

ESTUDO DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DAS VARIACIONES DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DA CENA

Roberto Rosa

Prof. do Dep. de Geografia da UFU
Mestre em Sensoriamento Remoto pelo INPE
- São José dos Campos-SP

INTRODUÇÃO

O estudo dos recursos naturais de nosso planeta, a partir de plataformas orbitais, tomou grande impulso com o lançamento dos satélites norte-americanos da série Landsat.

RESUMO

Este trabalho objetivou estudar o efeito causado pelas variações das condições de iluminação azimute/elevação solar e orientação/inclinação da superfície topográfica no comportamento espectral da cultura da cana-de-açúcar, por meio de dados digitais obtidos pelo sensor Thematic Mapper (TM) do Landsat 5, nos intervalos espectrais correspondentes a faixa do espectro eletromagnético visível ao infravermelho médio, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. A escolha da cana-de-açúcar deve-se ao fato de ser uma cultura que ocupa uma expressiva área no país, além de ser de grande importância econômica.

Diversos pesquisadores, ao tentarem mapear a área plantada com esta cultura por meio de dados obtidos por sensores remotos, encontraram dificuldades na discriminação e delimitação da mesma, quando esta se encontrava em regiões de relevo movimentado (não-plano), seja esta identificação feita visualmente ou por meio de computador (CCT's). Com isso, procurou-se mostrar neste trabalho as causas que dificultam a identificação da cana, bem como de que forma estes parâmetros influenciam a resposta desta cultura nos diversos intervalos de comprimento de onda que opera o sensor TM/Landsat.

As dimensões apresentadas pelo território brasileiro exigem técnicas de grande eficiência para o mapeamento e controle dos recursos naturais.

O sensoriamento remoto orbital é apontado como sendo uma ferramenta

de grande valia para a coleta de dados, capaz de fornecer informações de forma rápida e confiável.

Entende-se por sensoriamento remoto o processo de se obter informações espectrais, espaciais e temporais de um alvo ou objeto sem ter contato físico com o mesmo. Diversos são os sistemas que poderiam ser chamados de sensores remotos, no entanto, este termo está associado predominantemente a sistemas que registram informações sobre variações no campo eletromagnético dos diversos alvos terrestres seja com sensores no campo, em aviões ou em satélites.

Neste contexto, a vegetação é o mais importante dos alvos, tanto para estudar recursos minerais e uso da terra, como para estudar as relações de dependência do homem e dos demais seres com o resto da Terra.

A radiação solar refletida tem sido a forma de energia mais estudada em sensoriamento remoto de vegetação, embora a região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho termal e as microondas sejam também utilizadas.

Ao entrar em contato com o alvo, a radiação eletromagnética pode ser absorvida, emitida e/ou refletida. Estes três fenômenos ocorrem em função da estrutura intrínseca de cada alvo.

MYERS (1975) diz que o sensoriamento remoto oferece uma oportunidade de acompanhamento de áreas agrícolas, bem como avaliações rápidas e freqüentes dos recursos de solo e água, no entanto, dadas as características complexas, inerentes à natureza biológica das culturas e dos solos, torna-se extremamente difícil uma análise dos mesmos.

Um programa que utilize sensoriamento remoto para o estudo, seja de culturas ou características de

solos, requer um conhecimento das plantas e dos solos, bem como suas interações com o espectro eletromagnético.

As imagens da superfície terrestre obtidas por veículos espaciais, como os da série Landsat, de escala reduzida, permitem a observação de extensas regiões nacionais com pouco manuseio de material. No entanto, as informações contidas nestes produtos são muitas vezes de difícil interpretação, em função da baixa resolução espacial, que permite a discriminação de objetos mais por seus atributos espectrais que geométricos. A complexidade da extração de informações aumenta em função das diferenças acentuadas que ocorrem nas variações tonais das imagens, quando tomadas em épocas diferentes, ou em imagens com variações topográficas. Essas variações tonais ocorrem principalmente em função das variações das condições de iluminação.

Com o intuito de estudar a intensidade desses efeitos, nos últimos anos, tem crescido o número de trabalhos visando principalmente o entendimento do comportamento espectral de alvos naturais especialmente a vegetação e suas interações com a radiação eletromagnética. Essas interações tem interesse na medida em que o conhecimento da resposta espectral do alvo em face de determinadas condições permite que uma resposta semelhante, obtida em outras ocasiões, seja associada àquelas condições conhecidas, ou seja, permite que se façam inferências sobre as características do alvo.

A desvinculação entre a interpretação de dados de sensoriamento remoto e o conhecimento das várias interações entre a energia e o alvo, que ocorrem em um nível mais primário, pode levar a subutilização dos grandes sistemas de coleta de dados.

Sem estes conhecimentos básicos, há cada vez mais um distanciamento entre o que está sendo desenvolvido e o que pode ser desenvolvido em sensoriamento remoto.

A necessidade de aquisição desses conhecimentos básicos é grande, pois sem eles corre-se o risco de haver a perda da capacidade de interpretação de produtos mais sofisticados com os sensores da nova geração (TM/LANDSAT 5, e TM/LANDSAT 6 e LANDSAT 7).

Este trabalho pode ser situado no contexto de aquisição de conhecimentos básicos sobre a interação da radiação eletromagnética com alvos naturais de grande ocorrência e interesse no Brasil.

OBJETIVO

Por suas características sinóticas e de repetitividade, os dados coletados pelo sistema Landsat se pronunciam como ferramenta de grande potencialidade na agricultura, especificamente na identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas.

Desde 1975, o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) vem desenvolvendo pesquisas, com o intuito de desenvolver e transferir metodologias, utilizando dados orbitais na identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas.

Um dos problemas enfrentados pelos técnicos do INPE e a extensão de chaves de identificação da cana-de-açúcar para áreas de relevo ondulado e montanhoso.

Em áreas planas a iluminação solar sobre a cultura da cana-de-açúcar é uniforme, permitindo o estabelecimento de padrões de resposta espectral bastante característicos. O mesmo não ocorre em áreas montanhosas ou de relevo mais

acidentado, onde as condições de iluminação (geometria - Sol, alvo, sensor variam apreciavelmente de pixel para pixel em função da topografia.

Um dos mais sérios problemas inerentes ao sensoriamento remoto é sem dúvida a interferência da topografia sobre as medidas radiométricas de alvos naturais em diferentes comprimentos de onda.

O efeito topográfico pode ser definido como sendo a variação da radiância da superfície inclinada em relação à radiância de uma superfície horizontal, em função de sua orientação face a fonte de iluminação (Sol) e a posição do sensor (satélite).

Estudando o uso de dados orbitais para a identificação e avaliação de áreas ocupadas com a cultura da cana-de-açúcar, BATISTA et alii (1983) concluíram, que as condições de iluminação, além dos fatores relacionados com a própria cultura, tais como estágio de desenvolvimento, época de plantio e de colheita e variedade influenciam decisivamente na resposta espectral da cana, afetando, conseqüentemente, a precisão de identificação e avaliação da mesma, fosse a interpretação feita na imagem fotográfica ou em fitas CCT's.

Face ao exposto, o principal objetivo deste trabalho é estudar o efeito causado pela variação das condições de iluminação (topografia visada, elevação, azimute solar), no comportamento espectral da cana-de-açúcar (*Saccharum*) nos intervalos espectrais correspondentes a parte do espectro refletivo das bandas do Thematic Mapper (TM - 1, 2 e 3, 4, 5 e 7), por meio de dados digitais.

ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Nos últimos anos tem-se dado muita ênfase no desenvolvimento de metodologias que utilizam técnicas de sensoriamento remoto voltadas para a cultura da cana-de-açúcar. Este fato deve-se principalmente a grande expressão desta cultura na economia do país e, conseqüentemente, ao interesse de órgãos governamentais na obtenção de informações confiáveis sobre a localização das áreas cultivadas e na produção esperada desta cultura.

A cana-de-açúcar assume, na atualidade, uma grande importância, face à política econômica adotada no país, desde o início de 1979, onde foram definidas prioridades para o setor agrícola, incluindo entre elas, a produção de energia a partir

da biomassa. Entre os vegetais a serem utilizados para atingir tal objetivo destaca-se a cultura da cana-de-açúcar, destinada à produção de álcool, o qual está sendo considerado atualmente como alternativa energética para o país, recebendo incentivos por parte do governo, através do Programa Nacional do Alcool (PNA).

Em termos de valor econômico, esta cultura ocupa a segunda posição no contexto da economia nacional, e o primeiro produtor no cenário mundial.

Atualmente, a área cultivada no Brasil com a cultura da cana-de-açúcar é de aproximadamente 3,8 milhões de hectares, e a matéria prima da cultura é utilizada principalmente na produção de álcool, que serve como combustível para automó-

ESTADO	Á R E A	
	ha	%
São Paulo	1.836.830	49,37
Pernambuco	460.400	12,38
Alagoas	460.370	12,37
Rio de Janeiro	219.000	5,89
Minas Gerais	177.600	4,77
Paraná	133.450	3,59
Paraíba	121.100	3,26
Mato Grosso do Sul	54.500	1,47
Goiás	51.400	1,38
Rio Grande do Norte	46.500	1,25
Espírito Santo	30.230	0,81
Sergipe	29.060	0,78
Bahia	25.620	0,69
Ceará	20.000	0,54
Mato Grosso	16.380	0,44
Maranhão	10.500	0,28
Santa Catarina	9.030	0,24
Paraná	6.000	0,16
Rio Grande do Sul	4.780	0,13
Piauí	4.200	0,11
Rondônia	1.850	0,05
Amazonas	1.500	0,04
BRASIL	3.720.300	100,00

QUADRO 1 - Área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil, em 1983

veis, substituindo o uso do petróleo.

As grandes mudanças no setor sucro-alcooleiro, especialmente no que se refere a introdução do sistema de pagamento da cana pelo teor de sacarose, elevou a área plantada no estado de São Paulo, abrangendo atualmente uma área geográfica que responde pela produção de 55% da cana-de-açúcar do país (relatório anual da Planalsucar - 1983).

A área cultivada com a cultura no Brasil, em 1983, foi de 3.720.300 hectares, distribuídas conforme Quadro 1.

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, pertencente ao gênero *Saccharum*, com origem provável no sudeste da Ásia (GOMES, 1964). O gênero *Saccharum* é representado por diversas espécies, como *S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, etc. Entretanto, as variedades atualmente cultivadas comercialmente são todas híbridas, próprias de climas tropicais.

Cultiva-se a cana-de-açúcar em todas as regiões tropicais e subtropicais de ambos os lados do equador, até cerca de 35° de latitude norte e sul, sendo atualmente o Brasil o maior produtor mundial, seguido de Cuba e da Índia.

A cana-de-açúcar desenvolve-se em todos os estados do Brasil, entretanto, a zona de grande produção compreende, principalmente, os estados próximos a costa, do nordeste ao Paraná, entre os paralelos de 8° e 28° de latitude sul.

Tem-se notícia de que seu cultivo no Brasil iniciou nos primórdios da colonização, na segunda década após o descobrimento, entre os anos de 1510 e 1520, quando já existiam plantações nos atuais estados de Pernambuco e do Rio de Janeiro. Acredita-se que a primeira exportação de açúcar tenha sido rea-

lizada em 1521, para Portugal (JUNQUEIRA & DANTAS, 1964).

Segundo trabalho realizado pela Comissão de Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo, as exigências climáticas da lavoura canavieira podem diferir bastante, segundo a finalidade: açúcar de usina, álcool, aguardente ou forragem. Com relação às lavouras de cana destinadas à produção de açúcar, são exigentes em clima. Como há necessidade de alta produção de sacarose, a planta necessita encontrar condições térmicas e hídricas adequadas no período vegetativo, para ter um desenvolvimento satisfatório e uma estação de repouso com acentuadas restrições hídrica ou térmica, para aumentar o teor de sacarose, durante a época do corte.

Por possuir grande extensão territorial, o Brasil apresenta uma acentuada variação climática em toda sua área canavieira, desde regiões sujeitas a baixas temperaturas e precipitação elevada, como é o caso da região que abrange Santa Catarina e Paraná, até regiões quentes e de precipitação pluviométrica reduzida, como a nordeste.

A cana-de-açúcar é uma cultura exigente em radiação solar e água. No Brasil, o primeiro fator não é limitante, pois a região canavieira encontra-se entre latitudes com abundância de radiação solar. Quanto ao fator água, deve-se salientar que a sua importância para o desenvolvimento da cultura é fundamental, principalmente durante o período de máximo crescimento vegetativo, quando a exigência hídrica é grande.

A cultura da cana-de-açúcar é denominada de "cana planta" até a primeira colheita, que ocorre após o período de crescimento de 12 ou 18 meses, aproximadamente, dependendo da época de plantio. Após a primeira colheita, a cana-de-açúcar passa a

ser denominada "cana soca" passando por mais 3 ou 4 colheitas consecutivas, com um período de 12 meses de crescimento entre cada colheita.

O plantio da cana-de-açúcar no estado de São Paulo é concentrado em duas épocas: o plantio feito em outubro, que permite a colheita da cana com aproximadamente 12 meses, denominada "cana de ano", e o plantio feito em janeiro e fevereiro, que permite a colheita da cana com 18 meses, conhecida como "cana de ano e meio".

O período de colheita no estado de São Paulo tem início no mês de junho e término no mês de novembro.

Entre as variedades plantadas, existem três grupos denominados precoce, média e tardia, em função da época em que a variedade acumula maior teor de sacarose nos colmos. Assim, as variedades que acumulam maior teor de sacarose entre maio e julho, agosto e setembro, e outubro e novembro, são denominadas respectivamente de precoce, média e tardia.

Dentre as variedades mais cultivadas no Brasil, a de maior destaque é a NA 56-79, conforme Quadro 2.

No estado de São Paulo, a variedade mais cultivada também é a NA 56-79, Quadro 3.

Classificação	Variedade	Á R E A	
		ha	%
1	56-79	1.064.463	28,61
2	CB 43-3	765.851	20,59
3	Co 331	296.062	7,96
4	CB 41-76	22.183	5,97
5	IAC 52-150	175.859	4,73
6	CP 51-22	169.101	4,55
7	SP 70-1143	123.788	3,33
8	IAC 51-205	82.026	2,20
9	IAC 48-65	81.108	2,18
10	CB 47-355	78.007	2,10
11	RB 70194	50.510	1,36
12	CB 49-260	43.200	1,16
13	Co 997	43.141	1,16
14	B 4362	26.507	0,71
15	Co 419	25.988	0,70
16	CB 53-98	25.881	0,70
17	CB 47-89	25.116	0,67
18	IAC 58-480	22.797	0,61
19	SP 70-1078	17.276	0,46
20	RB 70141	15.217	0,41
Outras	-	366.219	9,84
TOTAL	-	3.720.300	100,00

QUADRO 2 - Área ocupada pelas 20 principais variedades de cana-de-açúcar no Brasil, em 1983

Classificação	Variedade	Á R E A	
		ha	%
1	NA 56-79	854.990	46,55
2	CB 41-76	181.035	9,85
3	IAC 52-150	160.307	8,73
4	SP 70-1143	114.764	6,25
5	IAC 48-65	68.520	3,73
6	IAC 51-205	65.344	3,56
7	CB 47-355	59.996	3,27
8	CP 51-22	54.103	2,94
9	CB 53-98	24.309	1,32
10	CB 49-260	22.888	1,25
Outras	-	230.574	12,55
TOTAL	-	1.836.830	100,00

QUADRO 3 - Variedades mais cultivadas no estado de São Paulo, em 1983

CONSIDERAÇÕES FUNDAMENTAIS

Em uma primeira aproximação, uma imagem pode ser considerada resultante da reflectância e/ou emitância dos alvos da cena; a tonalidade ou cor em cada pixel é determinada pela alteração espectral da radiação solar incidente em cada elemento da superfície da cena.

Diferentes objetos refletem diferentes quantidades de energia e em diferentes comprimentos de onda. Estas diferenças espectrais são registradas em uma imagem na forma de variações tonais, de cores ou de densidade. Os sensores remotos buscam detectar e mostrar as diferenças em tonalidade ou cor entre objetos ou entre um objeto e o ambiente, sem as quais não haveria imagem (objeto) identificável.

Um pixel tem a informação espectral do alvo de interesse, mais a informação indesejável da atmosfera, relevo, sazonalidade, etc.

Para que medidas de sensoramento remoto tenham maior utilidade possível, as influências de fatores não relacionados aos alvos de interesse devem ser removidas. Isto facilita enormemente as comparações de dados obtidos em várias datas, locais e por sensores diferentes, como também a interpretação de dados de sensoramento remoto em termos de propriedades intrínsecas dos alvos de interesse.

1. O Sistema Landsat

O sistema Landsat foi desenvolvido com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais sobre a superfície da Terra, de forma global, sinóptica e repetitiva.

Lançados em 1972 (Landsat 1); 1975 (Landsat 2); 1978 (Landsat 3); 1982 (Landsat 4) e 1984 (Landsat 5), utilizam uma plataforma onde são instalados os sensores e os demais

subsistemas destinados à gravação e transmissão de dados, medição e controle de atitude e temperatura, retransmissão, etc. A potência para funcionamento do sistema é conseguida através de painéis solares que convertem a energia solar radiante em elétrica.

Os satélites Landsat deslocam-se de norte para o sul, em órbita descendente, geocêntrica, circular, quase polar e heliossíncrona, isto é, o ângulo Sol-Terra-satélite permanece constante, o que garante condições semelhantes de iluminação, ao longo do ano, na área imageada.

2. O Landsat 5

Lançado ao espaço em 1 de março de 1984, este satélite apresenta o tradicional sensor MSS, com 4 bandas, mais um sensor TM (Thematic Mapper), com 7 bandas espectrais. As pesquisas para a construção deste sensor iniciaram no final da década de 70 e os primeiros testes ao nível de simulação foram realizados em 1980, procurando-se definir a melhor combinação e números de bandas, resolução espacial e espectral que satisfizessem os interesses das diferentes áreas de aplicação.

O Landsat 5, por ocasião de seu lançamento, significou o maior avanço no desenvolvimento de sistemas orbitais de coleta e processamento de dados da superfície terrestre altamente automatizados. O sistema como um todo é considerado mais complexo que os Landsats anteriores e isto inclui desde mudanças na configuração externa do satélite até nas formas de retransmissão de dados, comunicação e controle de atitude.

Nos EUA, os dados digitais TM e MSS são transmitidos em tempo real via satélite TDRS (Tracking and Data Relay Satellite), para estações terrestres e então retransmitidos via

satélite de comunicação doméstica - DOMSAT - para estações de processamento, onde são radiometricamente corrigidos e novamente retransmitidos via DOMSAT, para o EROS (Earth Resources Observations Systems - Data Center) para reprodução em formatos digitais e filmes, e posterior distribuição aos usuários. A transmissão de dados TM e MSS do satélite Landsat 5 pode também ser feita diretamente para os países que possuem estações terrestres de recepção apropriadas, como é o caso do Brasil.

O satélite Landsat 5 opera a uma altitude nominal de 705 km em uma órbita circular quase polar, imageando a mesma área a cada 16 dias. O satélite cruza o equador de norte para o sul às 9:45h e no paralelo de 34 graus, no extremo sul do Brasil, às 9:50h. Cada órbita gasta 98,9 minutos, sendo realizadas 14 órbitas diárias ao redor do globo.

3. O Sensor Thematic Mapper (TM)

O TM opera simultaneamente em sete bandas espectrais com um campo de visada instantâneo (IFOV) ou resolução espacial equivalente a um quadrado no terreno de 30 x 30m, nas seis bandas do visível e infravermelho refletido, e de 120 x 120m na banda do termal.

O mecanismo de imageamento se baseia no princípio de técnica de imageamento de scanners multiespectrais lineares. A energia refletida ou emitida da superfície dos alvos (radiância em mW/Cm^2 Sterad.) é coletada por um espelho móvel com face plana, montado com um ângulo de 45° sobre um eixo mecânico que imprime um movimento oscilatório ao espelho, de tal forma que o solo é varrido em linhas perpendiculares à direção de deslocamento do satélite. O deslocamento do satélite permite o imagea-

mento seqüencial de linhas da superfície do terreno.

A radiação coletada por este processo é dirigida para um espelho parabólico que a focaliza através de um telescópio sobre um conjunto de detetores, orientados e dispostos num arranjo, de tal maneira que possam ser imageadas no terreno tantas linhas quanto for o número de detetores existentes por banda.

Para cada uma das quatro primeiras bandas (bandas 1, 2, 3 e 4), há 16 detetores de silício (Si) que operam à temperatura ambiente. Para as bandas 5 e 7 tem-se também, individualmente, 16 detetores de antimônio de índio (InSb) que são resfriados à temperatura abaixo de 0°C para se obter uma boa sensibilidade, enquanto que a banda 6 (termal) usa apenas 4 detetores de telureto de mercúrio-cádmio (HsCdTe). O arranjo completo dos detetores do TM é então uma matriz de 100 detetores. Desta forma, no TM são imageadas simultaneamente 16 linhas por banda no terreno (1, 2, 3, 4, 5, 7) e 4 linhas na banda 6, ou seja, um segmento de área com uma largura de imageamento de 480m de extensão.

Para limitar e decompor a radiação total em intervalos espectrais correspondentes a cada banda, é colocado na frente dos detetores um conjunto de filtros espectrais. Ao incidir sobre os detetores, a radiação os sensibiliza fazendo com que seja produzido um sinal elétrico de intensidade proporcional à energia incidente, o qual é então amplificado por um circuito eletrônico, convertido, de analógico para digital e transmitido aos satélites TDRS para retransmissão às estações terrestres, ou transmitido diretamente a estas.

4. A Imagem Digital do TM

A imagem digital é formada pela conversão do sinal analógico medido pelo sensor em uma representação digital que possa ser armazenado numa fita magnética compatível com o computador, para posterior processamento em computadores. Ela é, desta forma, uma representação numérica quantizada dos valores de radiância correspondentes a cada pequena área unitária imageada no terreno (pixel). Estes valores digitais são normalmente referidos como níveis de cinza, número digital ou ainda valores de brilho (percepção visual do mais claro ou mais escuro) e somente valores inteiros ou discretos são assumidos.

Os números digitais podem ser dispostos numa forma matricial. Além das dimensões espacial e brilho, que representam o conjunto de dados que compõe uma imagem, possuem ainda dimensões espectrais e temporais, desde que uma cena possa ser observada em várias bandas espectrais e em diferentes datas. Portanto, uma imagem digital é uma matriz multidimensional, das várias dimensões que representam uma cena. Os índices das linhas e colunas da matriz da imagem digital identificam as coordenadas espaciais X e Y de cada elemento da área imageada no terreno (pixel), e o valor numérico de cada elemento da matriz identifica o brilho daquela área. Quanto maior for o número de elementos da matriz, maior será a resolução espacial (no caso do TM é de 30 x 30m para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7) e de 120 x 120m para a banda 6), e quanto maior for o intervalo total dos valores discretos de níveis de cinza, maior será a resolução radiométrica (no TM vai de zero a 255 níveis de cinza).

Esta forma de representação numérica das imagens permite a apli-

cação de uma grande variedade de técnicos e análises de processamento por computadores, convenientes ao tratamento de enorme volume de dados contidos em cada imagem.

Dos sistemas computadorizados de análise de imagens digitais, um dos mais versáteis é o sistema GE- IMAGE 100 ou I-100, que opera com um computador digital PDP 11-45, além do SITIM desenvolvido pelo INPE. O acesso aos dados da fita magnética e as operações com o computador são feitas pelo console de análise de imagens, os quais possibilitam a interação do analista com todo o sistema. A imagem processada é exposta em um monitor de TV colorido para observação dos resultados dos tratamentos efetuados.

5. Parâmetros Responsáveis pelas Variações nas Condições de Iluminação

A resposta espectral dos objetos da superfície terrestre é função da interação de suas propriedades físico-químicas com a energia radiante incidente. Essa interação se faz de duas formas: interações microscópicas - interação de energia a nível de estrutura atômica e molecular dos objetos, e interações macroscópicas que seriam reguladas pelas leis da óptica geométrica.

Os efeitos de geometria de iluminação se classificam como parte das interações macroscópicas porque, dado um alvo da superfície terrestre com uma certa propriedade intrínseca de reflectância (ρ), ter-se-ia uma percentagem de energia refletida que seria função, não só da reflectância, mas da quantidade e distribuição espectral que o atingiu e que teve possibilidade de interagir com ele microscopicamente.

Essa quantidade de energia que atinge a superfície dos objetos é função da geometria de iluminação. A quantidade de energia que atinge o sensor é função da geometria alvo x sensor x fonte x atmosfera.

Em nosso caso, o sensor está numa posição fixa, e a variação da geometria de iluminação será simulada a partir da variação da superfície topográfica. A escolha dessa abordagem se deve ao fato de que em condições de dados orbitais, não é possível variar a geometria de iluminação variando a elevação e azimute solar de modo amplo. Isto implicaria em modificações dos alvos de superfície, em função das variações das propriedades intrínsecas dos objetos (fenologia) ou extrínsecas (umidade, etc.).

$$R = \frac{S\tau\rho E}{\pi} + S R_t$$

onde E é a irradiância na superfície; S é o fator de ganho de uma banda do satélite; τ é a transmitância da atmosfera; ρ é a reflectância dos alvos da superfície e R_t é a radiância de trajetória (efeito aditivo resultante do espalhamento atmosférico, situado entre a superfície e o satélite).

Os diferentes valores digitais ou tonalidades de cinza encontrados em uma determinada banda do Landsat para um mesmo alvo e numa mesma data e horário de tomada de dados são explicados pela variação da irradiância na superfície. Neste caso, os parâmetros, S , τ , ρ e R_t são constantes.

A irradiância na superfície varia em função da:

a) variação anual do ângulo de elevação e azimute solar (variação sazonal) que ocorre devido à variação da declinação solar: esta por sua vez é função da inclinação (de

23°27') do eixo de rotação terrestre em relação ao plano de órbita da Terra ao redor do Sol;

b) variação da distância Terra-Sol durante o ano, provocada pela órbita elíptica da Terra e responsável pela variação de mais ou menos 2% na irradiância;

c) inclinação e orientação da superfície topográfica em relação à fonte de irradiação, para superfícies não horizontais.

A irradiância (E) em uma superfície é dada por:

$$E = \frac{E_0}{r^2} \cos \beta$$

onde E_0 é a constante solar; r é a distância Terra-Sol e β é o ângulo entre o Sol e a normal à superfície, e é determinado por:

$$\cos \beta = \cos Z \cos I \cos Ad + \sin Z \sin I$$

onde Z é a distância zenital do Sol; Ad é a diferença entre o azimute do Sol e o azimute da superfície inclinada, e I é a inclinação da superfície.

6. O Efeito da Topografia

O efeito topográfico pode afetar enormemente a resposta espectral dos alvos. Para maior parte dos trabalhos assumem-se as superfícies como sendo horizontais (planas), para simplificar os problemas. A situação de uma superfície inclinada apresenta problemas adicionais que levam a muitas discussões. A superfície inclinada na direção do sensor ou no sentido oposto causa efeitos semelhantes ao movimento do sensor desde a vertical (visada off-nadir), isto é, mais vegetação e menos solo pode ser visto. Contudo, quando a

superfície inclinada estiver voltada para o Sol, receberá maior irradiância, conseqüentemente terá uma maior radiância. Da mesma forma, a superfície inclinada no sentido oposto a iluminação solar receberá menor irradiância tendo conseqüentemente radiância menor. Estes efeitos de exposição da superfície perante a irradiação solar pode resultar em diferentes respostas espectrais dos alvos, causadas em função do efeito topográfico.

7. Comportamento Espectral da Vegetação

Segundo WIEGAND et alii (1973), fatores como percentagem de cobertura do solo pelas culturas, porte das plantas, entre outros, são parâmetros que, de uma maneira ou de outra, devem influenciar na resposta espectral dos dados de satélite.

É importante observar que a reflectância de uma cultura difere daquela obtida em laboratório de folhas isoladas devido aos seguintes fatores:

a) variação na quantidade da área foliar, volume de fitomassa e cobertura do solo devido a diferentes datas de plantio, tipo de solo, teor de umidade do solo, quantidade de plantas por unidade de área, condições de fertilidade, fitossanidade, etc;

b) diferentes épocas de maturação, devido a variedade, data de plantio, tipo e umidade do solo;

c) uso de práticas culturais diferentes;

d) variação na geometria da copa devido a diferentes espaçamentos e direções de plantio e tombamento;

e) fatores ambientais, tais como: condições atmosféricas, vento,

ângulo de reflectância em relação ao ângulo de incidência solar e condições de umidade do solo.

A vegetação interage com a radiação eletromagnética de maneira diferente em cada faixa do espectro. A curva padrão da resposta espectral da vegetação (Figura 1) mostra um

são os responsáveis pela sua resposta espectral, apresentando uma forte absorção da radiação incidente nas regiões do azul e vermelho. Essa absorção é inversamente proporcional à reflectância nesta faixa.

Na porção do espectro referente ao infravermelho próximo (0,69-

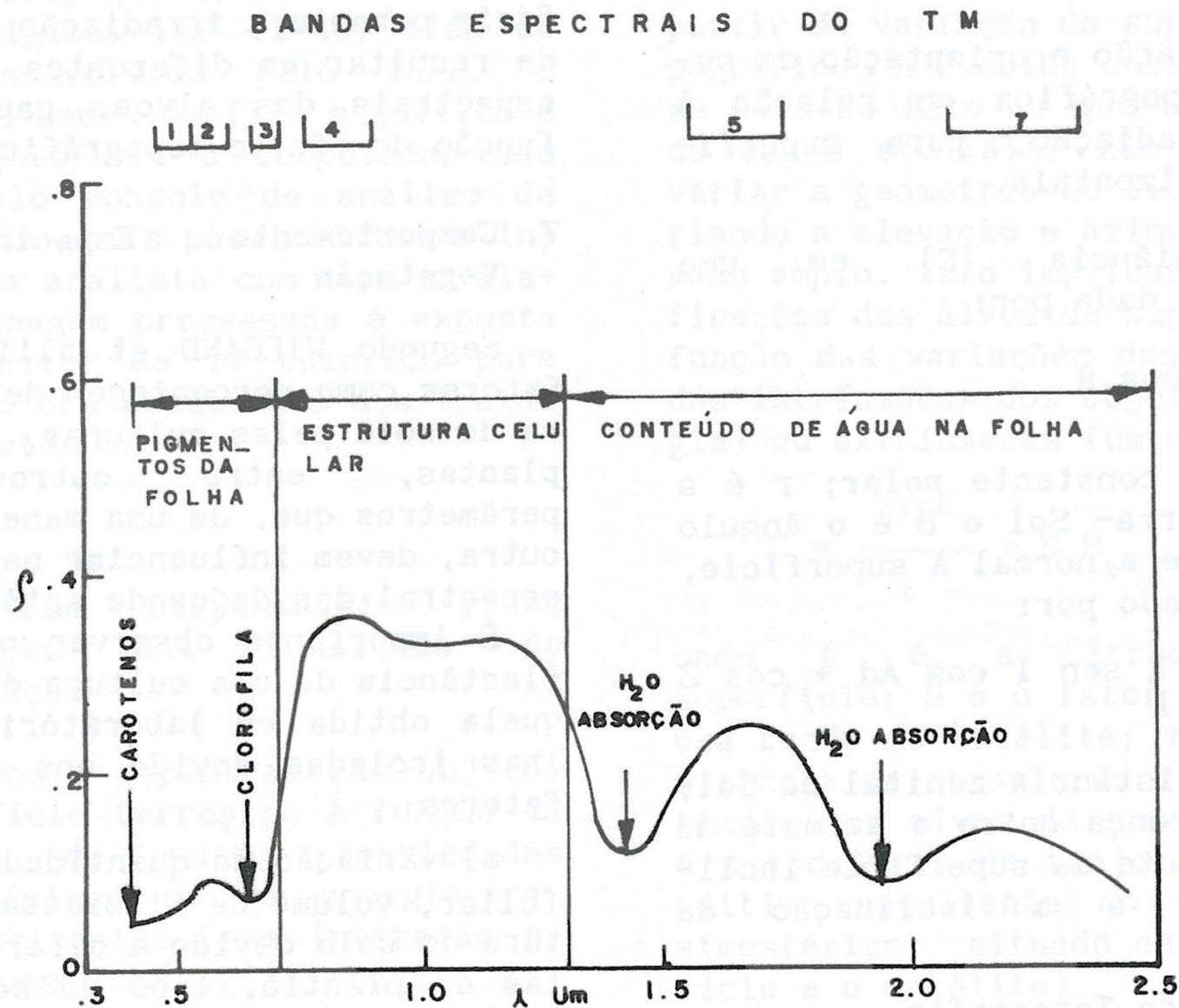


Fig. 1 - Resposta Espectral da Vegetação e Bandas do TM/LANDSAT

pico de absorção na região do azul e outra na região do vermelho, devido à presença da clorofila e carotenos. Nota-se, também, um pico de alta reflectância na região do verde. Na transição do vermelho para o infravermelho próximo, nota-se um acentuado aumento da reflectância, a qual se mantém ao longo da faixa do infravermelho próximo, diminuindo na região do infravermelho médio.

Na faixa visual (0,40-0,68 μ m), os pigmentos existentes na folha verde

1,10 μ m) ocorre exatamente o inverso. As folhas verdes absorvem muito pouca energia, apresentando uma alta reflectância, causada pelo espalhamento resultante dos diferentes índices de refração do líquido intra-celular e dos espaços inter-celular do mesófilo. A radiação ao incidir sobre uma camada de folhas reflete cerca de 50% e transmite o restante. Se esta porção transmitida encontrar outra camada de folhas ocorre o aumento da reflectância,

porém este aumento é pouco significativo.

Na faixa do visível, o comportamento da vegetação verde é caracterizado por forte banda de absorção, a qual ocorre logo que a radiação incide na primeira folha. No infravermelho, a resposta da vegetação cresce com a densidade da folhagem. A deficiência de água aumenta a reflectância da vegetação em todo o intervalo considerado, visível e infravermelho.

A densidade de folhagem exerce importante papel na intensidade da resposta da vegetação no infravermelho próximo. A maior densidade de folhagem na estação de chuvas faz com que a reflectância da vegetação tomada nesta época no infravermelho seja menor.

As estações de chuva e seca modificam também a resposta da vegetação na faixa espectral do visível. As variações de reflectância nesta faixa são devidas principalmente as diferentes associações de solo e vegetação, em termos de exposição relativa entre ambos. Assim, durante a estação das chuvas, o maior vigor e a maior densidade de folhagem acarretam forte absorção da radiação nessa faixa espectral fazendo com que áreas de cobertura vegetal mais densa apareçam com menor reflectância (no visível). Por sua vez, áreas de solos expostos ou coberturas vegetais menos densas serão mais contrastadas neste intervalo espectral, apresentando-se com uma maior reflectância.

HOFFER & JOHANNSEN (1969), salientam a importância e necessidade de uma análise apropriada da assinatura espectral da vegetação, a fim de que se pudesse monitorar as diversas coberturas vegetais. Da mesma forma, COULSON et alii (1965), BRENNAN & BANDEEN (1970), COLWELL (1974), & KRIEBEL (1976), demonstra-

ram que superfícies naturais, especialmente a vegetação, pode variar em vários por cento sua reflectância devido a mudanças nos ângulos de visada do sensor e ângulos de iluminação solar.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Material

1.1. A área de estudo

Segundo ALMEIDA (1961) a área de estudo localiza-se na região fisiográfica da depressão periférica (bacia do rio Piracicaba) do estado de São Paulo, ao norte do município de Iracemápolis, e ao sul do município de Santa Gertrudes, entre as seguintes coordenadas geográficas: 22°33' - 22°42' de latitude sul e 47°30' - 47°35' de longitude oeste de GREENWICH. (fig. 2)

A topografia regional caracteriza-se por apresentar uma sucessão de baixas colinas de forma suavizadas e com topos subaplainados, ligeiramente abaulados, com relevo suave a suave ondulado. Predominam os interflúvios com área superior a 4km², vertentes com perfis retilíneos a convexos, drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais, presença eventual de lagoas perenes e intermitentes.

Segundo o mapa geológico do estado de São Paulo, a geologia da região está representada por rochas relacionadas com o grupo Tubarão do permocarbonífero, com as formações Irati e Corumbataí do grupo Passa-Dois, com intrusivas básicas, com arenitos da formação Botucatu-Pirambóia, e com o cenozóico.

As rochas do grupo Tubarão são representadas principalmente por arenitos de granulação fina, siltitos e argilitos. As rochas da forma-

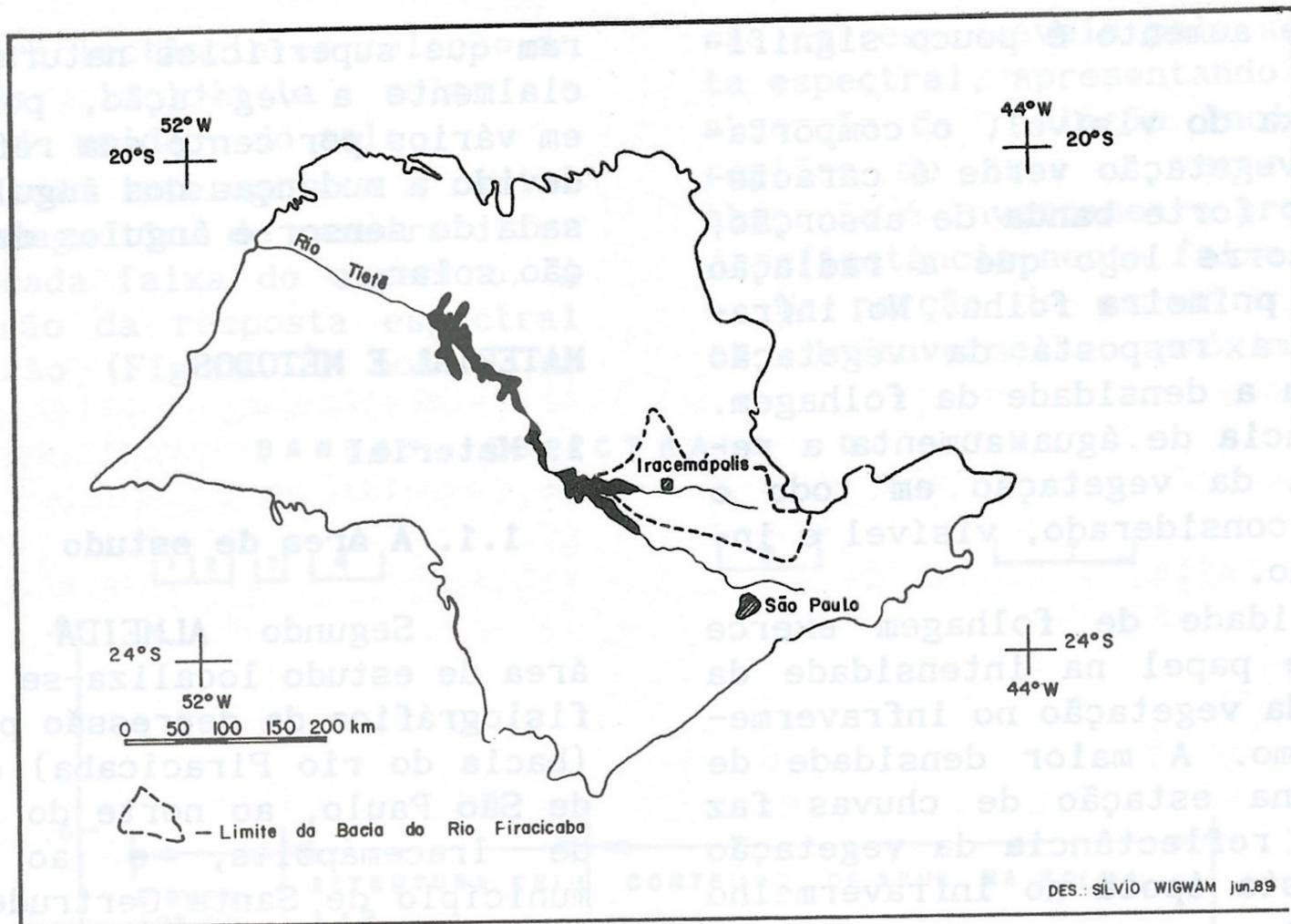


Fig. 2 - Localização da Área de Estudo

ção Corumbataí são representadas por siltitos e folhelhos, enquanto que na formação Botucatu-Pirambóia aparecem os arenitos cretáceos.

A distribuição pluvial da região segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, ou seja, verão chuvoso e inverno seco. A sucessão de períodos chuvosos faz-se claramente, marcando com nitidez duas estações: uma seca de inverno, que se estende de abril a setembro, e outra chuvosa de verão, que se estende de outubro a março. O regime térmico do ar, por sua vez, acompanha de perto as estações do ano, variando, contudo, gradativamente: médias mensais elevadas no verão, ligeiro decréscimo no outono, valores mais baixos no inverno e acréscimo na primavera. As médias do inverno chegam em junho e julho a valores inferiores a 18°C, superando os 22°C em janeiro e fevereiro.

Os dados de temperatura e precipitação pluvial apresentados

permitem identificar, segundo o sistema de Köppen, um clima do tipo Cwa, ou seja, clima mesotérmico de inverno seco.

Os balanços hídricos, por sua vez, assinalam discreto período de deficiência hídrica, que se estende de maio a setembro com um mínimo de 24mm e um máximo de 238mm.

Na área de estudo aparecem os Latossolos Roxos, que são solos que apresentam um horizonte B latossólico com pelo menos 30cm de espessura imediatamente abaixo de um horizonte A, fraco, moderado, proeminente ou chernozêmico.

A vegetação original, a julgar pelos resíduos remanescentes, era representada principalmente pela mata subperenifólia. Essa vegetação, contudo, é praticamente inexistente, substituída que foi, em decorrência do relevo pouco movimentado e da qualidade das terras, por agricultura representada em ordem de importância espacial pela cana-de-

açúcar e, em menor proporção, por outras culturas, especialmente as anuais.

Pastagens e reflorestamento ocupam áreas mais movimentadas e por isso menos adequadas à lavoura, porém constituem atividades de pequena expressão espacial.

Nas partes úmidas, representadas pelas planícies aluvionais mal drenadas, ocorrem vegetações de campos higrófilos, enquanto nas áreas bem drenadas próximo a calha dos rios predominava a mata ciliar, agora quase e totalmente extinta.

1.2. Dados TM/Landsat

Para a aquisição da informação espectral nas áreas a serem amostradas foram utilizadas imagens obtidas pelo sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5 no formato de fitas compatíveis com computador (CCT's).

A cena selecionada para este estudo é identificada pela órbita 220, ponto 76, quadrante B de 19 de maio de 1984.

O sistema de análise de imagens multiespectrais foi utilizado para a aquisição dos valores de níveis digitais (DN) necessários para as análises posteriores. Maiores informações sobre o sistema encontram-se em General Electric (1975).

1.3. Mapas e cartas

Para a aquisição de dados de declividade e orientação das vertentes necessárias ao cálculo do termo $\cos \beta$ foram utilizadas folhas topográficas na escala 1:10.000 com curvas de níveis equidistantes de 5 metros.

Para a aquisição de outras informações planimétricas e temáticas utilizaram-se ainda os se-

guintes mapas e cartas:

- carta de solos do estado de São Paulo, escala 1:500.000 - Ministério da Agricultura, 1960;

- folhas topográficas, escala 1:50.000 - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE;

- mapa geológico do estado de São Paulo, escala 1:1.000.000 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 1978;

- plantas com a localização das parcelas de cana-de-açúcar da usina Iracema, 1984.

1.4. Fotografias aéreas verticais

As fotografias aéreas verticais na escala 1:25.000 referentes ao ano de 1972 foram utilizadas como apoio a aquisição de dados de campo.

2. Procedimentos Metodológicos

2.1. Definição da hipótese de trabalho

A hipótese subjacente a esse estudo é de que a geometria de iluminação dos alvos afeta o registro de seu comportamento espectral em imagens orbitais do Landsat.

A irradiância na superfície de um alvo varia em função de diversos fatores. Se a superfície for perfeitamente horizontal os registros da energia refletida pelo alvo sofrerão uma variação sazonal em decorrência da variação anual do ângulo de elevação e azimute solar no horário de passagem do satélite.

Se a superfície não for perfeitamente horizontal, numa mesma data e horário a irradiância no alvo variará em função da sua inclinação e orientação em relação à fonte. As variações de irradiância podem ser expressas como uma função do $\cos \beta$ ($\cos \beta$) definido anteriormente;

termo esse que exprime o somatório dos diversos parâmetros que nela influenciam.

Partindo-se do princípio de que com a variação da irradiância, variará também a radiância da superfície através do termo $\cos \beta$, procurou-se testar tal efeito sobre os registros digitais dos dados TM/Landsat.

2.2. Definição da técnica de avaliação do efeito da geometria de iluminação sobre os registros digitais

Para o estudo do efeito da geometria de iluminação sobre os registros digitais havia duas abordagens possíveis: a) tomar imagens em épocas diferentes, fazendo com que variasse o termo $\cos \beta$ a partir da variação do ângulo de elevação e azimute solar; b) tomar apenas uma data, e variar o $\cos \beta$ através de amostras obtidas em áreas com diferentes orientações e inclinações topográficas.

A utilização do procedimento (a) acarretaria os seguintes problemas: 1) alteração das condições fenológicas do alvo do interesse; 2) alteração de outras condições ambientais (atmosfera, umidade, etc.); 3) necessidade de adquirir amostras em superfícies horizontais. Tais problemas impediriam isolar o efeito da variação da geometria de iluminação da cena sobre os registros digitais nos dados TM/Landsat. Optou-se portanto pelo segundo procedimento, mantendo-se constante a posição da fonte e alterando-se a geometria de iluminação pela variação da posição do alvo.

2.3. Delineamento do experimento

De posse dos mapas de localização dos talhões de cana-de-açúcar, fornecidos pela usina Iracema, selecionou-se a variedade NA 56-79,

de ano, primeiro corte, para ser estudada, por ser a variedade de maior representatividade no país, e porque possibilitaria a extração de um número maior de amostras.

Os talhões escolhidos foram demarcados sobre as cartas topográficas na escala 1:10.000. Para cada talhão calculou-se o termo $\cos \beta$ levando-se em consideração o azimute e elevação solar, inclinação e orientação das vertentes - extraídos das cartas. Foram selecionadas 72 amostras onde foram adquiridos os dados digitais por meio do analisador de imagens multiespectrais (I - 100).

2.4. O analisador multiespectral IMAGE-100

Os valores das respostas espectrais contidas nas imagens Landsat digitalizadas em fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT's) foram obtidas através do sistema interativo de análise de imagem multiespectral Image-100, produzido pela General Electric. Informações detalhadas sobre o funcionamento e aplicações desse equipamento podem ser encontradas no manual da General Electric (1975).

O sistema Image-100 foi planejado para auxiliar o intérprete na extração de informações úteis a partir de dados multiespectrais fornecidos por satélites ou aeronaves. Operando com base no princípio de que diferentes objetos possuem características espectrais únicas ou "assinaturas", analisa simultaneamente as assinaturas em várias faixas de comprimentos de onda para identificar áreas similares na imagem, que são assinaladas com determinadas cores em um vídeo.

Cada ponto (pixel), de uma imagem Landsat em preto e branco, é uma medida da energia refletida ou emitida de uma área no terreno com o

formato de 30 x 30m (nas bandas utilizadas para o presente estudo), em um determinado segmento do espectro eletromagnético. Cada nível de energia é representado em termos de níveis de cinza que, no analisador Image-100 pode variar de 0 a 255. Como o Landsat 5 coleta sete imagens simultaneamente (TM), há sete níveis de cinza para cada ponto da imagem. Estes sete valores representam as respostas espectrais ou "assinatura" daquela área no terreno.

Para fazer a análise, o intérprete deve informar à máquina, a localização das amostras de sua área de interesse, o que é feito através de um cursor luminoso que se move no vídeo no qual está representada a imagem de estudo. A máquina extrai as informações espectrais dos objetos examinados, a partir das quais serão tomadas as decisões de análise quantitativa multidimensional.

2.5. Método de localização e obtenção do número digital no vídeo do I-100.

Utilizando-se o analisador Image-100, foram obtidos os valores das respostas espectrais armazenadas sob a forma digital em fitas magnéticas compatíveis com computador.

Este trabalho constitui em determinar os níveis de cinza, numa escala de 0 (preto) a 255 (branco), e que se encontravam armazenados em fitas na forma original, sem as alterações promovidas pelo processamento fotográfico.

A localização dos pontos das amostras para a obtenção das medidas foi feita no vídeo do aparelho através do cursor luminoso com quatro elementos de imagem (pixel).

Estas áreas foram localizadas no vídeo do I-100, com a imagem ampliada para a escala 1:15.000, e

com o auxílio de cartas topográficas na escala 1:10.000 e 1:15.000, além de fotografias aéreas na escala 1:25.000.

Foram obtidas as coordenadas X e Y no vídeo do I-100, na escala 1:15.000 e posteriormente transformou-se a imagem para a escala 1:50.000, e de posse das coordenadas X e Y localizou-se a área de interesse no vídeo do I-100, na escala 1:50.000, onde obteve-se o nível de cinza.

Tal procedimento se fez necessário haja visto a dificuldade em se localizar a amostra com apenas quatro pixels em uma escala 1:50.000; isto possibilitou a localização de amostras difíceis de identificar no vídeo do Image-100.

Através do programa "single pixel" foram obtidas as informações espectrais de amostras nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, sendo cada amostra caracterizada pela média das respostas espectrais de quatro elementos de imagem em cada banda.

2.6. Análise dos dados

De posse de todos os dados de variação de nível digital (DN) e de co-seno β , procedeu-se a análise de correlação linear simples à semelhança da abordagem adotada por KOWALIK & MARSH (1982) no estudo desta questão.

O primeiro passo da análise estatística consistiu na aquisição dos coeficientes de correlação linear (r) entre os níveis digitais (DN) e co-seno β ($\cos \beta$) para diferentes subconjuntos das amostras coletadas.

O coeficiente de correlação linear tem a importante propriedade de ser adimensional e de variar entre -1 e 1. A vantagem de ser adimensional está no fato de seu valor não ser afetado pelas unidades adotadas. Resultam também, como

consequência, que codificações lineares introduzidas nas variáveis para facilitar os cálculos não afetam o valor de "r". É um coeficiente de fácil interpretação porque $r = -1$ corresponde ao caso de correlação linear negativa perfeita e $r = 1$, ao de correlação linear positiva. O significado de valores intermediários é deste modo rapidamente percebido.

Deve-se frisar, entretanto, que, muitas vezes, um alto valor do coeficiente de correlação, embora estatisticamente significativo, pode não implicar qualquer relação causa efeito, mas simplesmente a tendência que aquelas variáveis apresentam quanto à sua variação conjunta.

Análises estatísticas baseadas no coeficiente de correlação, em geral, são adequadas quando estão envolvidas duas variáveis entre as quais não há relações de dependência funcional, embora possam ser correlacionadas.

Um ponto importante diz respeito a interpretação do valor de "r" obtido a partir de uma amostra. Verificou-se que estando necessariamente entre -1 e 1, o valor de "r" por si só deve dar uma boa idéia do

grau e do sinal da correlação linear. Não se deve entretanto esquecer que, em geral o valor de "r" é calculado com base nos "n" elementos de uma amostra aleatória e que, portanto, representa apenas uma estimativa do verdadeiro coeficiente de correlação populacional.

A posição dos pontos experimentais (amostrados) no diagrama de dispersão e a relação funcional entre as duas variáveis (co-seno β e números digitais) em cada banda e em diferentes condições de inclinação e orientação topográficas são também mostrados, de forma a se ter uma melhor visualização dos resultados.

A correlação e a regressão entre os números digitais TM e os valores de co-seno β foi realizada utilizando-se o algoritmo BASIS - Burroughs Advanced Statistical Inquiry System), que esta descrito em Burroughs (1975).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados espectrais que serviram de base para o presente trabalho são apresentados e discutidos aqui.

Orient. Inc.	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Sup. Horiz.
4	807,50	826,74	801,69	747,02	694,76	675,52	700,57	755,24	752,96
8	858,09	896,49	846,52	737,45	633,18	594,78	644,76	753,83	
12	904,52	961,87	887,21	724,28	568,51	511,15	585,81	748,75	
16	946,53	1022,56	923,56	707,58	501,07	425,03	524,00	740,02	

QUADRO 4 - Valores de irradiância em W/m^2 calculados para a área de estudo no mês de maio e horário de passagem do satélite

O Quadro 4 apresenta os valores de irradiância em W/m^2 para a área de estudo em função das diferentes orientações e inclinações da superfície topográfica, considerando a constante solar igual a $1353 W/m^2$. Valores calculados para o mês de maio e horário de passagem do satélite.

Pela análise de Quadro 4, pode-se observar que a geometria de iluminação da cena afeta a quantidade de energia total disponível na superfície, uma vez que ao se variar a declividade e a exposição da superfície do alvo de estudo, está sendo alterado o ângulo de incidência da radiação eletromagnética.

É importante ressaltar que esse valor de irradiância é total (integrado em todos os comprimentos de onda) e que não se está considerando as perdas por absorção e espalhamento atmosférico, nem a irradiância difusa.

Ainda pelo Quadro 4 verifica-se que os valores máximos de irradiância ocorrem quando a vertente está voltada para nordeste (NE) e que os valores mínimos ocorrem a sudoeste (SW). Para uma declividade de

16° a amplitude de variação de irradiância é de $597 W/m^2$, ou seja, a energia incidente sobre o alvo de interesse na vertente nordeste é mais do que o dobro da energia incidente sobre o mesmo alvo localizado na vertente sudoeste.

Se a radiância do alvo é função da reflectância e da irradiância, e se os números digitais são proporcionais a radiância KOWALIK et alii, 1983) é de se esperar que os números digitais que representam objetos colocados nessas posições da topografia sofram uma variação proporcional a irradiância admitindo que não há radiação difusa e que seu comportamento seja lambertiano.

No Quadro 5 pode-se avaliar essas variações em termos relativos. Os dados contidos neste Quadro são percentagens de irradiância em relação à irradiância de uma superfície plana perpendicular à fonte, considerando que nesta superfície incidiria 100%, calculado para o mês de maio e para o horário de passagem do satélite. A variação relativa da energia incidente é da ordem de 42% considerando as classes de declividade e orientação.

Orient. Inc(°)										Sup. Horiz
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	X	
4	59,69	61,10	59,25	55,21	51,35	49,93	51,78	55,82	55,51	55,65
8	63,42	66,26	62,56	54,50	46,80	43,80	47,65	55,71	55,08	
12	66,85	71,09	65,57	53,53	42,02	37,78	43,30	55,34	54,43	
16	69,95	75,58	68,26	52,30	37,03	31,41	38,73	54,69	53,49	
X	64,97	68,51	63,91	53,88	44,30	40,73	45,36	55,39		

QUADRO 5 - Valores percentuais de irradiância calculados para a área de estudo

A Figura 3 ilustra melhor as variações contidas no Quadro 4. Pode-se observar que para superfícies de baixa inclinação a variação da orientação não altera substancialmente a irradiância (cerca 10%). Outro aspecto interessante a observar é que para certas orientações a variação da declividade não afeta a incidência sobre a superfície. Nas superfícies com orientações sudeste (SE) e noroeste (NW) a irradiância

relevo da área a ser estudada tem-se uma época do ano mais propícia a extração de informações em imagens LANDSAT; considerações semelhantes foram feitas por vários autores, entre eles pode-se destacar HILWIG et alii (1974); e YAO (1983).

Esta ampla variação da irradiância em função da inclinação e orientação do alvo em relação a fonte talvez explique a não-adequação das técnicas de correção de

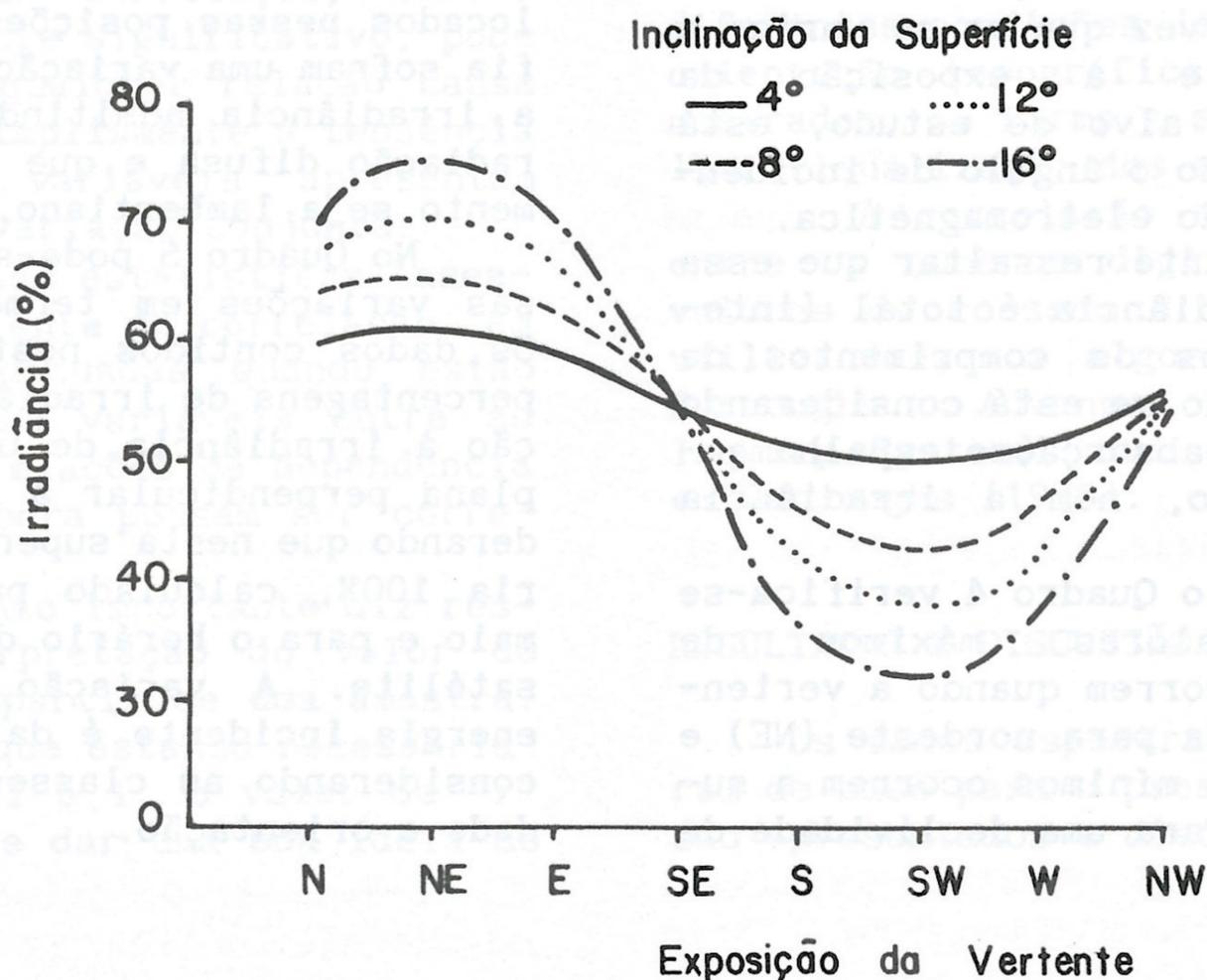


Fig. 3 - Variação da Irradiância em Função da Orientação e Inclinação da Vertente

não varia com a inclinação da superfície. Já nas superfícies orientadas para nordeste (NE) e sudoeste (SW), são onde aparecem as maiores variações.

Convém destacar que estas variações são válidas para o mês de maio, outras épocas do ano possuirão estes picos de variação em vertentes orientadas segundo outras direções. Com isso pode-se concluir, que conforme a orientação preferencial do

efeitos topográficos a todas as cenas indiscriminadamente, (HOLBEN & JUSTICE, 1979; HOLBEN & JUSTICE, 1981 E SLATER 1980).

Se todos os pressupostos adotados nesse estudo se verificassem, haveria uma alteração da radiância proporcional a irradiância. Assim sendo, haveria uma correlação alta e positiva entre o termo $\cos \beta$, que expressa a variação de

irradiância solar devido a variação conjunta da declividade e orientação e os números digitais que variam proporcionalmente à radiância, (KOWALIK & MARSH, 1982).

No Quadro 6 pode-se verificar

as condições topográficas das áreas amostradas com a cultura da cana-de-açúcar, bem como o co-seno β calculado em função das condições topográficas e posição do Sol na data e horário de tomada de imagem.

Amostra	Inclinação (graus)	Orientação (graus)	Co-seno β
1	3,43	315	0,554
2	3,27	0	0,588
3	2,48	150	0,544
4	5,71	150	0,529
5	8,53	90	0,635
6	4,08	320	0,559
7	5,04	320	0,560
8	5,19	225	0,477
9	5,04	270	0,502
10	6,11	330	0,576
11	2,29	180	0,530
12	1,84	90	0,573
13	1,63	30	0,577
14	3,01	180	0,523
15	4,39	250	0,496
16	3,81	140	0,548
17	1,91	115	0,563
18	1,68	195	0,533
19	3,58	315	0,554
20	2,49	10	0,584
21	2,60	170	0,532
22	1,59	135	0,554
23	1,91	100	0,570
24	2,86	165	0,533
25	5,71	150	0,529
26	4,76	150	0,534
27	5,71	140	0,544
28	8,53	120	0,579
29	5,71	330	0,575
30	4,76	195	0,493
31	3,43	280	0,526
32	1,36	25	0,573
33	3,34	5	0,591
34	1,43	300	0,549
35	4,08	330	0,569
36	5,44	150	0,531
37	7,76	150	0,519
38	5,71	150	0,529

Amostra	Inclinação (graus)	Orientação (graus)	Co-seno β
39	7,12	140	0,540
40	2,29	135	0,554
41	2,04	155	0,544
42	3,58	150	0,540
43	4,51	320	0,560
44	4,29	355	0,594
45	4,40	0	0,599
46	3,81	330	0,568
47	4,76	320	0,559
48	5,71	320	0,560
49	4,40	320	0,559
50	5,19	233	0,478
51	5,35	208	0,477
52	1,55	310	0,553
53	3,57	180	0,516
54	4,76	180	0,503
55	1,43	135	0,554
56	4,08	170	0,519
57	4,08	90	0,595
58	2,86	245	0,515
59	2,86	250	0,516
60	2,38	265	0,528
61	7,76	295	0,512
62	5,71	230	0,469
63	3,81	215	0,499
64	7,59	205	0,446
65	8,36	205	0,434
66	4,76	248	0,489
67	5,35	270	0,498
68	5,71	115	0,579
69	5,35	140	0,544
70	4,29	180	0,508
71	4,51	235	0,489
72	5,71	260	0,485

QUADRO 6 - Condições topográficas das áreas amostradas com cana-de-açúcar

A gama de variação dos valores de co-seno β estão representados na Figura 4. Nesta figura pode-se veri-

ficar que as áreas amostradas apresentam valores de co-seno β variando de 0,40 a 0,65.

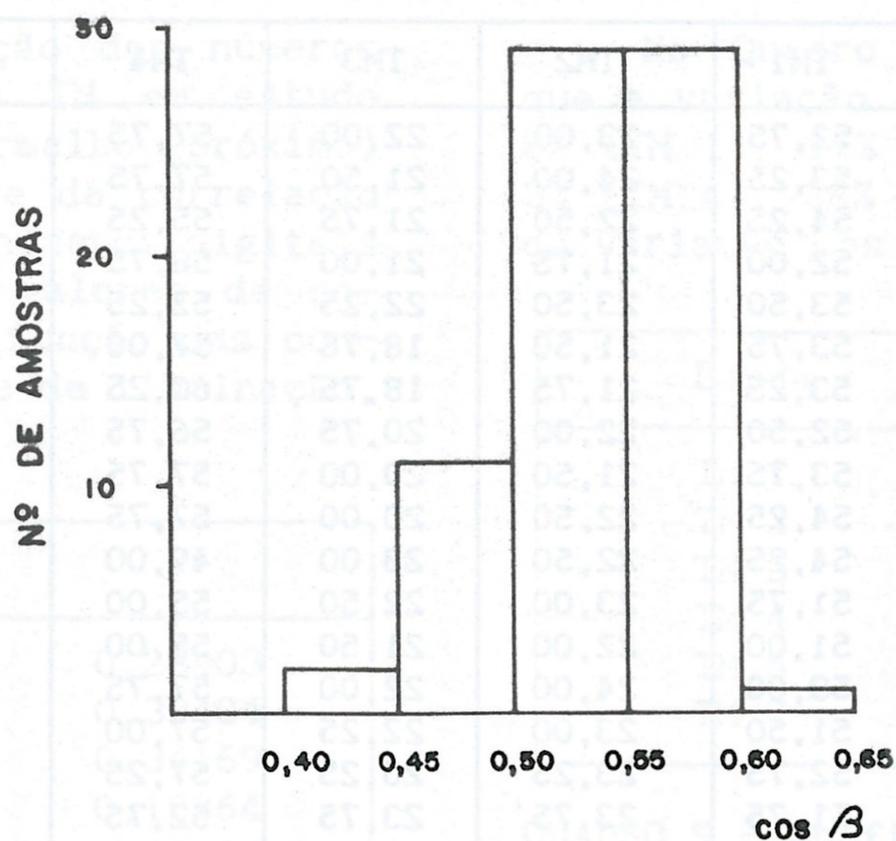


Fig. 4 - Frequência das Amostras Segundo os Valores de Co-Seno β

Os números digitais extraídos nas áreas amostradas, nas seis ban-

das do TM/LANDSAT podem ser verificados no Quadro 7.

Amostra	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6
1	54,75	22,75	23,25	47,75	47,25	10,25
2	54,00	23,50	22,75	56,75	54,00	12,00
3	53,00	24,25	22,50	59,25	53,75	10,50
4	55,75	22,25	21,25	55,50	46,00	10,50
5	52,75	22,00	19,75	60,25	44,00	9,00
6	53,50	23,50	22,00	57,50	45,75	9,50
7	54,50	21,25	21,00	51,25	41,50	9,00
8	54,50	21,25	18,75	55,50	36,35	7,00
9	53,75	21,00	19,00	56,50	38,25	6,75
10	53,75	22,25	20,25	53,50	41,50	9,00
11	54,00	23,00	22,00	52,75	50,00	10,00
12	54,25	23,75	22,50	61,00	54,00	11,00
13	53,25	22,25	23,00	56,00	53,25	10,50
14	53,75	22,25	20,00	59,75	46,00	8,50
15	53,25	20,75	20,50	53,75	37,00	7,75
16	53,25	22,25	20,75	57,50	45,50	8,75
17	53,25	23,00	22,50	62,75	53,50	10,00
18	52,25	21,00	19,25	53,00	44,75	9,25
19	53,75	22,75	23,50	51,25	49,50	11,25
20	54,00	23,00	23,25	54,50	54,00	11,75
21	53,00	23,00	22,00	55,00	53,50	9,75
22	53,75	24,25	22,50	55,75	54,00	10,75
23	53,25	23,00	21,25	62,00	54,50	9,50
24	53,25	22,00	20,50	63,75	45,75	9,00

Amostra	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
25	52,75	23,00	22,00	57,75	46,50	9,25
26	53,25	24,00	21,50	57,75	51,00	10,00
27	54,25	22,50	21,75	55,25	46,00	10,00
28	52,00	21,75	21,00	58,75	47,75	8,75
29	53,50	23,50	22,25	52,25	56,50	13,00
30	53,75	21,50	18,75	57,00	42,25	7,25
31	53,25	21,75	18,75	60,25	42,75	7,75
32	52,50	22,00	20,75	56,75	45,25	9,25
33	53,75	21,50	20,00	57,75	43,40	9,00
34	54,25	22,50	20,00	57,75	46,50	9,00
35	54,25	22,50	23,00	49,00	45,75	10,25
36	51,75	23,00	22,50	55,00	46,25	10,00
37	51,00	22,00	21,50	55,00	46,50	10,50
38	53,00	24,00	22,00	57,75	46,75	8,75
39	51,50	23,00	22,25	57,00	48,25	10,25
40	52,75	23,25	23,25	57,25	53,75	11,50
41	51,75	23,75	23,75	52,75	51,00	12,00
42	51,75	22,50	21,00	59,75	45,25	9,25
43	52,75	22,75	22,50	51,00	44,75	10,00
44	53,25	23,50	23,00	49,75	46,25	10,25
45	52,75	24,25	22,75	56,25	51,00	11,50
46	51,50	22,50	22,25	49,50	41,50	9,50
47	51,50	23,00	22,00	52,75	43,00	9,25
48	51,75	21,75	21,75	47,25	45,50	10,75
49	50,25	21,75	21,00	50,00	46,50	9,75
50	50,00	20,50	19,50	55,00	36,50	7,50
51	50,75	21,50	18,75	57,00	40,00	7,25
52	49,50	22,00	20,25	56,00	40,25	8,50
53	53,00	21,00	19,75	54,75	38,50	7,00
54	51,00	21,50	17,75	59,00	37,50	6,75
55	52,25	22,00	19,25	61,25	41,00	7,75
56	52,75	22,00	19,75	55,25	41,00	7,50
57	52,00	22,25	19,50	60,00	42,00	8,25
58	52,00	22,50	20,75	55,25	40,75	8,25
59	49,50	22,00	20,00	54,00	38,00	8,00
60	51,50	22,50	20,25	53,25	39,25	7,00
61	52,00	23,25	22,00	49,50	39,75	9,00
62	52,00	22,75	19,50	52,50	39,50	7,25
63	51,50	21,75	21,25	43,75	35,00	7,25
64	52,25	23,00	22,25	43,00	37,50	8,75
65	52,50	22,25	20,50	55,00	38,00	7,25
66	51,50	21,50	19,50	56,25	36,50	6,75
67	50,50	21,50	18,00	56,50	36,50	6,50
68	55,25	26,50	29,00	44,00	49,50	12,50
69	54,50	25,00	27,75	42,75	46,50	12,75
70	52,75	23,00	25,25	40,75	42,50	9,75
71	53,00	24,00	23,50	44,75	39,75	9,00
72	51,00	21,25	19,50	52,50	38,75	7,50

QUADRO 7 - Números digitais obtidos da cana-de-açúcar

Feita a aquisição dos números digitais nas bandas TM em estudo (visível e infravermelho próximo) efetuou-se uma análise de correlação linear (r) entre os números digitais de cada banda e os valores de co-seno β extraídos em função das condições topográficas e de iluminação, conforme Quadro 8.

Banda	r
TM 1	0,28903
TM 2	0,33404
TM 3	0,34169
TM 4	0,18864
TM 5	0,62196
TM 7	0,60431

QUADRO 8 - Coeficiente de correlação linear (r) entre DN X COS β

Pela análise do Quadro 8, pode-se verificar que a banda TM 4 coincide com o pico de reflectância da vegetação, possuindo grande quantidade de informação intrínseca à vegetação (geometria do dossel, configuração do plantio, dimensões e forma das folhas, posição das folhas, orientação e inclinação das folhas, índice de área folhar, ângulo de curvatura da folha, volume de biomassa, efeito do ciclo fenológico, etc.), sendo, portanto, menos influenciada pelas condições de iluminação. O mesmo acontece com as bandas TM 1, TM 2 e TM 3 que estão situadas na região de absorção devido aos pigmentos das folhas (carotenos e clorofila), possuindo a iluminação efeito secundário. O menor coeficiente de correlação se verifica na faixa do TM 4 ($r = 0,18864$).

Os gráficos de regressão linear entre o co-seno β e os números digitais (DN) em cada banda do TM podem ser verificados no Apêndice A.

No Quadro 9 pode-se observar que a variação do co-seno β explica 8% (TM 1), 11% (TM 2), 11% (TM 3), 3% (TM 4), 38% (TM 5) e 36% (TM 7) da variação dos números digitais.

Banda	$r^2 \cdot 100$
TM 1	8,35
TM 2	11,16
TM 3	11,67
TM 4	3,56
TM 5	38,68
TM 7	36,52

QUADRO 9 - Coeficiente de determinação ($r^2 \times 100$) entre DN x COS β

De modo a avaliar o efeito de inclinação da superfície sobre a correlação do termo co-seno β com os números digitais, as 72 amostras de cana foram separadas em classes de declividade (Figura 5 e Quadros 10 e 11). Embora esta análise seja deficiente sob dois aspectos: tamanho pequeno de amostras por tratamento e tamanho desigual de amostras, pode-se chegar a algumas considerações interessantes.

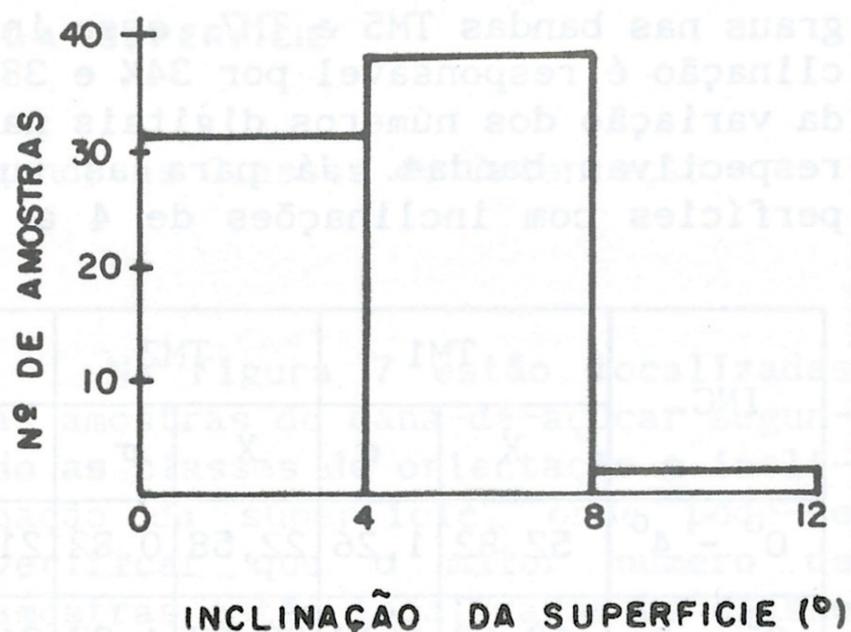


Fig. 5 - Frequência das Amostras Segundo as Classes de Declividade

INC.	n	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
0° - 4°	31	0,3812*	0,3516*	0,4232*	0,2664	0,5805**	0,6191
4° - 8°	38	0,3095	0,4399*	0,3517*	-0,0084	0,7089**	0,6706**

ND: **0,01; *0,05

QUADRO 10 - Coeficiente de correlação (r) segundo as classes de declividade

INC.	n	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
0° - 4°	31	14,53	12,36	17,91	7,71	33,69	38,33
4° - 8°	38	9,58	19,35	12,36	0,007	50,25	44,97

QUADRO 11 - Coeficiente de determinação ($r^2 \times 100$) segundo as classes de declividade

Pela análise dos Quadros 10 e 11 observa-se que os valores de "r" para cada classe de declividade diferem entre si de banda para banda, ou seja, modificando-se a inclinação da superfície topográfica, a proporção de variação do número digital explicado pelo co-seno β se altera, e essa alteração é espectralmente variável. Pode-se afirmar com um nível de confiança de 99% que uma superfície com inclinação de 0 a 4 graus nas bandas TM5 e TM7, essa inclinação é responsável por 34% e 38% da variação dos números digitais nas respectivas bandas. Já para as superfícies com inclinações de 4 a 8

graus, nas mesmas bandas, essa inclinação torna-se responsável por 50% (TM 5) e 45% (TM 7) da variação dos números digitais. Nas demais bandas verifica-se muita semelhança entre os coeficientes de determinação, isto demonstra que a cana-de-açúcar, talvez pela sua distribuição sobre a superfície topográfica mascara o efeito topográfico, e apresenta um comportamento mais próximo do lambertiano.

No Quadro 12 é apresentada a média e o desvio padrão dos números digitais da cana-de-açúcar, segundo as classes de declividade e as bandas do TM em estudo.

INC.	TM1		TM2		TM3		TM4		TM5		TM7	
	X	σ	X	σ								
0° - 4°	52,82	1,26	22,58	0,82	21,38	1,44	56,09	4,44	46,95	5,92	9,47	1,44
0° - 8°	52,67	1,42	22,57	1,27	21,70	2,70	52,97	4,92	43,23	4,84	9,13	1,72

QUADRO 12 - Média e desvio padrão dos números digitais segundo as classes de declividade

Pela análise conjunto deste Quadro 12 e do Quadro 5, pode-se verificar que de um modo geral, nas superfícies com maior irradiância, tem-se um maior valor do número digital em todas as bandas do TM. Observa-se também, que o desvio padrão dos números digitais é maior na classe de maior inclinação o que explicaria os problemas de classifica-

possui nenhuma amostra. 72 amostras de cana foram separadas em 7 diferentes classes de orientação.

A Figura 6 mostra a frequência das amostras de cana-de-açúcar segundo as classes de orientação. Verifica-se que o maior número de amostras encontra-se nas classes SE, S e NW, enquanto que a classe NE não

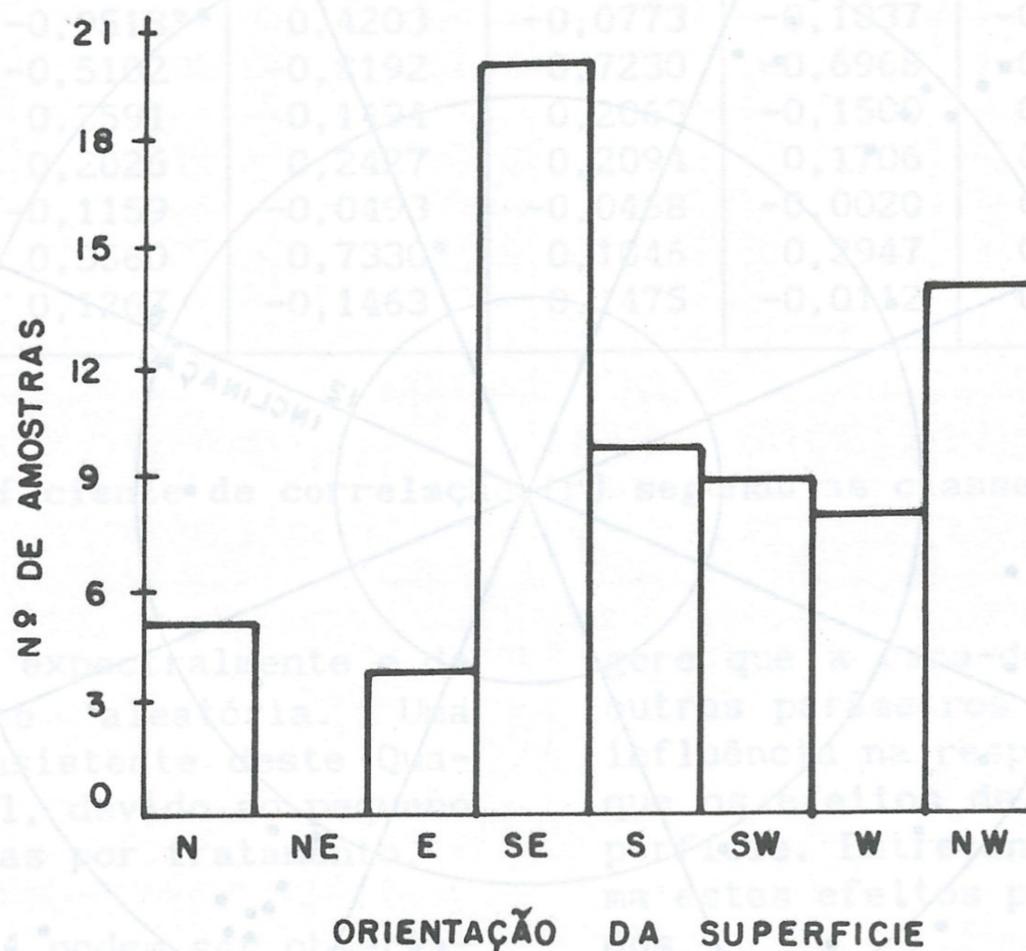


Fig. 6 - Frequência das Amostras Segundo as Classes de Orientação

ção digital da cana-de-açúcar em áreas acidentadas (BATISTA et alii, 1983). Isto acontece, porque aumentando-se a variância interna da classe dificulta-se a separação entre as classes.

De modo a avaliar o efeito da orientação da superfície topográfica sobre as correlações do termo $\cos \beta$ com os números digitais, as

Na Figura 7 estão localizadas as amostras de cana-de-açúcar segundo as classes de orientação e inclinação da superfície, onde pode-se verificar que o maior número de amostras estão localizadas na classe de 4 a 8 graus de inclinação, porém as orientações onde aparecem a maior quantidade de amostras são SE, NW, S, SW e W.

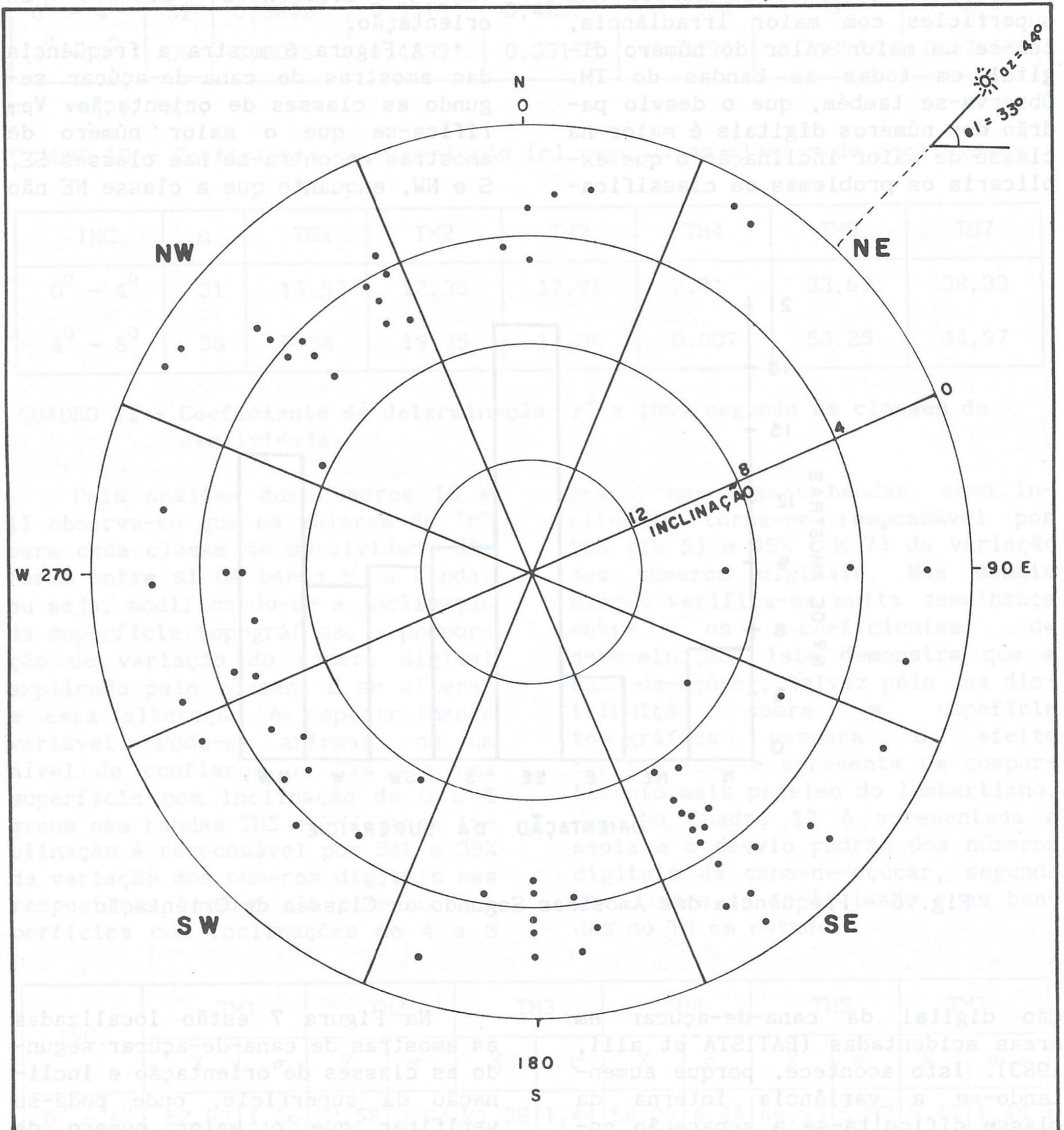


Fig. 7 - Localização das Amostras Segundo a Orientação e Inclinação

No Quadro 13 verifica-se que assim como a declividade, a orientação das vertentes também determinam variações no coeficiente de correlação, ou seja, modificando-se a orientação da superfície, à proporção de variação do número digital explicada pela variação do co-

dos os coeficientes de determinação obtidos entre o co-seno β e os números digitais, da cana-de-açúcar, onde se verifica a existência de um comportamento totalmente aleatório do co-seno β entre as bandas espectrais e até mesmo entre as orientações. Esta aleatoriedade su-

Orient.	n	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
N	5	-0,9518**	0,4203	-0,0773	-0,1037	-0,3985	-0,2225
E	4	-0,5102	-0,8192	-0,7230	-0,6968	-0,7641	-0,5115
SE	20	0,2591	0,1494	0,2063	-0,1500	0,0710	0,0264
E	10	0,2026	0,2427	0,2094	0,1706	0,6664*	0,6453
SW	9	-0,1159	-0,0493	-0,0468	-0,0020	0,1597	0,1149
W	8	0,3560	0,7330*	0,1046	0,2947	0,6667	0,2802
NW	14	0,1267	-0,1463	0,1475	-0,0112	0,4833	0,4633

NS: **0,01; *0,05

QUADRO 13 - Coeficiente de correlação (r) segundo as classes de orientação

seno β se altera expectralmente e de maneira bastante aleatória. Uma análise mais consistente deste Quadro 13 é inviável, devido ao pequeno número de amostras por tratamento.

No Quadro 14 podem ser observa-

gere que a cana-de-açúcar apresenta outros parâmetros que exercem maior influência na resposta espectral, do que os efeitos de orientação da superfície. Entretanto, de forma alguma estes efeitos podem ser desprezados.

Orient.	N	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
N	5	90,59	17,66	0,60	1,07	15,88	4,95
E	4	26,03	67,11	52,27	48,55	58,33	26,16
SE	20	6,71	2,23	4,25	2,25	0,50	0,07
S	10	4,10	5,89	4,38	2,91	44,41	41,64
SW	9	1,34	0,24	0,22	0,00	2,55	1,32
W	8	12,67	53,73	1,09	8,68	44,45	7,85
NW	14	1,60	2,14	2,17	0,01	23,36	21,46

QUADRO 14 - Coeficiente de determinação ($r^2 \times 100$) segundo as classes de orientação

Analisando-se os Quadros 15 e 5 verifica-se que não existe relação entre os números digitais obtidos em superfícies com diferentes orientações e a irradiância nestas superfícies.

praticamente "homogênea" como a cana-de-açúcar.

Procurou-se entender melhor os efeitos de iluminação (topografia x fonte), suas variações e seus efeitos no comportamento espectral da

Orient.	TM1		TM2		TM3		TM4		TM5		TM7	
	X	σ										
N	53,55	0,54	23,15	1,02	22,35	1,33	55,00	3,16	49,75	4,71	10,90	1,26
E	53,06	0,94	22,75	0,79	20,75	1,40	60,81	0,90	48,62	6,55	9,44	1,16
SE	53,03	1,26	23,22	1,19	22,41	2,29	55,81	4,91	48,01	3,82	10,14	1,32
S	52,95	0,87	22,03	0,78	20,50	2,12	55,10	6,07	44,18	4,95	8,48	1,25
SW	52,06	1,29	22,17	1,04	20,53	1,61	51,30	5,74	38,14	1,98	7,72	0,74
W	51,78	1,50	21,53	0,56	19,44	0,83	55,37	2,52	38,37	2,03	7,25	0,57
NW	52,70	1,64	22,55	0,67	21,91	1,05	51,63	3,35	45,29	4,30	9,93	1,16

QUADRO 15 - Média e desvio padrão dos números digitais segundo as classes de orientação

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto em regiões acidentadas torna-se bastante complexo, uma vez que os valores radiométricos registrados pelo sistema sensor são o resultado do efeito combinado do comportamento espectral dos alvos e da orientação e inclinação da superfície em que este se encontra.

A perspectiva adotada neste trabalho teve com objetivo procurar analisar de que modo as formas de relevo interferem na aquisição de informações do terreno a partir de dados de sensoriamento remoto. Para isso foram discutidos os tipos de interferência do relevo sobre o comportamento espectral de uma cultura

cana-de-açúcar, onde concluiu-se o seguinte: a) a irradiância em uma superfície varia segundo a época do ano, latitude, horário e condições topográficas. Para uma mesma latitude, e um mesmo horário, os fatores que levam à mudança da irradiância na superfície são a época do ano e as condições topográficas; b) para uma superfície horizontal (plana), e para o horário de passagem do satélite (9:45), os valores de irradiância possuem um mínimo no mês de junho e um máximo no mês de dezembro. Esta variação se torna tanto maior quanto maior for a latitude, considerando-se as mesmas condições topográficas; c) o co-seno β é um parâmetro que exprime o efeito combinado do Sol (azimute e elevação

solar) e topografia (orientação e inclinação da superfície em que se encontra a cana-de-açúcar). Portanto, quanto maior for o valor de co-seno β , maior será a irradiância na superfície; d) a geometria de iluminação da cena afeta a quantidade total de energia (integrada em todos os comprimentos de onda) disponível na superfície, uma vez que ao se variar a declividade e a orientação da superfície do alvo, está sendo alterado o ângulo de incidência da radiação eletromagnética; e) para os dados em estudo, os quais foram obtidos no mês de maio, verifica-se que os valores máximos de irradiância ocorrem quando as vertentes estão voltadas para nordeste (NE) e os valores mínimos ocorrem para sudoeste (SW), tornando-se este efeito tanto mais acentuado quanto maior for a inclinação da superfície. Para vertentes localizadas entre leste (E)-sudeste (SE) e oeste (W)-noroeste (NW) praticamente não existe variação de irradiância na superfície em função da inclinação da mesma; f) a declividade e a orientação das vertentes tem considerável efeito na resposta espectral da cana-de-açúcar em todas as bandas estudadas, entretanto a faixa do infravermelho médio (TM 5 e TM 7) é mais afetada do que a faixa do visível e infravermelho próximo;

g) nas superfícies onde temos uma maior irradiância vamos ter um número digital maior, em todas as bandas do TM; h) modificando-se a orientação da superfície a proporção da variação do número digital explicada pela variação do co-seno β se altera espectralmente; i) o efeito do co-seno β é mais pronunciado nas vertentes onde temos uma menor irradiância.

Os resultados encontrados demonstram que o comportamento espectral da cana-de-açúcar depende das condições topográficas, isto evidencia a importância de se considerar a influência do relevo na interpretação de dados obtidos por meio de sensores remotos. Estes estudos de forma alguma esgotam o assunto, novos testes deverão ser feitos para se alcançar uma melhor compreensão destes efeitos. No entanto isto só poderá ser corretamente avaliado se outros parâmetros tais como: geometria do dossel (altura, forma, largura, densidade), configuração do plantio - linhas (largura, direção), dimensão e forma da folha, índice de área folhar, índice de ramos, ângulo de curvatura da folha, volume de biomassa, efeito do substrato sobre a cobertura, efeito do ciclo fenológico, microestrutura, umidade, condições atmosféricas, etc, forem também avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. Boletim do Instituto Geofísico e Geológico do estado de São Paulo, 41:167-263, 1961.
- BATISTA, G.T.; MENDONÇA, F.J.; LEE, D.C.L.; TARDIN, A.T.; CHEN, S.C.; NOVAES, R.A. **Uso de dados orbitais para identificação e avaliação de áreas de cana-de-açúcar**. São José dos Campos, INPE, 1963. (INPE-1228-NTE/116).

BRENNAN, B.; BANDEEN, W.R. Anisotropic reflectance characteristics of natural earth surfaces. *Applied Optics*, 21(2):405-412, feb. 1970.

BURROUGHS. Burroughs advanced statistical inquiry system (BASIS) user's manual. Detroit, MI, 1975.

COLWELL, J.E. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 9., MI, Apr. 15-19, 1974. *Proceedings*. Ann Arbor, MI ERIM, 1974.

COULSON, K.L.; BOURICIUS, G.M.; GRAY, E.L. Optical reflection properties of natural surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 70(18):4601-11, sept. 1965.

GENERAL ELECTRIC (GE). Image-100 - Interactive multispectral image analyses system: user's manual. Daytona, FL, 1975.

GOMES, F.P. A cana-de-açúcar no mundo. In: MALAVOLTA, E., Coord. Cultura e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, Instituto Brasileiro de Potassa, 1964, p. 11-26.

HILWIG, F.W.; GOOSEN, D.; KATSIERIS, D. Preliminary results of the interpretation of ERTS-1 imagery for a soil survey of the Merida region, Spain. *ITC Journal*, (3):289-312, 1974.

HOFFER, R.M.; JOHANSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P.L. ed. *Remote Sensing in Ecology*. Athens, GA., University of Georgia Press, 1969, 244 p.

HOLBEN, B.N.; JUSTICE, C.O. Evaluation and modelling of the topographic effect on the spectral response from nadir pointing sensors. Washington, D.C.; NASA, 1979 (NASA TM 80305).

An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(2):115-133, 1981.

JUNQUEIRA, A.A.B. e DANTAS, B. A cana-de-açúcar no Brasil. In: MARAVOLTA, E., Coord. Cultura e adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, Instituto Brasileiro de Postassa. 1964. p. 27-60.

KOWALIK, W.S.; MARSH, S.E. A relation between Landsat digital numbers, surface reflectance and the cosine of the solar zenith angle. *Remote Sensing of Environment*, 12(1):39-55, 1982.

KOWALIK, W.S.; LYON, R.J.P.; SWITZER, P. The effects additive radiance terms on ratios of Landsat data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(5):659-670, 1983.

KRIEBEL, K.T. On the variability of the reflected radiation field due to differing distributions of the irradiation. *Remote Sensing of Environment*, 4:256, 1976.

MYERS, V.I. Crops and soils. *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry. Falls Church, Va., 1975, V. 2, p. 1715-1805.

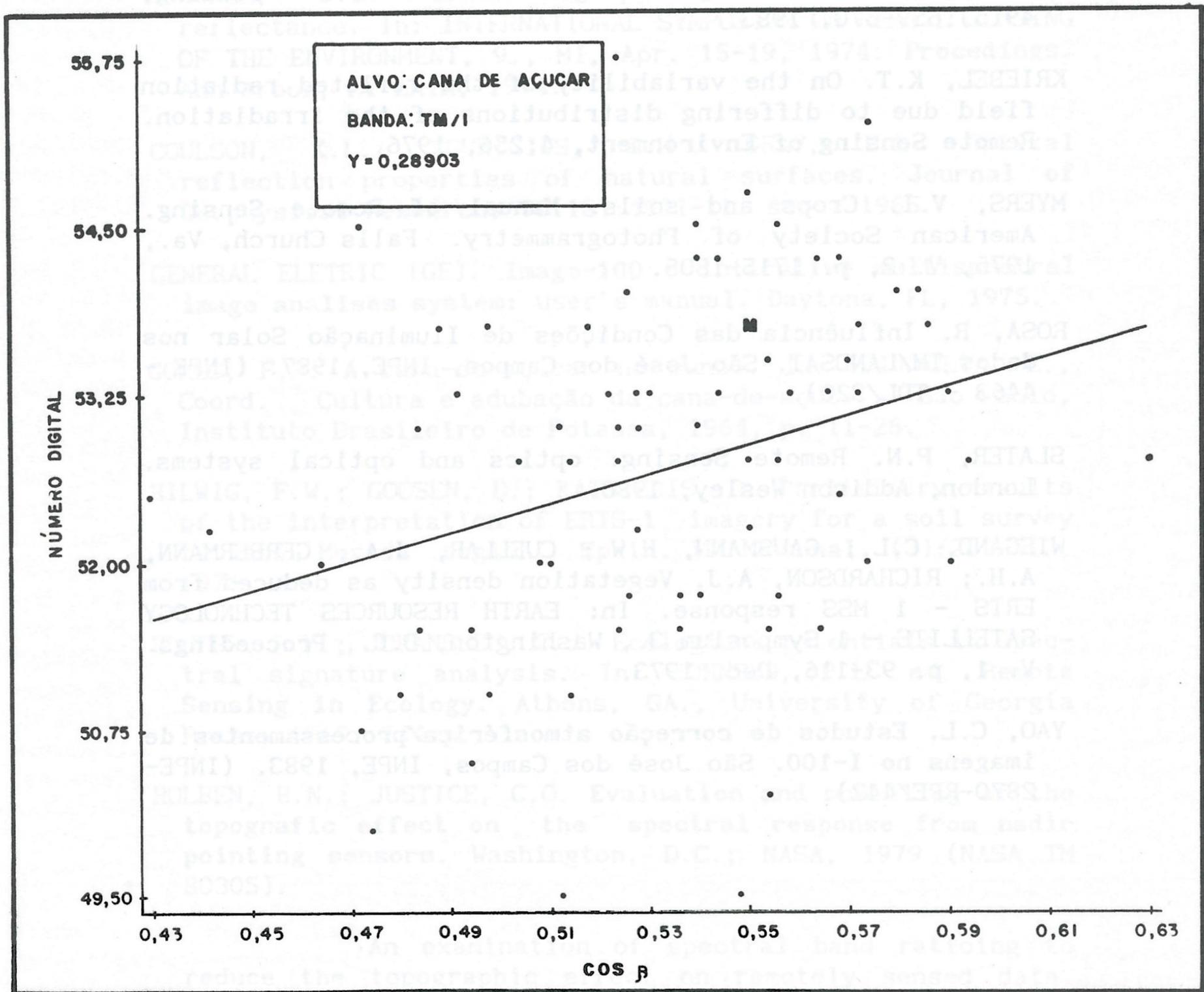
ROSA, R. Influência das Condições de Iluminação Solar nos dados TM/LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1987. (INPE - 4463 - TDL/320).

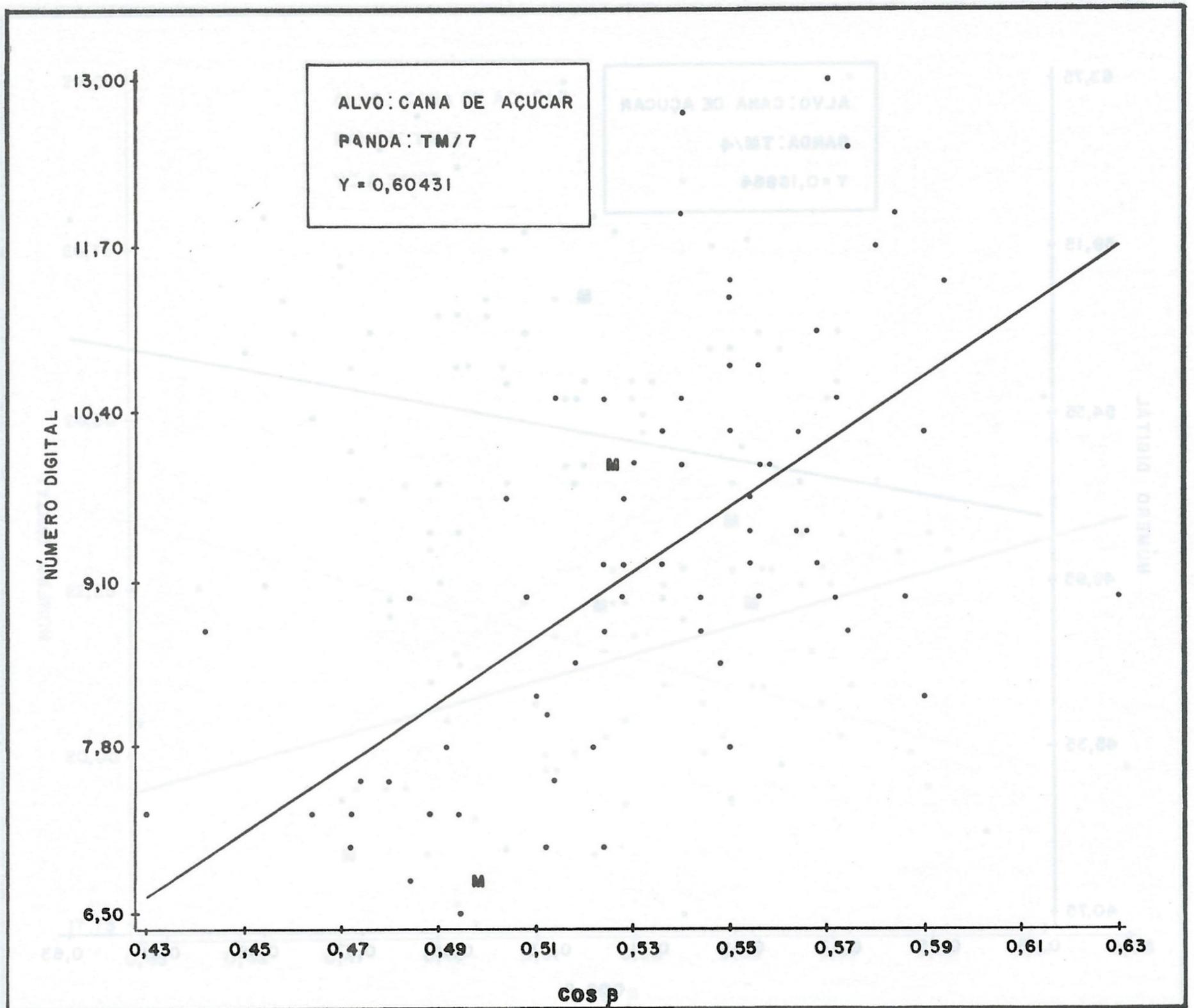
SLATER, P.N. *Remote Sensing: optics and optical systems*. London, Addison Wesley, 1980.

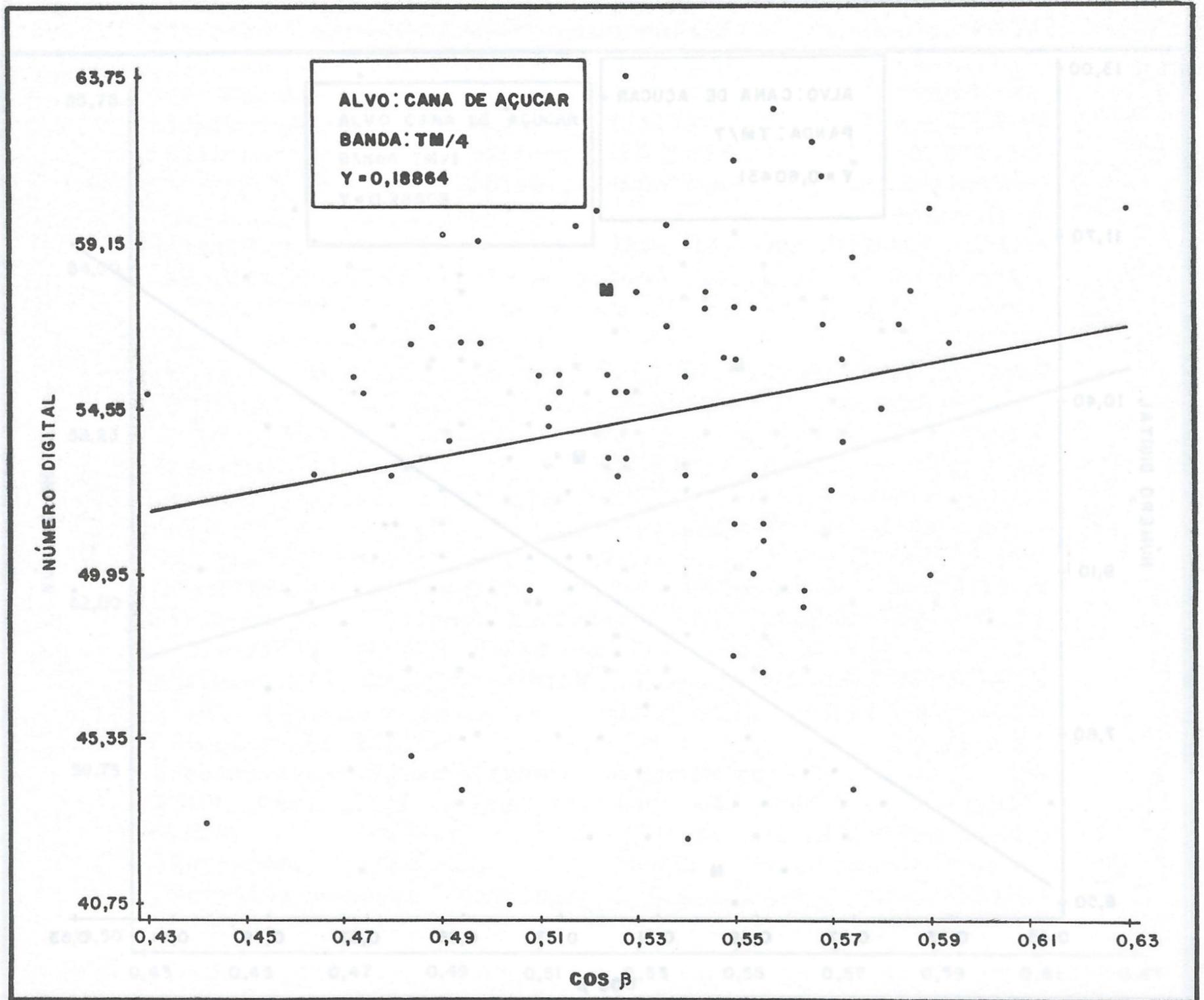
WIEGAND, C.L.; GAUSMANN, H.W.; CUELLAR, J.A.; GERBERMANN, A.H.; RICHARDSON, A.J. Vegetation density as deduced from ERTS - 1 MSS response. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE - 1 Symposium 3*, Washington, D.C., *Proceedings*. V. 1, p. 93-116, Dec. 1973.

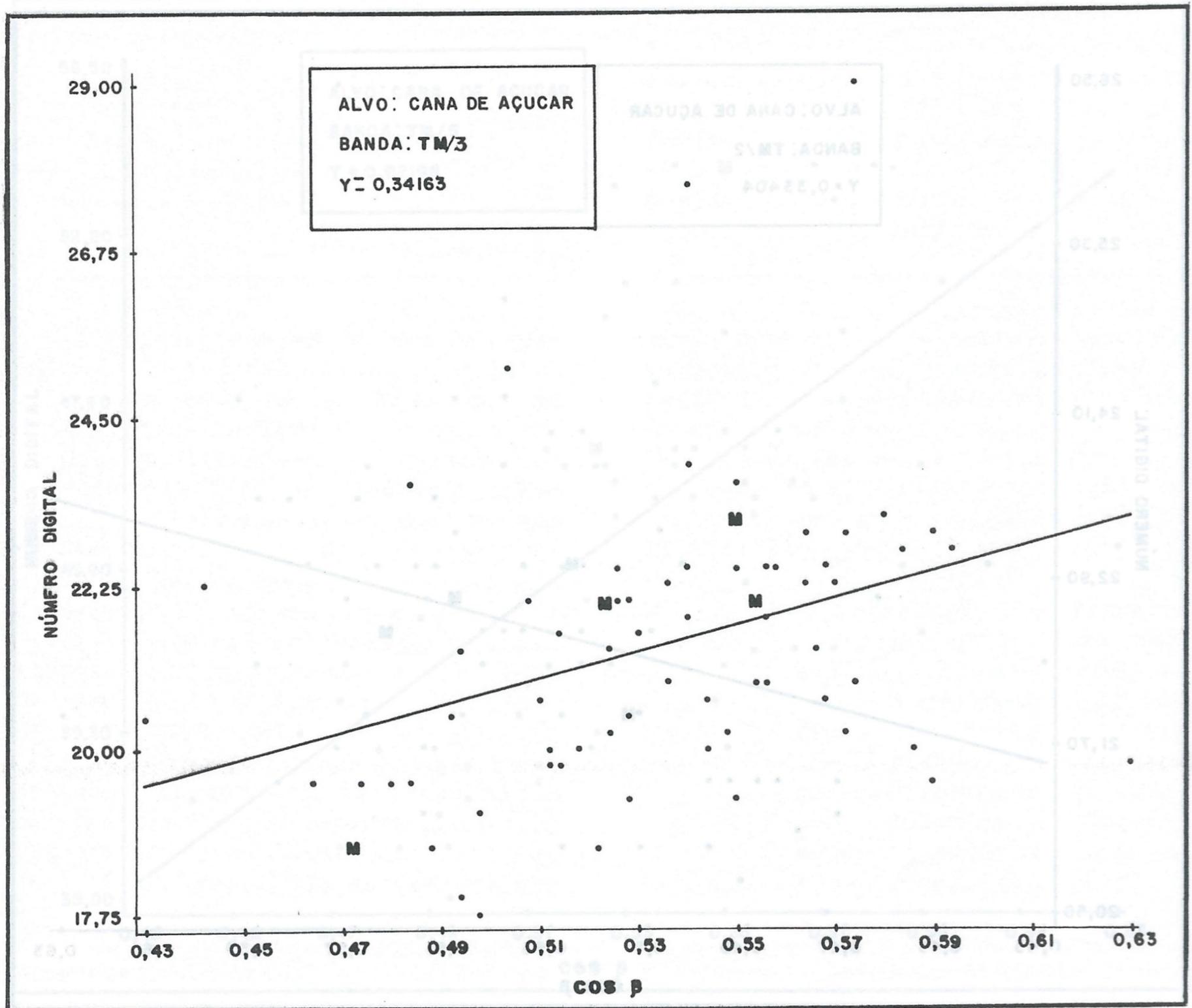
YAO, C.L. *Estudos de correção atmosférica/processamentos de imagens no I-100*. São José dos Campos, INPE, 1983. (INPE-2870-RPE/442).

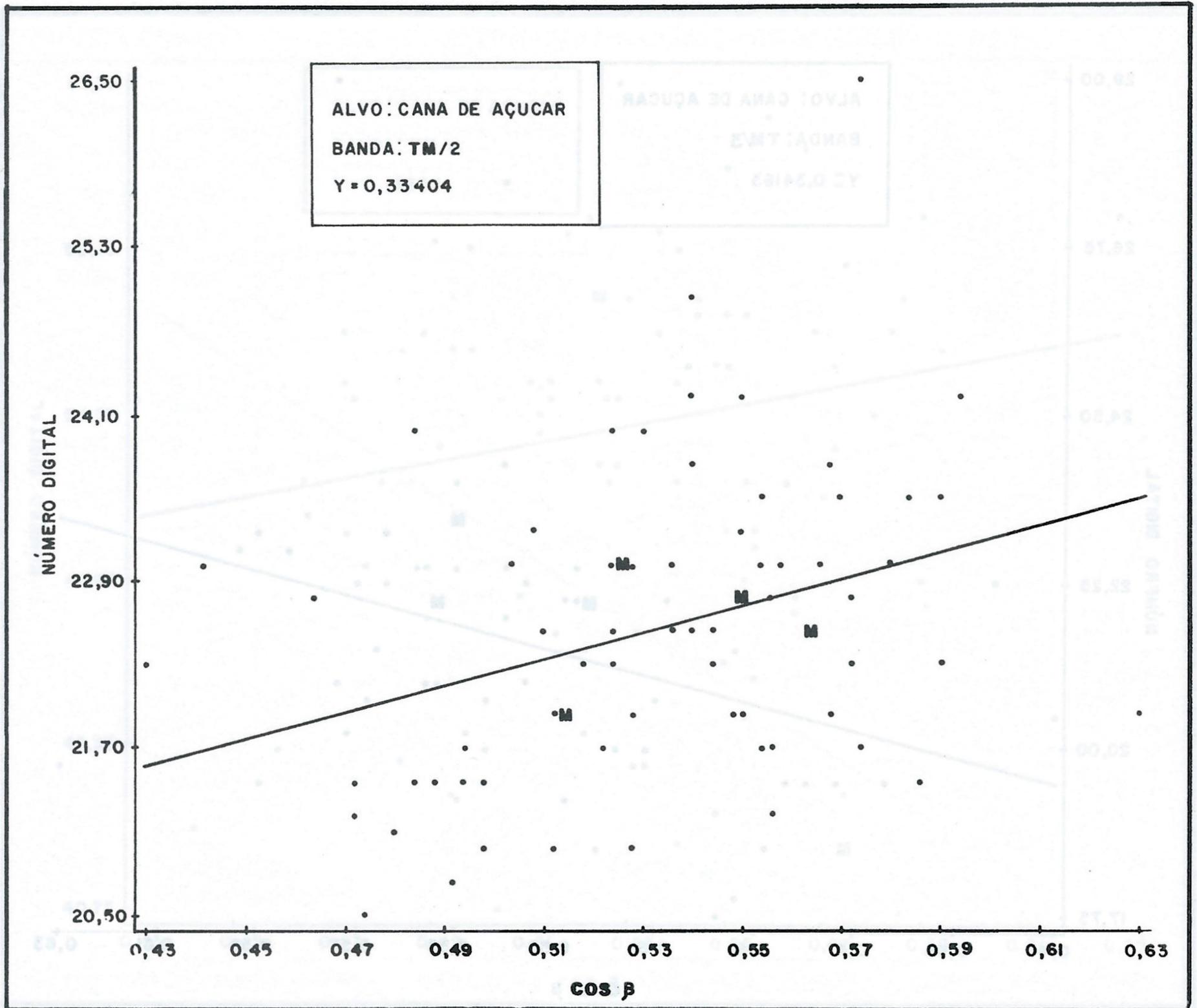
Gráficos de regressão entre o co-seno β e os números digitais (Cos β x DN) em cada uma das banda do TM/LANDSAT em estudo.







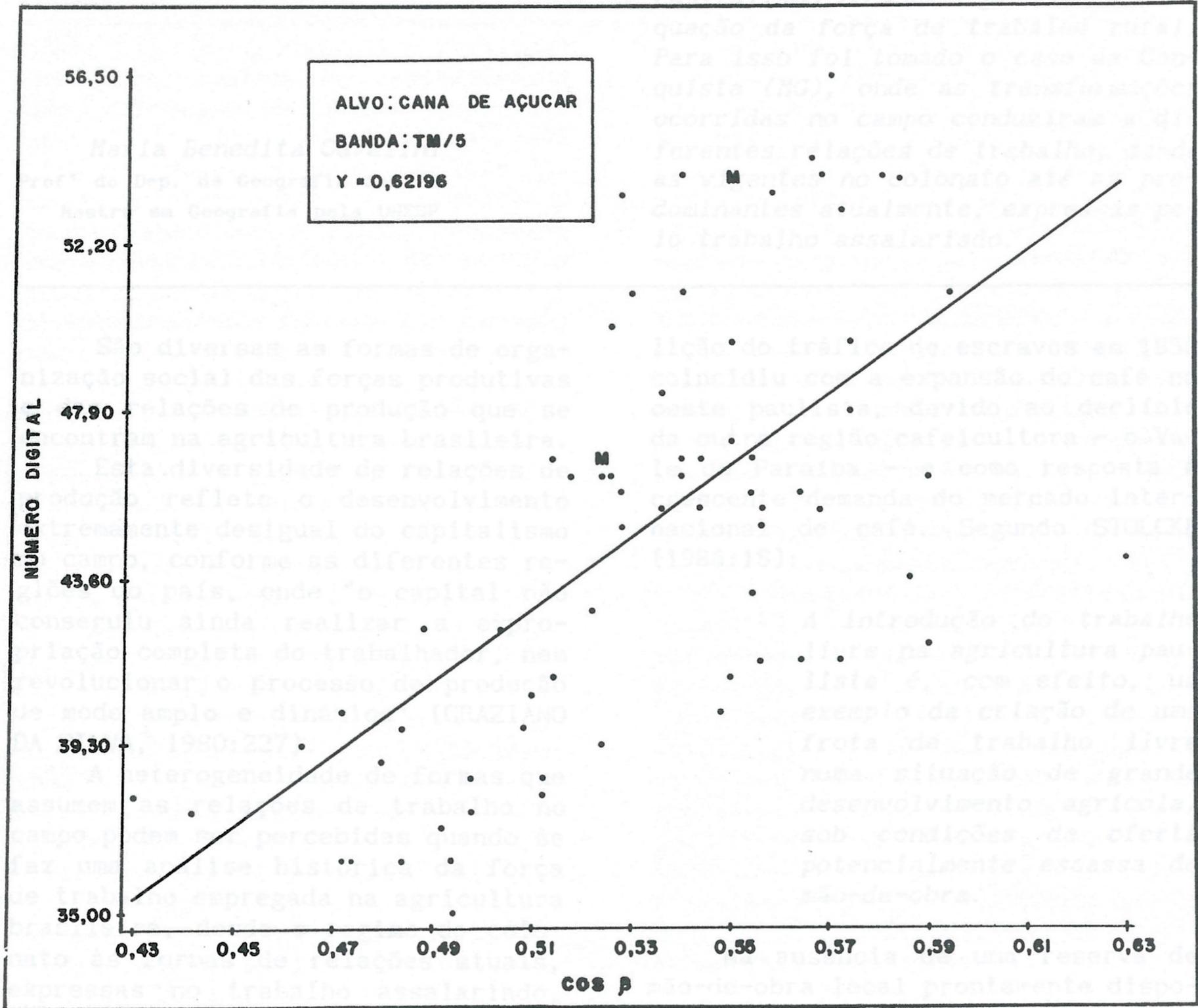




RELAÇÕES DE TRABALHO NA AGRICULTURA:
O CASO DE CONQUISTA (MG)*

RESUMO

O objetivo deste trabalho é registrar como o desenvolvimento do capitalismo no campo brasileiro a questão da força de trabalho rural. Para isso foi tomado o caso de Conquista (MG), onde as transformações ocorridas no campo conduziram a diferentes relações de trabalho, sendo a predominância do trabalho assalarizado.



* Parte I da Dissertação de Mestrado de A. Enquista, do Curso de Pós-Graduação em Geografia Rural, apresentada ao IUPERJ, Rio de Janeiro, em setembro de 1985.