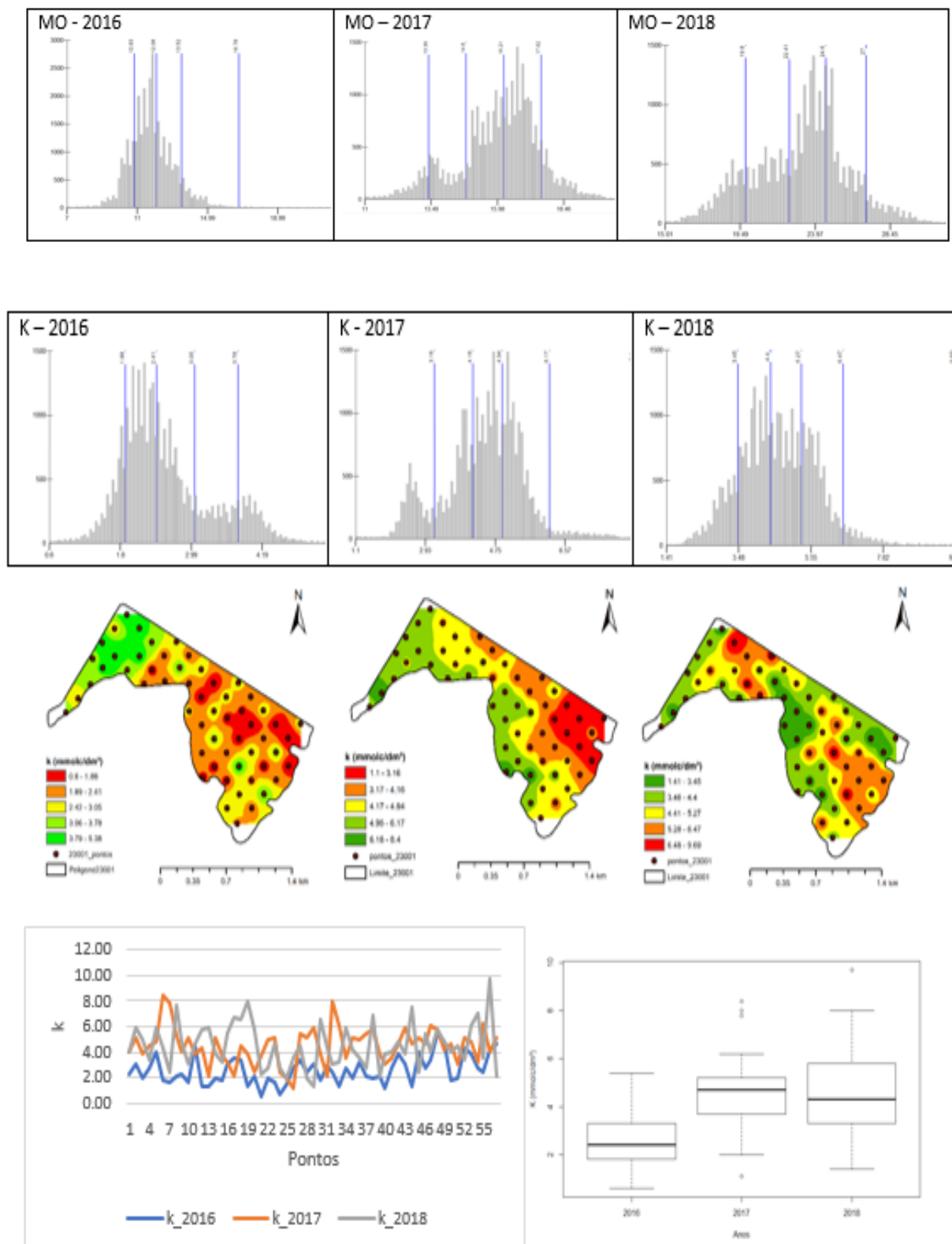


Figura 10. Teores de Matéria-Orgânica nos anos de 2016, 2017 e 2018.



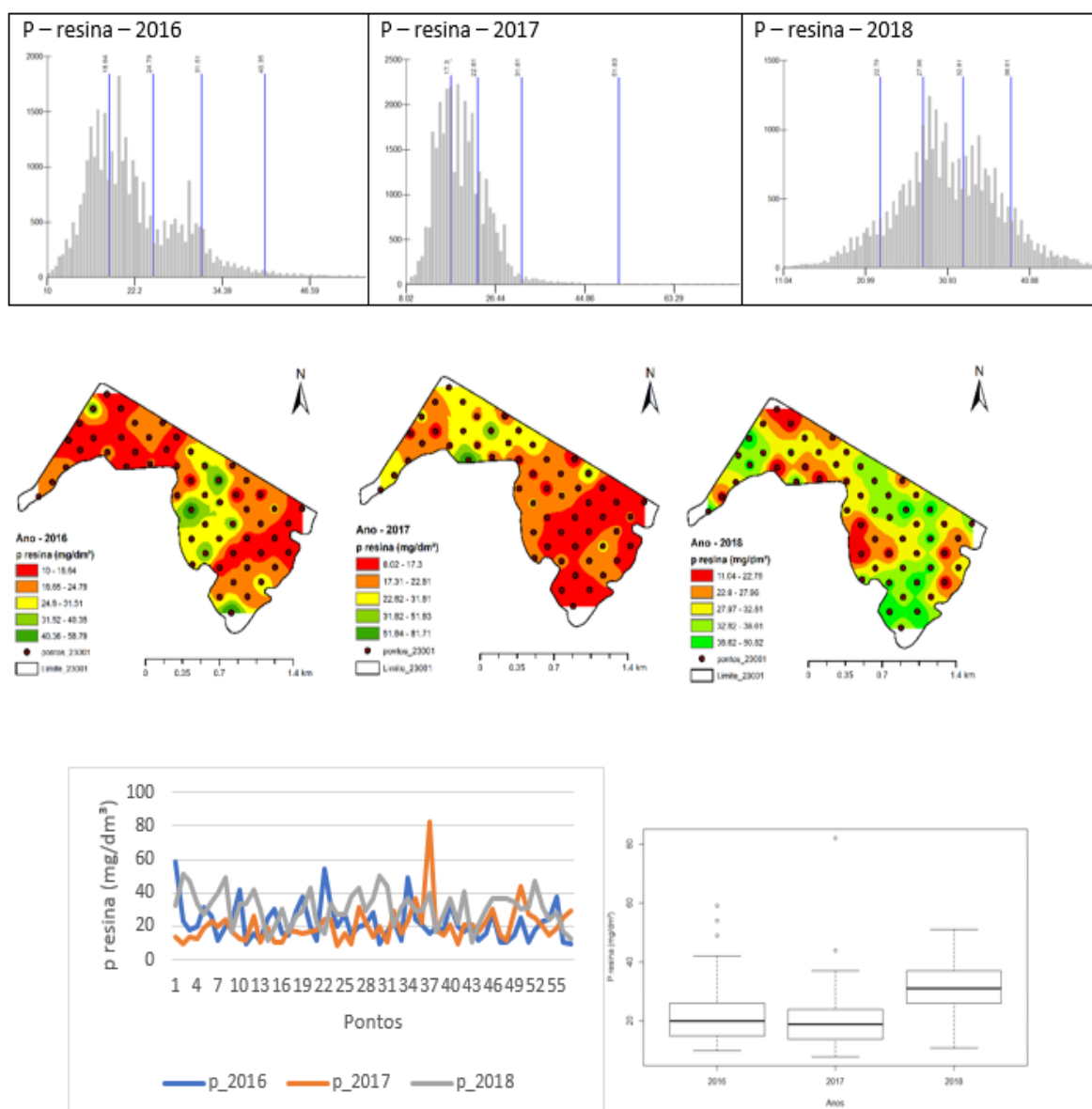


Figura 11. Teores de potássio nos anos de 2016, 2017 e 2018

A diferença temporal entre os valores indica a descrição da variabilidade espacial dos atributos do solo e do NDVI na área (Tabela 7 e Figuras 9, 10 e 11). A técnica de cálculo de NDVI permite que informações sejam obtidas da cultura da cana-de-açúcar, medindo-se a intensidade da energia eletromagnética refletida ou emitida pelas plantas. O sensor óptico detecta a luz de além dos comprimentos de onda visíveis no infravermelho e vermelho, e permite essa avaliação da refletância

de vários comprimentos de onda dentro do espectro eletromagnético, com uma "assinatura espectral" da cultura ao longo do tempo. Tal assinatura depende das características e condições edáficas da área de cultivo e tendo em vista que a reflectância do solo é distintamente diferente da reflectância da planta, tais diferenças de reflectância entre plantas e solo podem ser usadas como um critério para subtrair o fundo do solo das plantas.

A correlação entre os atributos do solo MO, K e P pode indicar que estes elementos são essenciais e distingue a reflectância da cultura da cana-de-açúcar ao longo do tempo, o que mostra que a resposta espectral difere estatisticamente no quinto corte (2018), sugerindo que a tecnologia de sensoriamento remoto, na análise do NDVI, apresenta um alto potencial para definir políticas de manejo e do uso do solo e aprimorar o planejamento da condução do sistema de produção da cultura de cana-de-açúcar.

Na área é possível determinar zonas de manejo específico e maximizar o manejo com o uso dos limites críticos de NDVI, bem como realizar práticas de manejo mais adequadas a partir de um planejamento em dose variada utilizando o NDVI.

A estrutura espacial dos dados dos atributos do solo e do NDVI apresentaram um comportamento muito semelhante. Estudos aprimorando essa técnica ainda são necessários, para também resolver a questão do ponto de vista de agricultura de precisão para aprimorar as práticas de manejo na lavoura e auxiliar no planejamento da condução da cultura no campo, em especial pelas usinas canavieiras, que possuem extensas áreas de cultivo.

Tabela 8. Análise estatística dos valores de matéria orgânica (MO), fósforo (P resina), potássio (K) e NDVI, para os anos de 2016, 2017 e 2018.

	MO			P resina			K resina			NDVI		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018	2016	2017	2018
Mínimo	7	11	15	10	8	11	0.6	1.1	1.4	0.364	0.342	0.232
Q1.25%	10	15	21	15	14	26	1.8	3.7	3.3	0.411	0.408	0.31
Mediana	11	16	23	20	19	31	2.4	4.7	4.3	0.422	0.429	0.345
Média	12	16	23	22	20	31	2.59	4.51	4.53	0.418	0.421	0.341
Desv_pad	3	2	4	11	11	10	1.08	1.43	1.77	0.023	0.023	0.047
Q3.75%	13	17	25	26	24	37	3.3	5.2	5.8	0.434	0.438	0.378
Máximo	23	21	33	59	82	51	5.4	8.4	9.7	0.466	0.451	0.405
CV	21	14	19	48	53	32	41.95	31.73	38.94	5.49	5.557	13.686

A diferença temporal entre os valores indica a descrição da variabilidade espacial dos atributos do solo e do NDVI na área (Tabela 7 e Figuras 9, 10 e 11). A técnica de cálculo de NDVI permite que informações sejam obtidas da cultura da cana-de-açúcar, medindo-se a intensidade da energia eletromagnética refletida ou emitida pelas plantas. O sensor óptico detecta a luz de além dos comprimentos de onda visíveis no infravermelho e vermelho, e permite essa avaliação da refletância de vários comprimentos de onda dentro do espectro eletromagnético, com uma "assinatura espectral" da cultura ao longo do tempo. Tal assinatura depende das características e condições edáficas da área de cultivo e tendo em vista que a refletância do solo é distintamente diferente da refletância da planta, tais diferenças de refletância entre plantas e solo podem ser usadas como um critério para subtrair o fundo do solo das plantas.

A correlação entre os atributos do solo MO, K e P pode indicar que estes elementos são essenciais e distingue a refletância da cultura da cana-de-açúcar ao longo do tempo, o que mostra que a resposta espectral difere estatisticamente no quinto corte (2018), sugerindo que a tecnologia de sensoriamento remoto, na análise do NDVI, apresenta um alto potencial para definir políticas de manejo e do uso do solo e aprimorar o planejamento da condução do sistema de produção da cultura de cana-de-açúcar.

Na área é possível determinar zonas de manejo específico e maximizar o manejo com o uso dos limites críticos de NDVI, bem como realizar práticas de manejo mais adequadas a partir de um planejamento em dose variada utilizando o NDVI.

A estrutura espacial dos dados dos atributos do solo e do NDVI apresentaram um comportamento muito semelhante. Estudos aprimorando essa técnica ainda são necessários, para também resolver a questão do ponto de vista de agricultura de precisão para aprimorar as práticas de manejo na lavoura e auxiliar no planejamento da condução da cultura no campo, em especial pelas usinas canavieiras, que possuem extensas áreas de cultivo.

## 5 CONCLUSÕES

O índice espectral de vegetação da cultura de cana-de-açúcar apresentam comportamento diferenciado ao longo do tempo. A técnica de sensoriamento com o índice espectral de vegetação – NDVI é eficiente em analisar temporalmente os atributos do solo correlacionados ao desenvolvimento e a reflectância da cultura de cana-de-açúcar.

Os maiores valores de NDVI demonstram as zonas de diferentes potenciais produtivos.

A técnica de sensoriamento com o índice espectral de vegetação (NDVI) apresentou aplicabilidade em analisar temporalmente os atributos do solo correlacionados ao corte e a reflectância da cultura de cana-de-açúcar, mostrando-se uma ferramenta para delimitação de áreas de manejo e determinação das zonas de diferentes potenciais produtivos.

## 6 REFERÊNCIAS

Allison, LoE. Organic Carbon 1. (1965). **Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties**, n. methodsofsoilanb, p. 1367-1378.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, **Cadernos Temáticos. Micro e Minigeração Distribuída**. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc, 2014.

Barbosa, A. P. **Comparação de métodos de classificação de imagens, visando o gerenciamento de áreas citrícolas**. 2009. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

Bonser, A. M, Lych, J.P, Sieglinde, S. (1996) Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. **New Phytologist**, v. 132, p. 281-288, 1996.

Bradshaw, J.E. (2016). **Clonal Cultivars from Multistage Multitrait Selection**. In *Plant Breeding: Past, Present and Future* (pp. 343-386). Springer, Cham.

Brady, N. C., Weil, R. R. (1990). **The nature and properties of soils**. 881p. 1999.

Braga, J. M. **Avaliação da fertilidade do solo (ensaios de campo)**. Viçosa, Impr. Univ., UFV, 1983. 101 p.

Bucene, L. C. **Sistemas de informação geográfica na classificação de terras para irrigação, em Pardinho - SP**. 2002. 177f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

Caione, G. et. al. (2011) Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia: v. 41, n. 1, p. 66-73.

Câmara, G.; Medeiros, J. S. **Princípios básicos em Geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2 ed. Brasília, DF: EMBRAPA - CPAC, 1998. cap. 1, p. 03-12.

Câmara, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos**. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1995. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tese>>.

Cambardella, C.A, et al. (1994) Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America jornal** 58.5:1501-1511.

Carvalho Júnior, O.A.D., et al. Aplicação do método de identificação espectral para imagens do sensor ASTER em ambiente de cerrado. **Revista Brasileira de**

**Geofísica**, 23(2), 159-172, 2005.

Casagrande A.A. Crescimento da cana-de-açúcar. **Stab, Açúcar, Álcool e Subprodutos** 14.5: 7-8, 1996.

Catani, R.A., Gallo, J.R., Gargantini, H. (1955). **Amostragem de solo, métodos de análise, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 29p. (Boletim 69).

Cavalcanti, A. C., et al. **Primeira aproximação para solo cultivado com cafeeiro conilon na região atlântica da Bahia**. 2017.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA -CTC. Censo varietal e de produtividade em 2008. Piracicaba: **Centro de Tecnologia Canavieira**, 2008. 16 p.

Chaves, L.H.G; Farias, C.H.A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 3.1:20-25, 2008.

COMISSÃO, DE FERTILIDADE DO SOLO; DO ESTADO, DE MINAS GERAIS - CFSEMG. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. **Viçosa: Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais**, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB (2018) **Observatório agrícola acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar**. Brasília. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 10 out. 2018.

Corá, J.E (1997) **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. 104 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Michigan State University, East Lansing.

Costa Filho, J.D., et al. (2007). Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. 15. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, **Anais...** Aracajú-SE.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (2010). **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 3.ed. Campinas: Embrapa Solos, 16p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 8).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa – CNPS. Documentos, 1).

Faquin V (2005) **Nutrição mineral de plantas**. 2005.

Fauconnier, R., Bassereau, D (1975) La caña de azúcar: técnicas agrícolas y producciones tropicales. **Editorial Blume**, Barcelona, p. 11-85.

Ferreira, A.B., Pereira Filho W. Avaliação da reflectância espectral de corpos d'água em Santa Maria - RS, por meio de espectrorradiometria de campo. **Revista Geoambiente** 13:194-207, 2009.

Fernandes, L.A. e Coimbra, A.M. 1996. **A Bacia Bauru** (Cretáceo Superior; Brasil). *Anal tlu Acacleniu Brusileira de Ciêtrcitts*, 68(2):195-205.

Fischer G, Teixeira E, Hizsnyik ET, Velthuisen, HV (2008) Land use dynamics and sugarcane production. Sugarcane ethanol: Contribution to climate change mitigation and the environment. **Wageningen Academic**, Wageningen, 29-62.

Fox RL, Searle PGE (1978) Phosphate adsorption by soils of the tropics. In: Drosdoff, M. **Diversity of soils in the tropics**. Madison: American Society of Agronomy, p 97-119.

Garcia GJ (1982) **Sensoriamento remoto - princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel p. 357.

Gomazako, M. S.; Oliveira, C. J. Geração de bagaço e cogeração de energia elétrica na indústria sucroalcooleira. In: **V Workshop internacional Brasil-Japão em biocombustíveis, meio ambiente e biomassa**. 2007.

Humbert RP (1974). **El cultivo de la caña de azúcar**. Compañía. Editorial Continental, p. 21-65.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. (2010) Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: 10 nov. 2018.

Kamprath, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Science Society American Proceedings**, v. 35, p.252-254, 1970.

Korndörfer GH, Melo, SP (2009) Fontes de fósforo (fluida ou sólida) na produtividade agrícola e industrial da cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia** 33. 1: 92-97.



Lepsch, F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

Liu WTH (2006). **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 908p.

Lucchesi AA (2001) **Ecofisiologia de Culturas Extrativas: Cana-de-açúcar, Seringueira; Coqueiro; Dendezeiro e Oliveira**. In: Castro PRC, Kluge RA. (Coord). Cana-de-açúcar, STAB, Cosmópolis, p. 13-39.

Malavolta, Eurípedes. Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. In: **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. Agronômica Ceres, 1976.

Mesquita Filho MV.; Torrent J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hydrosequence of soils from the Cerrado region (Brazil). **Geoderma**, Amsterdam, v. 58, p. 107-123, 1993.

Miura T.; Huete AR.; Yoshioka H.; Holben BN (2001) An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction. **Remote Sensing of Environment**, n.78, p. 284-298, 2001.

Motomiya, A. M. V. de A. Diagnósticos para o gerenciamento localizado da cultura do algodoeiro. 76p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

Moreira MA. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 250p.

Moreira, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**.3.ed.Viçosa: Ed. UFV, 2005.320p.

Moreira, A.; Fageria, N. K. Influência da calagem nas propriedades químicas do solo, estado nutricional e produção de alfafa em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1231-1239, 2010.

Murchie EH.; Chen Y.; Hubbart S.; Peng S.; Horton P(1999). Interactions between senescence and leaf orientation determine in situ patterns of photosynthesis and photoinhibition in field-grown rice. **Plant Physiology**, v.119, p.553–563.

Nascimento, V., F., et al. Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Ambiente e Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 4, p. 889-902, 2015.

NOVO EMLM (2008). **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 3ª ed 388p.

Oliveira, R. A. De. et al. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v. 5, n. 12, p. 87-94, 2004.

Ponzoni, FJ (2001). **Comportamento Espectral da Vegetação. In. Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais.** Editora UnB, Embrapa, Brasília (DF), p. 157-199.

Ponzoni F.J.; Shimabukuro YE (2007). **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação.** São Paulo: Parêntese 127p.

Raij, B. Van. Avaliação da fertilidade do solo. **Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato**, 1981.

Raij, B. van.; CANTARELLA, H. & ZULLO, M.A.T. O método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 38:57-69, 1979.

Raij, B. V. (2011). **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba. International Plant Nutrition Institute. 420p.

Raij B. van, Quaggio JA. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade.** Campinas: IAC, 1989. 40p. (IAC. Boletim Técnico 8).

Raij, B. van; Cantarella H.; Quaggio JA.; Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100)

Raij, BV (1991). **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo, Agronômica Ceres 343p.

Rocha AT.; Duda GP, Nascimento CWA, Ribeiro MR (2005). Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 178-184.

Rodrigues JD (1995) **Fisiologia da cana-de-açúcar.** 1995. Disponível em: <http://www.residenciaagronomica.ufpr.br/bibliografia/MATURAD.pdf>. Acesso em: 20 out 2018.

Rossa, U.B.S. Estimativa de calagem pelo método SMP para alguns solos do Paraná. 2006. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006

Rouse, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM**, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.

Santana PB **Desempenho agrônômico e tecnológico de variedades de cana-de-açúcar submetidas a diferentes lâminas de irrigação no Norte de Minas Gerais.** (2012). Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado) Janaúba, UNIMONTES.

Segalla AL. **Variedades de cana-de-açúcar.** In: Instituto Agrônômico - Estação Experimental de Piracicaba, 50 anos, PLANALSUCAR, Piracicaba, p. 19-34, 1978.

Silveira, G. R. P. **Geomática aplicada na caracterização conservacionista de uma bacia hidrográfica no município de São Manuel (SP).** 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu. 2016.

Tejera, N. A. et al. Comparative analysis of physiological characteristic and yield compoments in sugarcane cultivars. **Filed Crops Research**, v.102, p. 64-72, 2007.

Vasconcelos, J. R. **Cana-de-açúcar: crescimento, maturação e distribuição de energia.** (2013). 52 f. Dissertações (Mestrado em Agronomia) – Universidade Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP.

Vieira EL., de Souza, GS., dos Santos AR., dos Santos Silva J. (2010). **Manual de fisiologia vegetal.** edufma.

Vitti, G. C.; Malavolta, E. Fosfogesso: uso agrícola. MALAVOLTA, E., coord. **SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS.** Campinas, Fundação Cargill, p. 161-201, 1985.

Walter A., Galdos MV., Scarpate FV., Leal MRLV., Seabra JEA, Da Cunha MP., Picoli, MCA, DE OLIVEIRA COF. **Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future.** WIREs Energy Environ, v. 3, n. 1, p. 70-92, 2013.

Zanzarini, F. V. et al. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608-614, 2013.