

O USO DO IVDN OBTIDO VIA SATÉLITE NA CARACTERIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA

Paulo Márcio Souza Vieira

FUNCEME: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Caixa Postal D 3221
60.325-002 - Fortaleza-CE, Brasil

Abstract. The aim of this paper is to study the performance of the NDVI obtained via satellite, in the characterization of the water resources available in typical watersheds of the semi-arid Northeast. These basins were chosen, in the State of Ceará: the drainage areas of the dams Orós, Banabuiú e Aráras. For each one, several possible correlations were tested between the NDVI and hydrological parameters such as precipitation, run-off and run-off deficits using historical series from APR/85 to DEC/88, previously analysed and tested. The least-squares method was used in the linear regression analysis and correspondent correlation coefficients determination. The research results indicated better correlation levels between run-off deficits and NDVI (0,72 to 0,82), considering a monthly time-lag. Suggestion for proceeding the studies and possible increase of correlation coefficients are presented at the end.

1 INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil vem, ao longo dos séculos, sofrendo o impacto da atuação de anomalias climáticas. Estas anomalias são caracterizadas, principalmente, pela ocorrência de secas periódicas provocadas por uma reduzida precipitação e uma má distribuição de chuvas ao longo do ano. No entanto, não é só a pequena quantidade de água precipitada anualmente o grande motivo das secas, existe uma gama de fatores de diversas naturezas que devem ser analisados conjuntamente.

As secas demonstram ter um efeito combinado de muitos processos físicos onde as relações existentes entre vento, temperatura, vegetação, solo e as influências orográficas compõem parâmetros importantes para a investigação do fenômeno. Estes processos variam da escala regional para a global, abrangendo, inclusive, os fatores relacionados a sistemas atmosféricos e aspectos de circulação geral.

Para se estabelecer uma política racional dos recursos hídricos é fundamental criar uma estrutura capaz de possibilitar o monitoramento das chuvas numa escala global. Segundo Dedieu (1989), os satélites meteorológicos podem fornecer uma ferramenta global e uniforme de monitoramento sobre grandes áreas com a possibilidade de conseguir dados em tempo relativamente curto.

Nesse sentido, maior êxito pode ser alcançado se as técnicas modernas de sensoriamento remoto forem direcionadas para atender as exigências da previsão hidrológica nas diversas escalas espaciais e temporais.

A utilização de dados sensorizados para estudos de cobertura vegetal vem se desenvolvendo desde o começo da década de oitenta com a aplicação do monitoramento de florestas, desertos e áreas cultivadas. No Brasil esta linha de pesquisa pode ser constatada no trabalho de alguns autores.

Liu (1990) propôs uma metodologia de previsão de safra a partir de dados oriundos do sensor AVHRR/NOAA. Posteriormente, Liu e Ferreira (1991), reforçando a metodologia anteriormente proposta, fizeram um estudo de monitoramento de previsão de safra para a região do Estado de São Paulo.

Franco e Liu (1991) elaboraram um trabalho de estimativa e produção de biomassa para o Cerrado. Já Liu et al. (1991), formularam possíveis relações entre o regime pluviométrico da grande São Paulo com os índices de vegetação e umidade.

Especificamente para o Nordeste, Liu e Massambani (1991), empregando a banda infravermelha do índice de vegetação, fizeram suposições a respeito da variabilidade climática na região.

2 OBJETIVOS

O objetivo prioritário do presente trabalho é a tentativa de interrelacionar o regime hidrometeorológico da região Nordeste do Brasil com as características radioativas da superfície utilizando imagens digitais via sensoriamento remoto provenientes dos satélites operacionais da série NOAA.

Foi feito, então, correlações entre parâmetros hidrológicos e o índice de vegetação de três bacias hidrográficas com o intuito de:

- utilizar os resultados como um indicador para uma análise regional envolvendo a disponibilidade hídrica de cada bacia e seus diversos usos;

- realização de diagnósticos e desenvolvimento de metodologias com vistas a possíveis previsões hidrológicas, a partir do IVDN, visando o monitoramento dos recursos hídricos do Estado do Ceará.

3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram selecionadas três bacias de açudes pertencentes a regiões hidrográficas distintas localizadas no Estado do Ceará. O critério de seleção foi feito baseado na conjugação de três fatores essenciais: em primeiro lugar, na disponibilidade das séries temporais do índice de vegetação e dos parâmetros hidrológicos; em segundo lugar, na localização geográfica das bacias, todas sujeitas as mesmas condições climáticas típicas do semi-árido; em terceiro lugar, na distribuição espacial das estações de IVDN dentro das respectivas bacias dos açudes.

A série de IVDN varia de ABR/85 a DEZ/88. Os valores desta série foram utilizados para comparar anos secos com anos chuvosos, como também os meses mais secos com os mais chuvosos, e avaliar as respostas da vegetação para ambos os casos.

As bacias escolhidas foram Orós, Banabuiú e Aráras.

3.1. Bacia do Aráras

A bacia do açude Aráras está compreendida na região hidrográfica do Acaraú, zona norte do estado, com uma capacidade de acumulação estimada em 1,6 bilhões de metros cúbicos.

O açude Aráras constitui o principal reservatório da região, com capacidade de 190 hm³. A área da bacia do açude é de 4700 km².

3.2. Bacia do Banabuiú

A bacia do açude Banabuiú compreende quase toda a extensão da região hidrográfica do Banabuiú, com uma capacidade de acumulação de 2702,5 hm³.

O açude de Banabuiú tem capacidade para 180.000 hm³ e sua capacidade corresponde a uma área de aproximadamente 15.000 km².

3.3. Bacia do Orós

A bacia do açude Orós coincide com a região hidrográfica do Alto Jaguaribe, com uma capacidade de acumulação de 2.792,91 hm³.

3.4. Parâmetros hidrológicos

Os parâmetros hidrológicos utilizados no trabalho constituem as séries temporais de malha de precipitação, deflúvio e déficit de escoamento para as três bacias dos respectivos açudes em estudo.

A série da malha de precipitação foi obtida através do método de Thiessen. Segundo Villela e Mattos (1975) este método consiste em atribuir valores proporcionais a área de influência de uma bacia hidrográfica de acordo com a seguinte relação:

$$h = \frac{\sum P_i A_i}{\sum A_i}$$

onde:

h - precipitação média

P_i - prec. de cada estação

A_i - área de influência

$\sum A_i$ - área total de cada bacia

Os valores contidos nas séries de deflúvio foram determinados utilizando o modelo hidrológico auto-calibrável para avaliação de disponibilidades hídricas fluviiais (MODHAC).

O déficit de escoamento corresponde a diferença entre a precipitação e o deflúvio de acordo com a seguinte relação:

$$D = P - E$$

onde:

P - precipitação

E - escoamento ou deflúvio

D - déficit de escoamento

Esta diferença está associada diretamente a processos como infiltração, evapotranspiração e crescimento vegetativo.

3.5. IVDN

Em regiões semi-áridas como o Nordeste do Brasil o crescimento da vegetação é impulsionado pelas primeiras chuvas. A disponibilidade hídrica da região é um fator limitante para o complemento do ciclo fenológico, e, conseqüentemente para a produtividade da região.

Uma variedade de índices de vegetação tem sido desenvolvidos utilizando informações periódicas. Estes índices são designados para condensar dados espectrais, discriminar áreas de vegetação de áreas sem vegetação, avaliação de condições de cultura, previsão de safra e produção agrícola.

O índice de vegetação de diferença normalizada é derivado do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometro), radiômetro de alta resolução

instalados nos satélites da série NOAA, com o intuito de detectar as radiações eletromagnéticas e fornecer imagens e dados quantitativos de radiância através de sinais analógicos de alta resolução.

Os dados do AVHRR tem sido empregados com muito sucesso no monitoramento da cobertura vegetal e está relacionado a porcentagem de radiação ativa fotossinteticamente absorvida e a variação integral ou temporal dos índices ao longo do desenvolvimento da vegetação. Esta aplicação se faz utilizando os canais 1 e 2 correspondente as faixas do vermelho visível e do infravermelho próximo através da seguinte equação:

$$IVDN = (CH2 - CH1)/(CH2 + CH1).$$

O IVDN é preferido para o monitoramento global da vegetação porque compensa parcialmente mudanças de condições de iluminação, declive superficial e aspectos de observação.

Nuvens, água e neve têm mais reflectância no visível do que no infravermelho próximo, portanto o IVDN é negativo. Objetos com aproximadamente a mesma reflectância no visível e infravermelho como solos, asfalto, concreto resultam em índices de vegetação próximos a zero. Em paisagens com vegetação, o IVDN varia de 0,1 a 0,6, os valores mais altos estão associados a maior densidade e a tonalidade do verde da cobertura vegetal. Fatores de ordem atmosférica com aerossóis e dispersão de poeira atuam aumentando a reflectância no visível, consequentemente reduzindo o IVDN.

As regiões semi-áridas são caracterizadas por uma vegetação esparsa, onde a composição espectral da radiação que atinge o sensor é uma função complexa dos diversos componentes de cena como: solos, folhas, ângulo solar zenital, ângulo de visão do sensor, idade do ciclo fenológico, tipo de vegetação e condições atmosféricas.

Henricksen e Durkin (1986), ao analisarem períodos de crescimento da vegetação em vinte e oito localidades da Etiópia, encontraram forte correlação entre as taxas de índice de vegetação e dados de umidade do solo no começo e no fim do período de crescimento, possibilitando assim a realização de prognósticos de secas via satélite.

Nelson e Holben (1985) estudaram o deflorestamento ocorrido em Rondônia com o intuito de identificar fontes de dados de satélites apropriados para o monitoramento da vegetação diferenciando áreas com vegetação de áreas sem vegetação.

Tucker et al. (1991) fizeram um levantamento estatístico de nove anos de dados de IVDN para o período de crescimento de culturas no Sahel Africano, incluindo os anos muito secos.

Neste trabalho a série de IVDN é formada por vários pontos dispostos de tal maneira que possibilita uma

análise global da cobertura vegetal em todo o estado e nas bacias dos açudes em estudo (ver figuras 1, 2, 3 e 4).

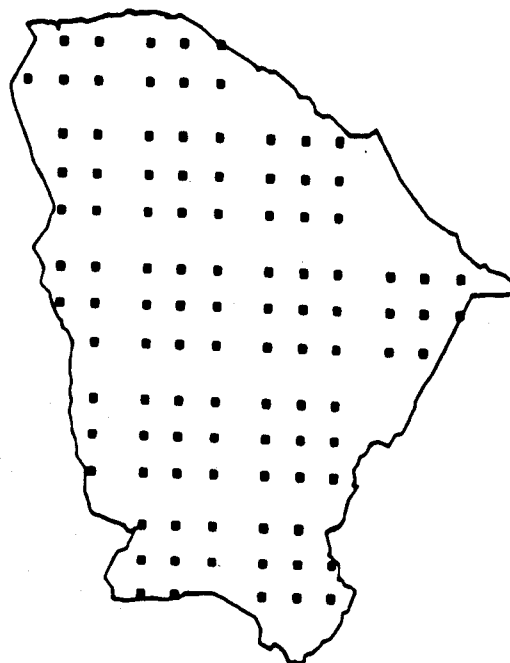


FIG.1 - Distribuição dos pontos de IVDN no Estado do Ceará

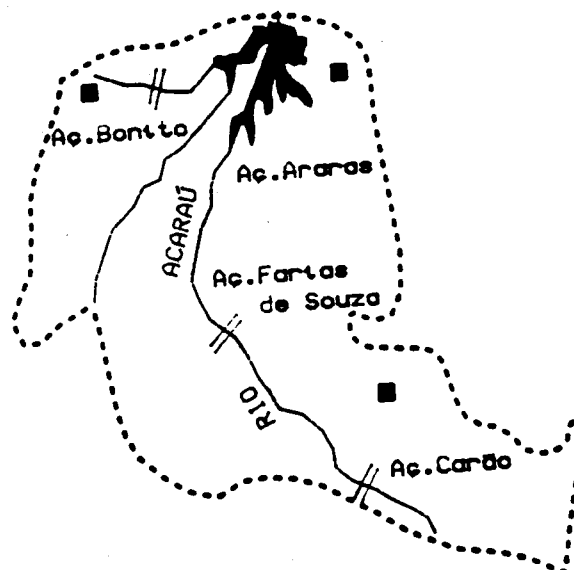


FIG.2 - Distribuição dos pontos de IVDN na Bacia do Açude Araras

Os dados desta série são derivados do NOAA-9 e fornecidos em dias julianos, de modo que para cada ponto existem aproximadamente quatro valores mensais. Foi escolhido o maior valor para cada mês e desprezados os valores negativos com o intuito de compensar possíveis

distúrbios que poderiam comprometer a qualidade dos resultados. Estes distúrbios estão relacionados com cobertura de nuvens e diferentes condições atmosféricas.

O cálculo do IVDN foi feito a partir de uma população de pixels de resolução de 1 X 1 km², totalizando uma área de aproximadamente 20 X 20 km² para cada ponto. Os valores mensais foram obtidos através da média aritmética de todos os pontos localizados dentro da bacia.

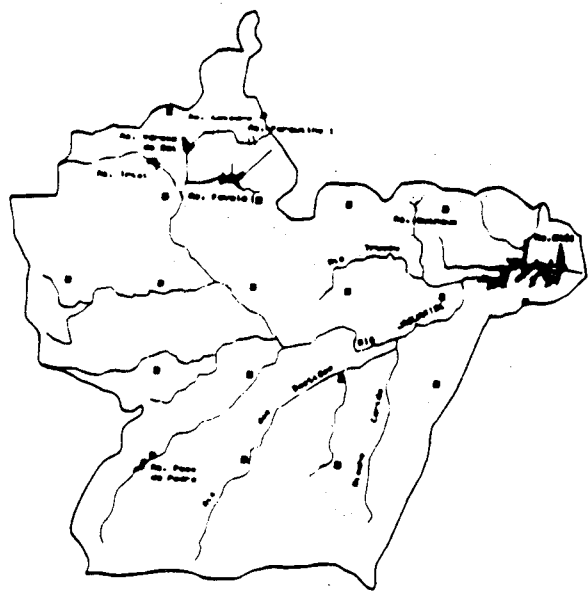
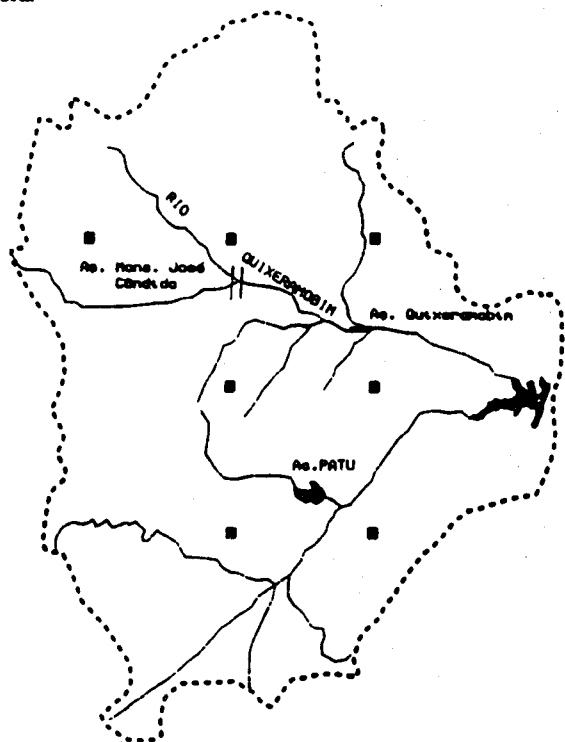


FIG. 3 e 4 - Distribuição dos pontos de IVDN nas Bacias dos Açudes Banabuiú e Orós

3.6. Correlações

A investigação das relações existentes entre os componentes do balanço hídrico de cada bacia e a cobertura vegetal foi feita através de correlação linear.

Foi utilizado o método dos mínimos quadrados para o estabelecimento da reta de regressão e correspondente coeficiente de correlação. As variáveis hidrológicas utilizadas na análise, como já foi visto, foram precipitação, deflúvio e déficit de escoamento. Precipitação e deflúvio possuem séries históricas observadas e o déficit de escoamento é obtido pela diferença entre ambas.

A idéia básica é iniciar um processo de investigação onde se estabeleçam relações entre coeficientes de superfície, como é o caso do índice de vegetação, e a quantificação volumétrica dos recursos hídricos disponíveis nas bacias.

Análises posteriores deverão procurar detalhar o ciclo vegetativo com as necessidades hídricas das plantas e o seu fornecimento via escoamento superficial e subterrâneo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resultados apresentados no trabalho mostram, através de séries históricas, as variabilidades regionais, sazonais e as relações existentes entre parâmetros hidrológicos e da cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica.

4.1. Análise dos Perfis

4.1.1 Parâmetros Hidrológicos

Pode-se constatar através da figura 5 que o traçado da curva de precipitação caracteriza fielmente o regime pluviométrico do Estado do Ceará, com chuvas no período de janeiro a junho e seca nos demais meses.

Já as curvas de deflúvio e déficit de escoamento, embora tenham quase a mesma resposta ao regime de chuvas possuem uma pequena variação.

De acordo com a figura 6 pode-se observar que o deflúvio se mantém zero principalmente em períodos secos e reage nas épocas de chuva. No entanto, em alguns casos, ocorre um comportamento diferente, considerando que o deflúvio não é apenas uma função da precipitação no período, mas também de precipitações anteriores e do lento escoamento de base.

Partindo dessa premissa teremos períodos de chuva onde a precipitação é suficiente para saturar o solo e provocar o escoamento e períodos onde ocorre o escoamento sem que haja precipitação. Nesse último caso pode-se ter a influência de áreas da bacia onde ocorrem forte precipitação.

O déficit de escoamento fornece uma idéia da porção de água do ciclo fenológico da bacia envolvido nos processos de infiltração, evapotranspiração e desenvolvimen-

to vegetativo (ver figura 7).

4.1.2. IVDN

As figuras 8, 9 e 10, nos mostra o perfil do comportamento da cobertura vegetal para as bacias em estudo. Nos três anos estudados pode-se observar que o traçado dos gráficos demonstra uma tendência de crescimento nos períodos chuvosos, mesmo em anos relativamente secos.

Para anos tipicamente secos observa-se que os valores de IVDN, embora cresçam nos meses chuvosos não atingem valores elevados e nos meses secos chegam a níveis muito baixos.

Nos anos tipicamente chuvosos os valores de IVDN chegam a alcançar 0,6 nos meses mais chuvosos e nos meses mais secos constata-se que o índice permanece em níveis relativamente bons.

4.2. Correlações

As correlações foram feitas utilizando as séries históricas de IVDN, precipitação, deflúvio e déficit de escoamento nas três bacias em estudo.

Na tentativa de buscar resultados mais consistentes foram feitas correlações utilizando um *time-lag* de 1 e 2 meses entre o IVDN e os parâmetros hidrológicos. O *time-lag* indica uma possível diferença de tempo de resposta entre a cobertura vegetal e a precipitação, o deflúvio e o déficit de escoamento.

As correlações utilizando um *time-lag* de 2 meses não deram resultados satisfatórios, sendo desprezadas. O contrário ocorreu com um *time-lag* de 1 mês, onde foram encontradas as melhores correlações.

Os resultados das correlações entre o IVDN e as séries de precipitação e deflúvio indicaram coeficientes de correlação girando em torno 0,60 e 0,50. Estas baixas correlações estão associadas a períodos sem escoamento mas com alguma precipitação, durante ou imediatamente anterior àqueles períodos (ver figuras 11 e 12).

O resultado das correlações entre déficit de escoamento e IVDN conduziram a melhores resultados, em torno de 0,65. No entanto, os coeficientes mais elevadas ocorreram utilizando um *time-lag* de 1 mês, ficando em torno de 0,80 (ver figuras 13).

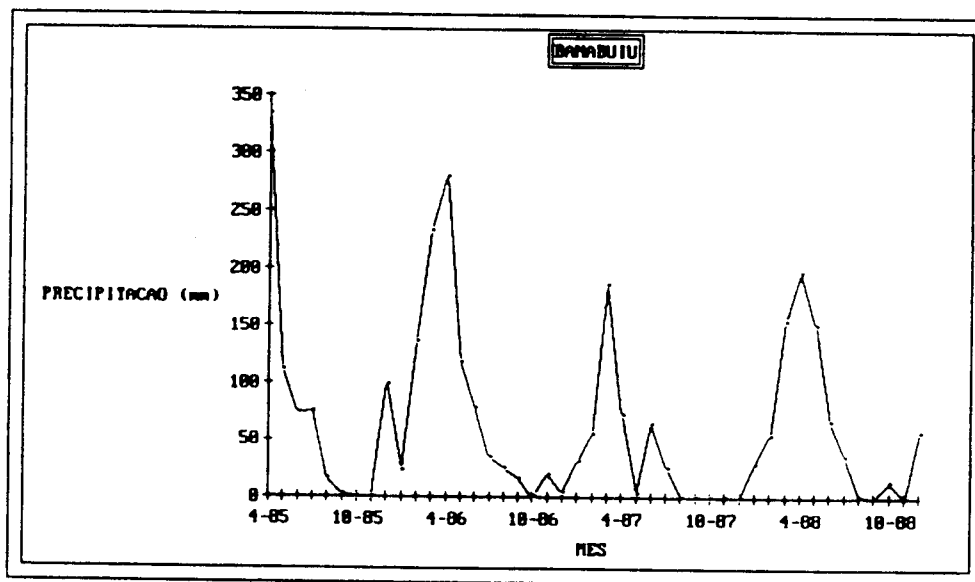


FIG. 5 - Curva de precipitação para a Bacia do Banabuiu

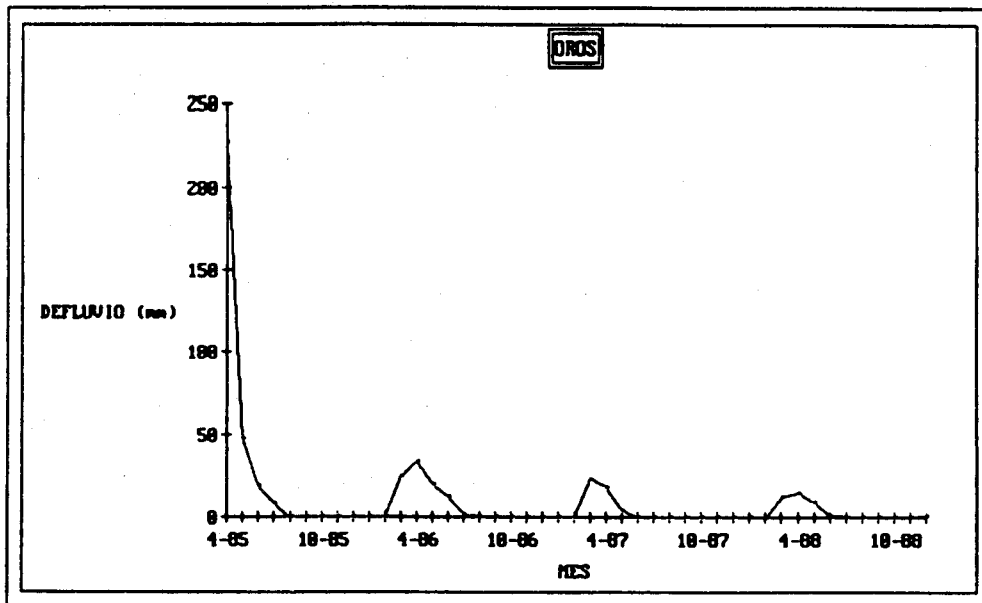


FIG. 6 - Curva de defluvio para a Bacia do Orós.

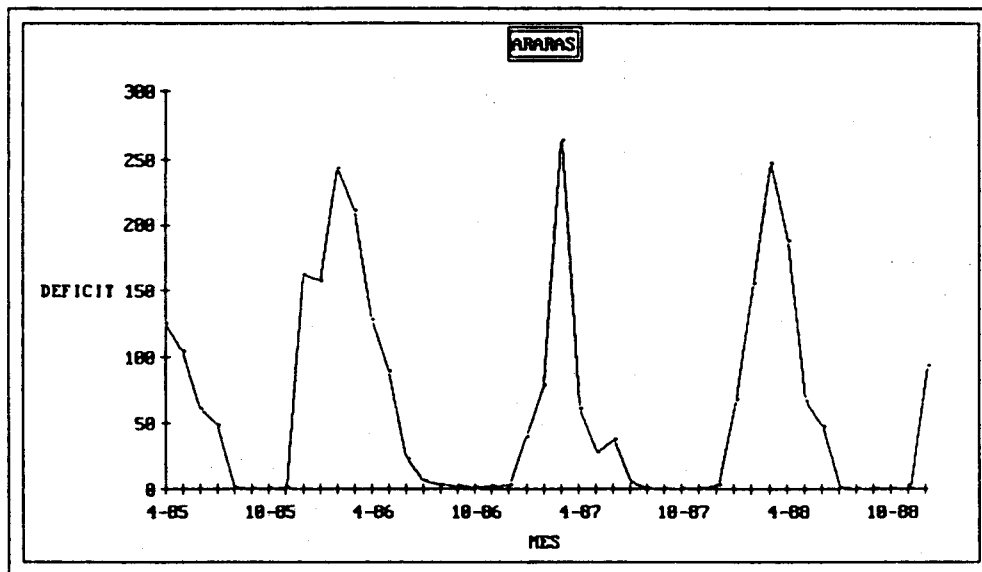


FIG. 7 - Curva de déficit de escoamento para a Bacia do Araras

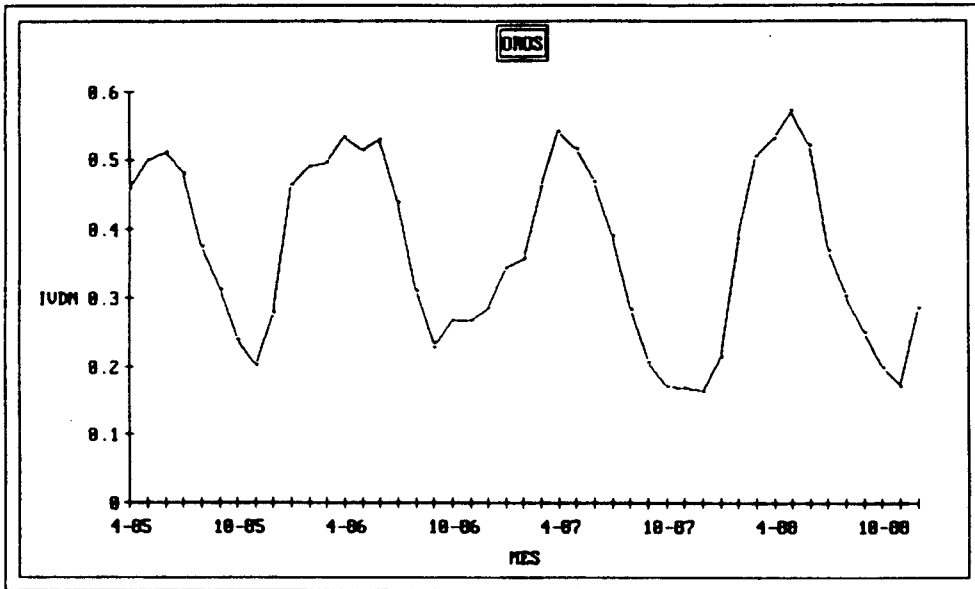


FIG. 8 - Curva de IVDN para a Bacia do Orós.

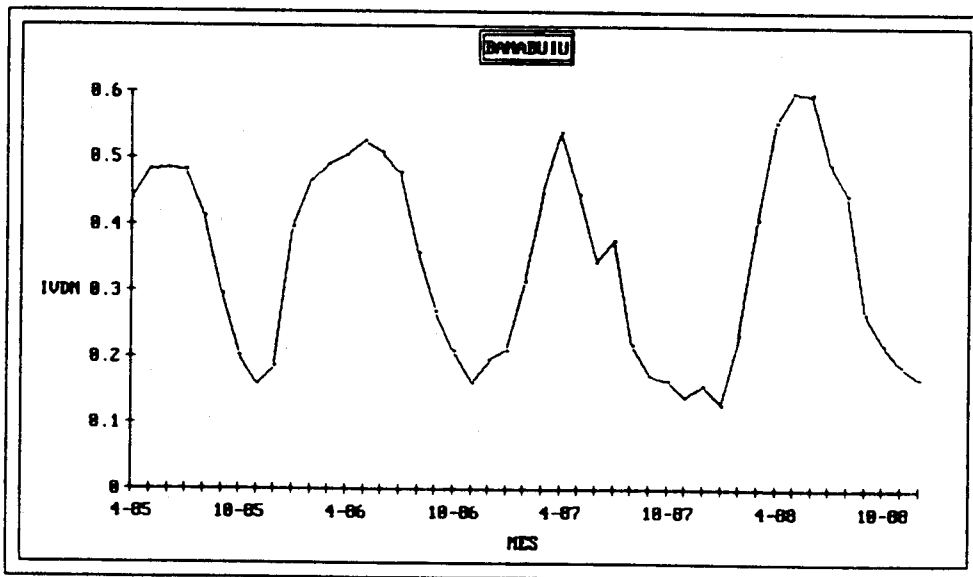


FIG. 9 - Curva de IVDN para a Bacia do Banabuiú

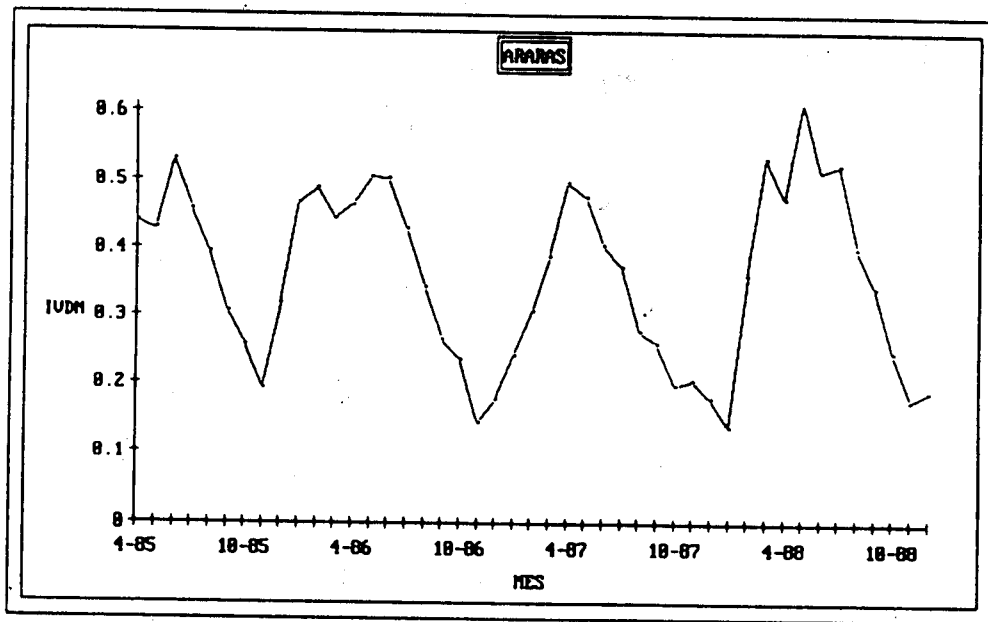


FIG. 10 - Curva de IVDN para a Bacia do Araras.

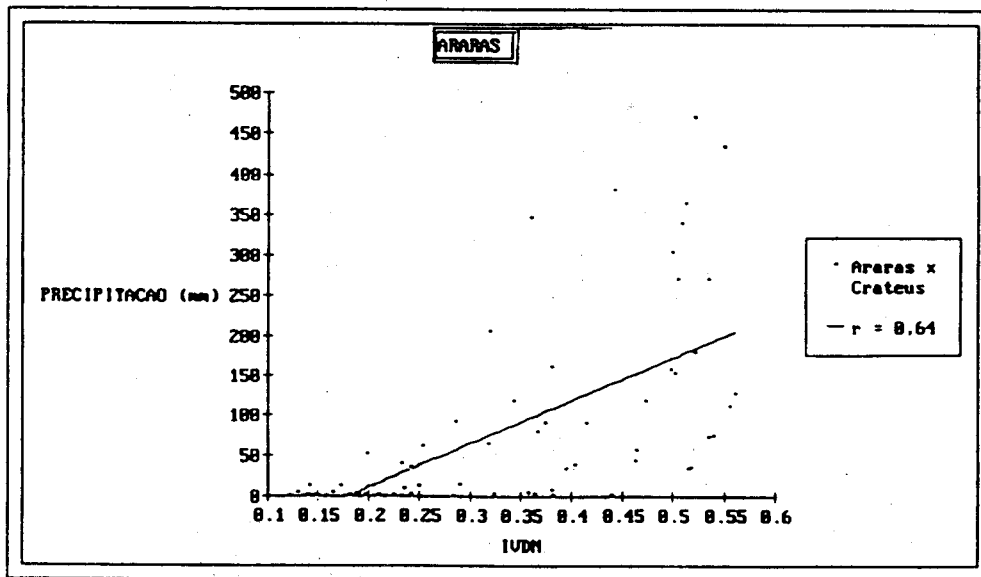


FIG. 11 - Correlação IVDN X Precipitação

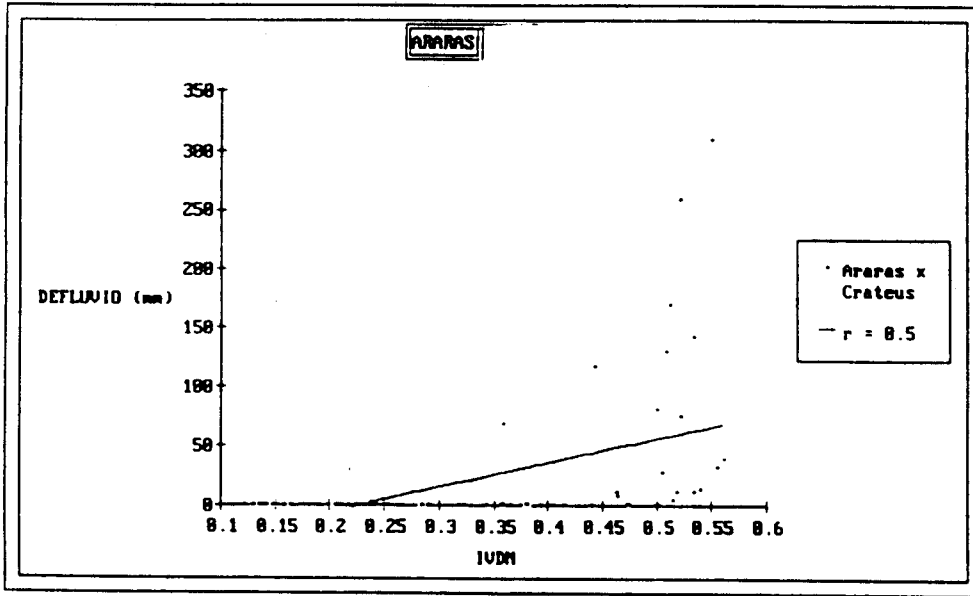


FIG. 12 - Correlação IVDN X Deflúvio

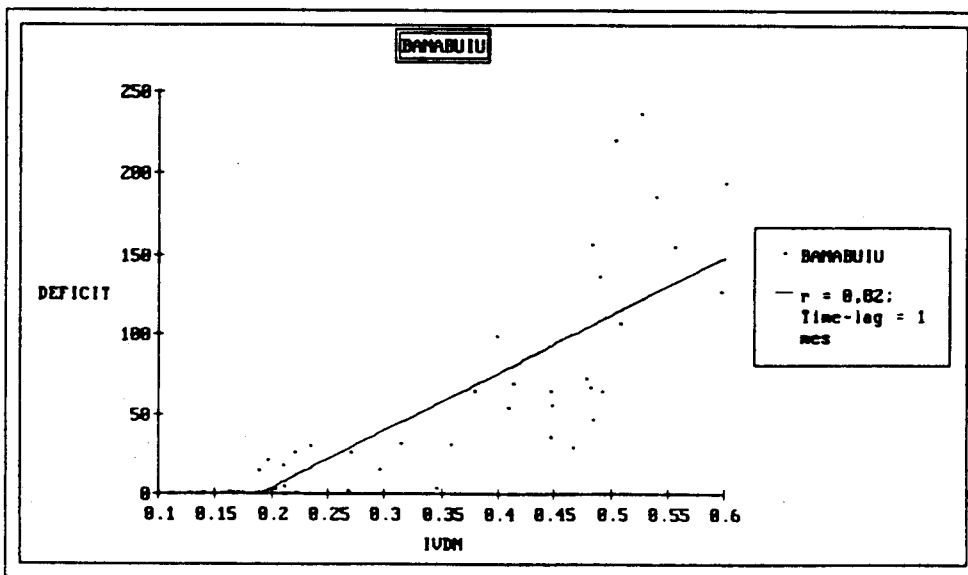


FIG. 13 - Correlação IVDN X Défit de escoamento (*time-lag* = 1 mês)

5 CONCLUSÃO

A utilização de dados sensoriados no estudo de bacias hidrográficas permite uma visão atualizada de todas as ocorrências observadas. A abordagem multiespectral e multitemporal torna possível o monitoramento constante das diversas modificações ocorridas no ambiente e permite uma avaliação dos dados num curto período de tempo.

Neste trabalho procurou-se utilizar os dados provenientes do satélite como uma ferramenta operacional capaz de fornecer subsídios na caracterização hidrológica das bacias em estudo.

As variações sazonais e regionais de IVDN observadas através das séries temporais de três bacias hidrográficas localizadas no Nordeste demonstram a possibilidade de se estudar as variações climáticas e hidrológicas regionais.

Os resultados das correlações nos mostram que existe uma relação entre o índice de vegetação e os parâmetros hidrológicos envolvidos no balanço hídrico das bacias hidrográficas em estudo.

O índice de vegetação apresenta razoável nível de correlação com o déficit de escoamento, em torno de 0.80, ficando evidenciado uma correlação mais acentuada com um *time-lag* de 1 mês.

As correlações não foram superiores em virtude de:

- a nebulosidade do período chuvoso provoca distorção na representatividade do IVDN em termos de cobertura vegetal pois impede a captação pelo sensor da real reflectância das plantas;

- o tempo de resposta considerado (1 Mês) pode não representar o tempo real de resposta compatível com as séries históricas existentes, necessitando-se portanto de estudos utilizando dados quinzenais, semanais ou até diários;

- a influência da sazonalidade no ciclo fenológico poderá conduzir a correlações diferenciadas para as diversas estações do ano ou para as várias fases do ciclo fenológico;

- a densidade da rede de pontos é relativamente baixa não caracterizando adequadamente a grande variabilidade da cobertura vegetal nas bacias;

Baseado nos resultados apresentados podemos chegar a algumas conclusões interessantes:

- a correlação IVDN X déficit de escoamento poderá ser aprimorada, quer com relação aos tópicos acima levantados, quer com relação a sua própria decomposição em infiltração e evapotranspiração;

- a partir dessa correlação poder-se-á, em função do IVDN, estabelecer valores estimativos dos déficits de escoamento e, conseqüentemente, conhecidas as

precipitações, dos níveis de escoamento das bacias;

- este trabalho apresenta apenas o início de uma extensa linha de pesquisa que poderá ser feita na região associando o IVDN às disponibilidades das hídricas das bacias bem como propiciando o monitoramento dos recursos hídricos;

- estudos específicos poderão ser feitos em áreas irrigadas, correlacionando IVDN com parâmetros hidrológicos, com a finalidade de aprimorar a representatividade deste índice com a quantidade de biomassa existente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dedieu, G.; Hauticœur, O.; Seguin, B.; Lagouarde, J.P. NOAA AVHRR e seus usos para a chuva e monitoramento de evapotranspiração. *Int. Journal of Rem. Sen.*, vol. 10, 847 - 854, 1989.
- Franco, N. J. N.; Liu, W. T. H. Estimativa de produção de biomassa para os Cerrados utilizando os índices de vegetação. VII Congresso Brasileiro de Meteorologia - Viçosa, Minas Gerais, 1991.
- Henricksen, B.L.; Durkin, J.W. Growing period and drought early warning in Africa using satellite data. *Int. Journal of Rem. Sen.*, vol. 7, 1581 - 1608, 1986.
- Liu, W. T. H. Previsão de safra agrícola através do AVHRR do satélite NOAA. IAG - USP, 1990.
- Liu, W. T. H.; Ferreira, A. Monitoramento da produção de safra no Estado de São Paulo utilizando IVDN. VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Viçosa, Minas Gerais, 1991.
- Liu, W. T. H.; Massambani, O. O programa de estudos climáticos para a Região Nordeste via satélite. IAG - USP/FUNCEME, 1991.
- Liu, W. T. H.; Xavier, A. F. S.; Xavier, T. M. B. S. Relação da pluviometria da grande São Paulo com índices de vegetação e de umidade de diferença normalizada. IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro, 1991.
- Nelson, R.; Holben, B. Identifying deforestation in Brazil using multiresolution satellite data. *Earth Resources Branch, NASA*, 1985.
- Tucker, C. J.; Newcomb, W. W.; Los, S. O.; Prince, S. D. Mean and inter-year variation of growing season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981 - 1989. *Int. Journal Rem. Sen.*, vol. 12, 1133-1135, 1991.
- Villela, W. M.; Mattos, A. Hidrologia aplicada. Ed. McGraw-Hill. São Paulo, 1975.