

Mapeamento do estresse hídrico na vegetação a partir da utilização do NDWI: comparação com a adaptação da metodologia australiana MWSP aplicada ao médio trecho da Bacia Hidrográfica do Ipojuca-PE

Elisabeth Regina Alves Cavalcanti Silva¹

Claudio Antônio Vieira da Silva¹

Maria Lucielle Silva Laurentino¹

Neiva Marion Guimarães de Santana¹

Patricia Fernanda Passos de Oliveira¹

Hewerton Alves da Silva¹

Josiclêda Domiciano Galvêncio¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Avenida Professor Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. CEP 50670-901. (bellhannover, cavs_1502, lugaby18, neinei-18, nanda_fox, he.wasufpe, josicleda}@hotmail.com;).

Abstract. This study searches to evaluate the degree of water stress (Eh) in the area corresponding to the stretch middle of the Basin Ipojuca – PE, located in the state of Pernambuco, through the data obtained from stations streamflow the period 1973-2008. The value of water stress was derived, according to the methodology Australian MWSP, from the integration of results calculated for reason of use of water resources (Ru) and the vulnerability to climate changes in the Basin. According to the methodology, which takes into account human aspects (Ru) and relevant data to historical flow as non-stationarity and climate variability of the basin, used as a basis for calculating the climatic vulnerability of the basin to climate changes, using the calculations to confirm and explain the existence of extensive areas with water stress identified in the image of Landsat 5-TM in 2007. Integrating the results obtained using the methodology MWSP compared with the obtained by calculation NDWI of the same area, it is clear that there are large tracts of territory basin showing a high degree of water stress. This study might be able to combine hydrological models to data obtained from remote sensing that were worked in order to recognize areas of greater water stress.

Key-words: reason of use, non-stationarity, variability of flows, climate vulnerability, razão de uso, não-estacionariedade, variabilidade das vazões, vulnerabilidade climática.

1. Introdução

Segundo MARENGO (2006), em razão da dificuldade que os modelos têm para representar adequadamente as características do clima regional, a experiência brasileira mostra a necessidade de se ajustar os métodos aplicáveis aos cenários de mudança do clima resultantes de modelos globais para projeções de escopo regional ou local.

Um dos métodos propostos para estimativa do estresse hídrico neste trabalho é o método desenvolvido no estudo de Galvão (2008) que por sua vez é uma modificação da Metodologia australiana *Macro Water Sharing Plans* - MWSP (NSW, 2006) do Governo de New South Wales – Austrália. Essa metodologia será útil no sentido de corroborar, a partir de modelos hidrológicos, os resultados obtidos e observados a partir do cálculo do NDWI (índice de água por diferença normalizada) da imagem LANDSAT-5 TM do ano de 2007 de estresse hídrico da vegetação no médio trecho da bacia do Ipojuca, localizado no agreste do estado de Pernambuco.

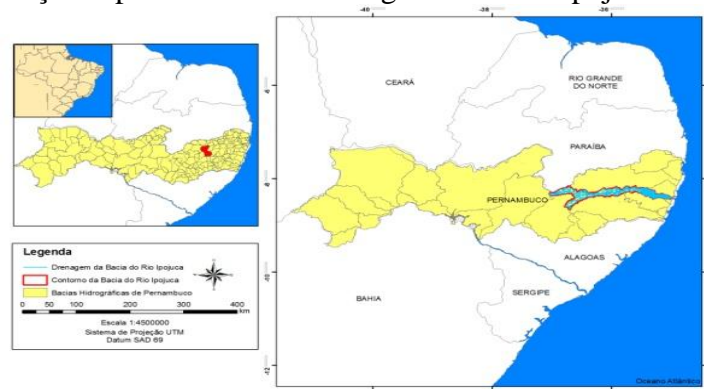
2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A Bacia do Ipojuca localiza-se totalmente em território pernambucano estando situada entre os paralelos 8° 09' 50" e 8° 40' 20" de latitude sul, e os meridianos 34° 57' 52" e 37° 02' 48" de longitude oeste do meridiano de Greenwich. Sua área cobre uma superfície de 3.433,58 km, correspondendo a 3,49% do total do Estado, e seu perímetro

é de 749,6 km (figura 1). Os trechos superior, médio e sub-médio da bacia estão localizados nas regiões do Sertão (em pequena porção) e Agreste, enquanto que o trecho inferior tem a maior parte de sua área situada na zona da Mata Pernambucana, incluindo a faixa litorânea do Estado (CONDEPE, 2005). Os municípios do médio trecho da Bacia do Ipojuca considerados neste estudo foram: Pesqueira, Belo Jardim e Caruaru (onde foram utilizados os dados fluviométricos).

Figura 1 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Ipojuca-PE.



2.2 Caracterização climática

Nas áreas mais próximas ao Sertão (trechos superior e parte do médio) o clima é quente e seco, e o período mais chuvoso vai de fevereiro a junho (chuvas de verão/outono). Os trechos médio e sub-médio da bacia estão localizados na região Agreste do estado de Pernambuco (sendo o trecho sub-médio o mais próximo da Zona da Mata com a estação chuvosa compreendendo-se entre os meses de março a julho, período de chuvas de outono/inverno), (CONDEPE, 2005).

2.3 Dados coletados

A imagem utilizada neste trabalho é do ano de 2007 e foi obtida do sensor TM (Thematic Mapper), a bordo do satélite Landsat-5, obtidas junto à Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Foram utilizados também, dados obtidos junto à ANA pelo posto fluviométrico denominado CARUARU, cuja operadora é a CPRM (coordenadas: 8°12'39"S, 35°36'10" e Código 39340000). É importante salientar que nos dados fluviométricos utilizados, alguns anos tiveram que ser descartados, pois apresentavam algumas inconsistências, são eles: 1980, 1981, 1982, 1983, 1987, 1993, 1994. Também houve alguns anos que não tiveram seus dados de vazão coletados que foram: 1995, 1996, 1997, 1998 e 1999.

2.4 Softwares utilizados

O Excel foi utilizado na elaboração das figuras e tabelas referentes aos dados fluviométricos bem como na tabulação dos demais dados da pesquisa. Também utilizou-se o ARCGIS 9.3 para localização espacial da Bacia e montagem do layout e o software ERDAS 9.3 no processamento das imagens.

2.5 Processamento de imagem e montagem do layout

Inicialmente foi realizado o registro de todas as imagens a partir de pontos coletados em campo. Para o processamento das imagens do satélite Landsat-5 foram criados modelos usando a ferramenta Model Maker do software ERDAS Imagine 9.3 e a montagem final dos mapas foi realizada através do software ArcGIS 9.3. Ambos

possuem licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

2.5.1 Calibração Radiométrica

A calibração radiométrica (equação 1) é obtida através da intensidade do fluxo radiante por unidade de ângulo sólido. As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 (OLIVEIRA, 2010). O conjunto da radiância ou calibração radiométrica é obtido utilizando-se a equação proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($1 \text{ 1 2}\mu\text{m sr Wm}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do satélite Landsat 5 e 7. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003) apud OLIVEIRA 2010.

2.5.2 - Reflectância

A reflectância (Equação 2) de cada banda (i) é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da equação (Allen et al., 2002 apud Oliveira 2010):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (2)$$

Onde $\lambda_i L$ é a radiância espectral de cada banda, λ_{ik} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera $1 \text{ 2}\mu\text{m}$ (Wm , Tabela 1), Z é o ângulo zenital solar e rd é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DSA) (Oliveira, 2010).

2.5.4 – NDWI

Segundo Cardozo et al. (2009), o índice de vegetação Normalized Difference Water Index (NDWI), proposto por Gao (1996), é relacionado com o conteúdo de água presente nas folhas. Cardozo et al. (2009) afirmam que este índice se apresenta como uma importante ferramenta em estudos relacionados ao vigor vegetativo. O mesmo é obtido através das bandas do infravermelho próximo (IV p) e do infravermelho médio (IV m) do satélite Landsat 5 (Oliveira, 2010):

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{MidIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MidIR}} \quad (3)$$

Estudos mostram que o NDWI está correlacionado com o conteúdo de água do dossel vegetal, indicando mudanças na biomassa e valores oscilantes de umidade nas plantas (Hardisky et al., 1983; Gao, 1996).

3. Cálculo do estresse hídrico através da metodologia MWSP – Eh

O estresse hídrico é o indicador que estima o nível de impacto ao qual o curso d'água está sendo submetido e é considerado um importante indicador da competição entre usuários de água. É calculado por meio do balanço entre oferta e demanda,

levando em conta tanto os efeitos da extração de água, como também impactos climáticos nos corpos hídricos (Galvão, 2008). Este indicador é resultado da combinação de dois parâmetros: Razão de Uso dos Recursos Hídricos (Ru) e a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas. Segundo o método utilizado pelo MWSP e pelo PNRH (2006) (Plano Nacional de Recursos Hídricos) e desenvolvido por Galvão (2008), é possível estimar o estresse hídrico através da razão entre a demanda de extração e a vazão disponível (chamado de Estresse Hidrológico – Eh).

3.1 Razão de Uso dos Recursos Hídricos

O parâmetro Razão de Uso dos Recursos Hídricos é uma importante medida de impacto na extração, pois relaciona a quantidade de água disponível à quantidade de água extraída do curso d'água, critério semelhante é utilizado pelo MWSP e pelo PNRH, (Galvão, 2008). Esse parâmetro leva em consideração a demanda na extração, que neste trabalho será considerada como a demanda de água (m³/s) no mês mais crítico da série de vazão estudada, e a vazão disponível como sendo a média de longo prazo das vazões.

$$Ru = Qd/Qmed \times 100 \quad (4)$$

Depois de calculada a razão de uso, examina-se seu valor, se a porcentagem de uso dos recursos hídricos for menor que 20%, sua razão de uso é considerada baixa, se o valor estiver no intervalo entre 20 e 50%, a razão de uso é média e se for acima de 50%, ela é alta.

3.2 Vulnerabilidade Climática

O segundo parâmetro para mensuração do estresse hídrico é o parâmetro relativo à Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas, que caracteriza a vulnerabilidade da bacia hidrográfica frente às mudanças climáticas, classificando-a em três níveis: baixo (B), médio (M) e alto (A). Ele é calculado por meio da combinação de dois subparâmetros que verificam o coeficiente de variação da série histórica de vazões (variabilidade), e do grau de estacionariedade da série histórica de vazões. Esses subparâmetros são a variabilidade climática e a não-estacionariedade da série histórica de vazões. Quanto maiores forem os subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade maior será a vulnerabilidade dos ecossistemas, e da sociedade que faz uso desses recursos, a eventos extremos (GALVÃO, 2008).

3.3 Variabilidade Climática

A variabilidade, neste caso, é estimada por meio do coeficiente de variação das vazões no período estudado. Ele é calculado através do desvio padrão (D.P), que é dado pela fórmula abaixo (Equação 5):

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (5)$$

Onde \bar{R} é a amplitude média do processo e d_2 é o fator relacionado ao tamanho dos subgrupos. Uma vez obtida a série histórica de vazões médias anuais para o curso d'água estudado, é calculado o seu coeficiente de variação (CV), obtido pela equação 6 onde o desvio padrão é dividido pela média de vazão da bacia nos anos estudados e multiplicado por 100.

$$CV = \frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}} \cdot 100 \quad (6)$$

A partir do valor encontrado define-se dessa forma o nível de variabilidade para a unidade de manejo avaliada: se o valor encontrado for menor que 15% o valor é baixo, se for entre 15 e 30%, o valor é médio e maior que 30%, alto. A variabilidade climática elevada está associada à ocorrência de eventos extremos mais severos que em regiões de menor variabilidade (Souza Filho, 2003).

3.4 Não-estacionariedade da série histórica de vazões

O segundo subparâmetro a ser avaliado é a estacionariedade da série de vazões, que pode ser estimada utilizando-se o teste de SALAS (1993). Segundo este, uma série de vazões é considerada estacionária se for livre de tendências, variações ou periodicidades. A não-estacionariedade pode ocorrer por um ou mais dos seguintes fatores: variabilidade climática no período amostrado, mudança climática ou modificação do uso do solo (Tucci & Braga, 2003). O teste de não-estacionariedade de séries de vazões é dado pela Equação 7 derivada de Salas (1993) onde um t_c (índice de estacionariedade) menor que $0,9t$ ($0,9 \times t$ de *Student*) representa uma não-estacionariedade baixa, ou seja, ou a série é estacionária ou seu grau de não-estacionariedade é pequeno. Se o t_c estiver num intervalo entre $0,9t$ e $1,1t$, ela é considerada de média não-estacionariedade e se for acima de $1,1t$ ($1,1 \times t$ de *Student*), a série histórica de vazões apresenta um alto grau de não-estacionariedade:

$$t_c = \left| \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{1-\alpha/2, v} \quad (7)$$

Onde o t_c (índice de estacionariedade) é igual ao valor de t , o r é o coeficiente de correlação entre $q(i)$ (parâmetro) e n° de anos estudados (i) (tempo), o N é o n° de anos da série, o v é $N-2$ graus de liberdade e o $t_{1-\alpha/2, v}$ é igual ao t de *Student* a 99% de confiança (valor tabelado da distribuição de Student para um grau de liberdade $n = N-2$)

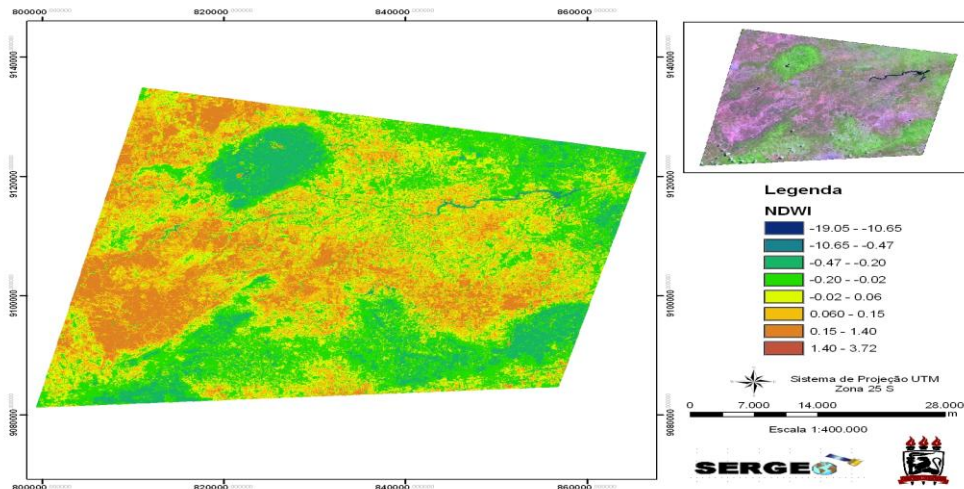
3.5 Estresse Hídrico

E por meio da combinação dos parâmetros Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas torna-se possível a obtenção do indicador de Estresse Hidrológico. Tomando por base o trabalho de Galvão (2008), quanto maiores forem a Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas e a Razão de Uso dos Recursos Hídricos, maior será o Estresse Hidrológico – Eh, e seu Escore, e mais vulnerável a bacia hidrográfica se encontra com relação à oferta e à demanda de água e a suscetibilidade a fenômenos climáticos severos.

4. Resultados e discussões

Analisando a figura 1 é possível observar o comportamento do NDWI da área, verificando que as áreas onde predominam vegetação de caatinga são as que mais apresentam estresse hídrico juntamente com áreas de solo exposto. Nota-se como grande parte da área de estudo apresentou NDWI entre o intervalo 0,02 e 1,40 apresentando uma cor entre o amarelo (mais próximo a 0,02) e a cor laranja (próximo a 1,40) enquanto que as áreas verdes correspondem às partes que possuem uma vegetação mais úmida. Os valores mais elevados de NDWI correspondem justamente às áreas mais próximas dos corpos hídricos e com maior predominância de corpos d'água. Embasado neste resultado deve-se proceder à estimativa do estresse hídrico utilizando-

se um modelo hidrológico que é a metodologia MWSP para comprovar a predominância de áreas com alto estresse hídrico no médio trecho da Bacia do Ipojuca. Figura 1 - NDWI da área de estudo



Em seguida efetuou-se o cálculo do desvio padrão (D.P) e do coeficiente de variação (C.V.), resultando num valor em torno de 86,59%. A partir dos dados coletados junto a ANA do posto fluviométrico de Caruaru dos anos de 1973 a 2008, foi calculada a variabilidade da série histórica de vazão dos anos de 1973 a 2008 (figura 2). Desse modo, a variabilidade é considerada alta no médio trecho da Bacia do Ipojuca em razão do CV estar acima de 30% (tabela 1).

Figura 2: variabilidade da série histórica de vazões (1973-2008).

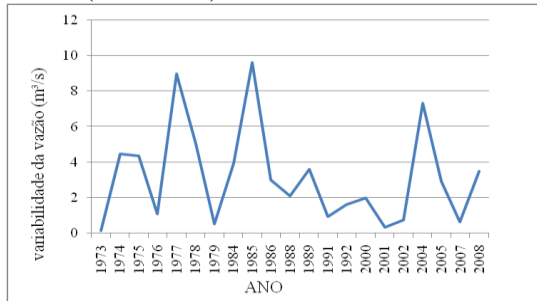


Tabela 1 - Resultado (hachurado) para o subparâmetro Variabilidade da Série Histórica de Vazões na Bacia Hidrográfica do Ipojuca.

VARIABILIDADE	CV
Baixo	< 15%
Médio	15% ≤ CV ≤ 30%
Alto	> 30%

Posteriormente foi feito o teste de não-estacionariedade. Deve-se salientar que nos dados obtidos neste trabalho, há um período de amostragem de 21 anos, como o teste t é baseado no teste t de Student a 99% de confiança (valor tabelado da distribuição de Student para um grau de liberdade n = N-2), o grau de liberdade obtido foi de 0,0127. O r da fórmula, que é a tendência de crescimento ou de redução, é calculado através dos dados de vazão resultando num valor de 0,033. Dessa forma o tc calculado foi de 0,143922052. Sendo assim, de acordo com os valores de tc em relação ao 0,9t e ao 1,1t, o tc possui valor maior que 0,9t e que 1,1t, podendo-se concluir que a série histórica apresenta um alto grau de não-estacionariedade no médio trecho da Bacia (tabela 2).

Tabela 2- Resultado (hachurado) para o subparâmetro Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões Qmed (1973-2008) na Bacia Hidrográfica do Ipojuca.

NÃO-ESTACIONARIEDADE	
BAIXO	tc < 0,9 t
MÉDIO	0,9 t ≤ tc ≤ 1,1t
ALTO	tc > 1,1 t

Realizando a integração dos dois subparâmetros anteriores (tabela 3) o resultado da Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas obteve escore alto ($3 \times 3 = 9$) (tabela 4).

Tabela 3 – Combinação dos subparâmetros de Variabilidade e Não-Estacionariedade da Série Histórica de Vazões.

		NÃO-ESTACIONARIEDADE		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
VARIABILIDADE	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Tabela 4 – Resultado (hachurado) para o parâmetro vulnerabilidade às mudanças climáticas no período de 1973-2008.

VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	ESCORE
BAIXO	1 - 2
MÉDIO	3 - 4
ALTO	6 - 9

Com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – Produção Agrícola Municipal (2002) apud PERNAMBUCO (2004) a vazão em m^3 por hectare para os municípios com área irrigada situados no Agreste de Pernambuco que fazem parte da Bacia do Ipojuca foi de $19.000 m^3/ha$. Atualmente, o número de estabelecimentos que utilizam técnicas de irrigação em suas terras é: Pesqueira (120), Belo Jardim (347), Caruaru (200). Convencionando-se que as propriedades inseridas no médio trecho da Bacia até Caruaru, tinham 100ha o cálculo da Razão de Uso dos Recursos hídricos resultou num valor de aproximadamente 39% (tabela 5).

Tabela 5 – Valor hachurado da variação do parâmetro de Razão de Uso dos Recursos Hídricos.

RAZÃO DE USO	% de uso de Ru
Baixo	$RU < 20\%$
Médio	$20 \leq RU \leq 50\%$
Alto	$RU > 50\%$

A partir da integração dos parâmetros Razão de Uso e vulnerabilidade às mudanças climáticas (tabela 6), obteve-se Escore geral alto (6) para o indicador de estresse hídrico ($Eh = 3$) (tabela 7).

Tabela 6 – Combinação dos parâmetros de Razão de Uso dos Recursos Hídricos e Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas.

		RAZÃO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Ru		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
Vulnerabilidade e às Mudanças Climáticas	BAIXO	1	2	3
	MÉDIO	2	4	6
	ALTO	3	6	9

Tabela 7 – Resultado (hachurado) da Variação do Nível, Escore e Valor Final para o indicador Estresse Hidrológico – Eh.

NÍVEL Eh	ESCORE	VALOR
BAIXO	1 - 2	1
MÉDIO	3 - 4	2
ALTO	6 - 9	3

Se compararmos estes resultados com os resultados obtidos por Galvão (2008) na Bacia do Rio Piripau (DF/GO) utilizou-se nesta pesquisa praticamente a mesma metodologia aplicada pelo autor. As principais diferenças deste trabalho para o dele foi a de que ele trabalhou com dados de vários trechos da bacia, e além disso ele possuía dados mais concretos acerca do consumo de água para irrigação.

5. Conclusões

Para efeito de estudo preliminar os resultados obtidos, aliando-se a detecção do estresse hídrico utilizando o NDWI e o método australiano MWSP, foram satisfatórios no sentido de haver semelhanças entre os dois resultados e por identificar novos parâmetros e novas metodologias para observação de possíveis modificações no sistema hidrológico, fazendo uso das técnicas de sensoriamento remoto como importante ferramenta de observação de determinadas frações do território. Por essa razão, é aconselhável dar continuidade a este trabalho tendo em vista que a Bacia do Ipojuca é uma das bacias que receberão água advinda da transposição do rio São Francisco.

Agradecimentos

Ao INPE, pela concessão das imagens, ao grupo de estudos de Sensoriamento e Geoprocessamento SERGEO da UFPE pela utilização dos softwares ArcGis 9.3 e ERDAS 9.3.

Referências Bibliográficas

ALLEN, R.G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and Users Manual – Idaho Implem. version 1.0, 97p.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. 2003. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING. v. 41. n. 11.

CONDEPE. 2005. **Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca**: Série Bacias hidrográficas de Pernambuco. Governo do Estado de Pernambuco, Secretaria de Planejamento, Agência Estadual de planejamento e pesquisas de Pernambuco. 64 págs.

GALVÃO, D. M. O. 2008. **Subsídios à determinação de vazões ambientais em cursos d'água não regulados**: o caso do Ribeirão Piripau (DF/GO). Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL. DM – 096/08, Brasília, DF.

GAO, B.C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Env., v. 58, p. 257-266.

MARKHAM, B.L.; BARKER, L.L. 1987. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. International Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, J. S.; MACHADO C. C. C.; GALVÍNIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Homepage: www.ufpe.br/rbgfe.

PERNAMBUCO. 2004. **Diagnóstico dos Recursos Hídricos da bacia GL-2, consolidação de estudos existentes, elaboração do Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste pernambucano e modelo de gerenciamento integrado de recursos hídricos**: Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata e Agreste Pernambucano – Tomo III Estudos de Demanda de Água da Região Estudada. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente, PROÁGUA Semi-árido, TECHNE Engenheiros Consultores, Recife-PE, 266p.

SALAS, J.D. 1993. **Analysis and modeling of hydrologic time series**. In: Maidment, D.R. (ed.) Handbook of hydrology. MacGraw-Hill, United States of America, pp. 19.1-20.1.

SOUZA FILHO, F. A. 2003. Variabilidade e mudança climática nos semi-áridos brasileiros. In: TUCCI, C.E.M. e Braga, B. (orgs.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 77-116.

TUCCI, C.E.M.; BRAGA, B. 2003. Clima e recursos hídricos. In: Tucci, C.E.M. e Braga, B. (orgs.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. ABRH, Porto Alegre, RS, pp. 1-22.