

# TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADAS À PESQUISA HIDROGEOLÓGICA DA ÁREA DE SUAPE-PE, NORDESTE DO BRASIL

**Sergio Monthezuma Santoianni Guerra<sup>1</sup> & Lázaro Valentin Zuquette<sup>2</sup>**

**Resumo** - Neste trabalho será abordada a metodologia utilizada na elaboração de uma carta das condições de infiltração que abrangeu a quase totalidade do Projeto Industrial e Portuário de Suape, localizado na porção central do litoral Pernambucano. Para confecção desta carta foram analisados, processados e interpretados produtos cartográficos que caracterizassem o meio físico da área estudada (mapa geológico, mapa pedológico, mapa fitológico, carta de declividade e a carta de Interseção da rede de drenagem com traços de fratura), utilizando-se para tal técnicas de geoprocessamento.

**Palavras-chave** - geoprocessamento, sistema geográfico de informações, meio físico

## 1. INTRODUÇÃO

A área enfocada neste trabalho (Figura 1) dista aproximadamente 20 km da cidade do Recife e engloba tanto terrenos do embasamento cristalino quanto pertencentes a bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba.

Com referência às características do meio físico desta área, pode-se afirmar que esta região costeira de exuberante beleza paisagística deve ter sua ocupação controlada por estudos que orientem estas intervenções, caso contrário poderá ser grave e irremediavelmente impactada. Deve-se salientar que já são constatados impactos ambientais provocados por uma ocupação imprópria, tais como evidências de processos erosivos e movimentos de massa.

Objetivando fornecer subsídios técnicos voltados a orientar uma melhor intervenção antrópica na área em referência, GUERRA (1998), propôs a elaboração de uma carta que

---

<sup>1</sup> CPRM/SUREG-RE, e-mail [smg@hotmail.com.br](mailto:smg@hotmail.com.br) e tel: (81)9945.9994

retratasse as condições de infiltração, indicando portanto as áreas mais favoráveis a locação de poços para captação de água subterrânea.

## **2 - METODOLOGIA**

A Carta das Condições de Infiltração trata-se de um produto onde estão assinaladas as áreas consideradas favoráveis a prospecção hidrogeológica.

Na elaboração desta carta orientativa, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, tais como a Avaliação por Critérios Múltiplos (Multi Criteria Evaluation), disponível no Sistema de Informações Geográficas IDRISI (versão 2.0), desenvolvido pela Clark University (Eastman, 1997). Esta avaliação foi efetuada a partir da análise e interpretação de mapas geológicos, pedológicos e fitológicos, além das cartas de declividade e de interseções da rede de drenagem com traços de fratura.

A elaboração da Carta das Condições de Infiltração da Área de Suape, constou basicamente da realização das seguintes atividades:

- Adoção de um modelo interpretativo
- Seleção das cartas temáticas
- Digitalização das cartas temáticas,
- Ponderação das unidades das cartas temáticas,
- Hierarquização das cartas temáticas,
- Elaboração da matriz de correlação,
- Determinação dos pesos das cartas temáticas,
- Avaliação por critérios múltiplos,
- Aferição dos resultados
- Elaboração do produto final e
- Edição do produto final.

## **3. ADOÇÃO DE UM MODELO INTERPRETATIVO**

Para elaboração da carta em referência, optou-se pela adoção de um modelo que considera que as condições de infiltração são controladas por fatores litológicos, pedológicos, fitológicos, morfológicos, hidrográficos e estruturais, conforme ilustrado na Figura 2.

---

<sup>2</sup> EESC/USP, e-mail [lazarus@sc.usp.br](mailto:lazarus@sc.usp.br) e tel (16)274.9240

#### **4. SELEÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS**

A seleção das cartas temáticas deve obedecer a três premissas básicas. As cartas devem atender ao modelo interpretativo proposto, devem ser previamente elaboradas, o que minimiza sobremaneira o envolvimento de recursos financeiros e devem ter escala compatível com os trabalhos a serem desenvolvidos. Dentro deste princípio, foram selecionadas os seguintes produtos:

- Mapa Geológico
- Mapa Pedológico
- Mapa Fitológico
- Carta de Declividade
- Carta de Interseções (drenagem x fraturas)

O mapa geológico foi elaborado a partir da compilação dos trabalhos de ALHEIROS (1987), ASSIS (1993), MARTINS (1991), MEDEIROS (1991), NEUMANN (1991), ROCHA (1990) e VEIGA Jr. (1993).

O mapa pedológico foi elaborado pela EMBRAPA (no prelo), enquanto que o mapa fitológico foi confeccionado pela FIDEM (1988), sendo este último complementado por fotointerpretação visto que o mesmo não abrangia toda área trabalhada.

A carta de declividade foi elaborada utilizando-se conjuntamente as metodologia propostas por DE BIASI (1970) e SANCHEZ (1993).

Para elaboração da carta de interseções procedeu-se inicialmente a extração detalhada da rede de drenagem e dos traços de fraturas, a partir da fotointerpretação de fotografias aéreas copiadas na escala 1:30.000. Posteriormente estas informações foram lançadas em um mapa base e digitalizadas, dando origem aos mapas de drenagem e de fraturas. Em seguida, estes mapas foram superpostos no IDRISI, gerando desta maneira um mapa de pontos, cada um destes correspondendo a interseção da rede de drenagem com os traços de fratura. Por fim, procedeu-se a transformação deste mapa de pontos numa carta de isovalores de freqüência de interseções, ou seja a carta de interseções (drenagem x fraturas).

#### **5. DIGITALIZAÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS**

Para realização desta atividade procedeu-se inicialmente elaboração e adequação das cartas temáticas à escala em que seriam posteriormente digitalizadas.

As cartas temáticas mencionadas foram digitalizadas adotando-se a proposta metodológica sugerida por GUERRA (1998).

## 6. PONDERAÇÃO DAS UNIDADES DAS CARTAS TEMÁTICAS

Para se proceder a ponderação das unidades das cartas temáticas (formação geológica, tipo de solo, tipo de cobertura vegetal, grau de declividade e intensidade de interseção da rede de drenagem com os traços de fratura) foram atribuídos pesos a cada uma das unidades em função de suas contribuições no processo de infiltração. Quanto maior for o peso, maior será a contribuição da unidade considerada no desenvolvimento deste processo. Foram utilizados os seguintes pesos:

- Peso 1 - Contribuição muito baixa
- Peso 2 - Contribuição baixa
- Peso 3 - Contribuição moderada
- Peso 4 - Contribuição alta
- Peso 5 - Contribuição muito alta

### 6.1. PONDERAÇÃO DAS UNIDADES GEOLÓGICAS

A ponderação das unidades geológicas foi realizada levando-se em conta tanto a litologia quanto o grau de intemperismo de cada unidade, bem como sua porosidade estimada. Os pesos adotados em decorrência desta análise estão os ilustrados na Tabela 1.

Unidades	Pesos
Aterro	3
Sedimentos de Praia	5
Depósitos Eólicos	5
Sedimentos de Mangue	5
"Beachrocks"	1
Terraços Marinhos Holocênicos	4
Sedimentos Flúvio-Lagunares	4
Terraços Marinhos Pleistocênicos	4
Formação Barreiras	3
Traquitos e Basaltos	2
Granito Sub-vulcânico	2
Formação Estivas	2
Formação Cabo	2
Quartzossienito	2
Leocogranito	2
Biotita Granito	2
Ortognaisse	2

**Tabela 1.** Ponderação das unidades geológicas.

### 6.2. PONDERAÇÃO DAS UNIDADES PEDOLÓGICAS

A ponderação das unidades pedológicas (Tabela 2) foi estabelecida a partir da porosidade e da textura dos solos cartografados. Inicialmente procedeu-se um agrupamento das associações em função do tipo de solo predominante. Estas associações foram agrupadas e ordenadas crescentemente, em função de suas influências nos processo de infiltração. Desta maneira foram identificados sete grupos de solos: Terra Roxa (2), Latossolos (2-3), Gleissolos (2-4), Podzólicos Amarelos (2-4), Aterro (3), Podzólicos Vermelho Amarelos (3-4), Podzol (4), Areias Quartzosas (5) e Solos de Mangue (5). Os números assinalados entre parênteses indicam a variabilidade da influenciade cada grupo de solo. Em seguida estabeleceu-se a ponderação de casa associação levando-se em conta a porosidade e a textura de cada unidade de solos.

Unidades	Pesos
Aterro	3
Latossolo Amarelo 2	2
Latossolo Amarelo 3	2
Podzólico Amarelo 1	4
Podzólico Amarelo 2	4
Podzólico Amarelo 4	4
Podzólico Amarelo 5	4
Podzólico Amarelo 8	4
Podzólico Vermelho Amarelo 4	3
Podzólico Vermelho Amarelo 6	4
Podzólico Vermelho Amarelo 8	3
Podzólico Vermelho Amarelo 18	3
Terra Roxa	2
Gleissolo 1	3
Gleissolo 2	2
Gleissolo 3	4
Gleissolo 4	2
Gleissolo 5	2
Gleissolo 9	2
Areias Quartzosas	5
Areias Quartzosas Marinhas	5
Podzol	4
Solos de Mangue	5

**Tabela 2.** Ponderação das unidades pedológicas.

### 6.3. PONDERAÇÃO DAS UNIDADES FITOLÓGICAS

A ponderação das unidades, conforme ilustrado na Tabela 3, foi realizada considerando-se a densidade da cobertura vegetal. Quanto mais densa fosse esta cobertura, menor seria sua influência no processos de infiltração.

#### 6.4 - PONDERAÇÃO DAS UNIDADES CLINOMÉTRICAS

A ponderação das unidades clinométricas (Tabela 4), foi realizada baseando-se no princípio de que o tempo de permanência é inversamente proporcional a inclinação do terreno, portanto quanto menor for a inclinação do terreno maior será a influência da declividade no processo de infiltração das águas.

Unidades	Pesos
Mata Atlântica	5
Capoeira	4
Capoeirinha Densa	4
Capoeirinha Rala	3
Vegetação Arbustiva	3
Vegetação Hidrófila	3
Manguezal	2
Canavial	3
Culturas de Subsistência	3
Reflorestamento 1	3
Reflorestamento 2	3
Reflorestamento 3	2
Sem Vegetação	1
Coqueiral	2

**Tabela 3.** Ponderação das unidades fitológicas.

Unidades	Pesos
< 2%	5
2 - 5%	4
5 - 10%	3
10 - 20%	2
20 - 30%	1
> 30%	1

**Tabela 4.** Ponderação das unidades clinométricas.

#### 6.5. PONDERAÇÃO DAS UNIDADES DA CARTA DE INTERSEÇÃO

A ponderação das unidades da carta de interseções, conforme ilustrado na Tabela 5, foi realizada considerando-se a premissa de que quanto maior fosse a frequência de interseções maior seria a conectividade e portanto, maior seria a favorabilidade às condições de infiltração.

Unidades	Pesos
0 - 20	1
21 - 40	2
41 - 60	3
61 - 80	4
81 - 100	5

**Tabela 5.** Ponderação das unidades da Carta de Interseções.

## 7. HIERARQUIZAÇÃO DAS CARTAS TEMÁTICAS

Nesta operação foram analisadas as cartas básicas e interpretativas utilizadas neste trabalho, comparando-as duas a duas e atribuídos escores em função do grau de importância de uma carta em relação a outra, em função de suas favorabilidades as condições de infiltração. Os valores dos escores utilizados são padronizados e variam de 1/9 a 9, conforme ilustrado na Tabela 6.

Grau de Importância	Escore
Extremamente menos importante	1/9
Muito fortemente menos importante	1/7
Fortemente menos importante	1/5
Moderadamente menos importante	1/3
Igualmente importante	1
Moderadamente mais importante	3
Fortemente mais importante	5
Muito fortemente mais importante	7
Extremamente mais importante	9

**Tabela 6.** Escores utilizados na matriz de correlação.

## 8. ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO

Após ter sido determinada a importância de cada carta temática em relação as outras, em função de suas condições de infiltração, passou-se a construir uma matriz de correlação cruzada que englobasse todos os temas analisados.

A Tabela 7 ilustra uma matriz de correlação utilizada na elaboração da carta predisposição a erosão. Nesta matriz assumiu-se que na avaliação considerada, a *fitologia seria fortemente menos importante que a geologia*.

	Geologia	Pedologia	Fitologia	Declividade	Interseções
Geologia	1				
Pedologia	1/3	1			
Fitologia	1/7	1/5	1		
Declividade	1	3	7	1	
Interseções	1/5	1/3	3	1/5	1

**Tabela 7.** Matriz de correlação.

## 9 - DETERMINAÇÃO DOS PESOS DAS CARTAS TEMÁTICAS

Após a definição da matriz de correlação utilizada na elaboração da carta das condições de infiltração (Tabela 7), passou-se ao cálculo dos autovalores das cartas temáticas, que são indicadores da importância relativa de uma carta em relação a outra, conforme ilustrado na Tabela 8. Considerando-se que os autovalores indicam a participação da variável no modelamento desejado, constata-se que a declividade (36,21%) e a geologia (36,21%) são as variáveis que mais contribuirão na avaliação por critérios múltiplos a ser realizado, seguindo-se a pedologia (16,07%), a carta de interseções (7,62%) e a fitologia (3,89%).

Nesta oportunidade também foi determinada a taxa de consistência da ponderação (0,02). Segundo Saaty (in Ferreira, 1996), esta taxa indica a probabilidade dos escores da matriz terem sido gerados aleatoriamente, devendo obrigatoriamente ser inferior a 0,10, caso contrário a matriz será rejeitada. Caso a taxa de consistência seja superior a 0,10, deve-se retornar a atividade de hierarquização das cartas temáticas e redefinir o grau de importância de cada tema.

Atributos	Autovalores
Geologia	0,3621
Pedologia	0,1607
Fitologia	0,0389
Declividade	0,3621
Interseções	0,0762

Taxa de Consistência = 0,02

**Tabela 8.** Autovalores e taxa de consistência.

## 10. AVALIAÇÃO POR CRITÉRIOS MÚLTIPLOS

Considerando-se que a matriz de correlação foi aceita e de posse dos pesos das cartas básicas e interpretativas passou-se a realização da avaliação por critérios

múltiplos propriamente dita. O produto resultante desta avaliação correspondeu a uma imagem matricial formada por elementos de resolução com valores variando de 0 a 255.

## 11 - ELABORAÇÃO DO PRODUTO FINAL

O produto final da avaliação por critérios múltiplos foi obtido após uma reclassificação utilizando-se os intervalos e graus de influência apresentados na Tabela 9, mantendo-se desta maneira os mesmos intervalos adotados durante a ponderação das unidades.

Intervalos	Graus de Influência
1 - 51	Muito baixa
52 - 102	Baixa
103 - 153	Moderada
154 - 204	Alta
205 - 255	Muito Alta

**Tabela 9.** Intervalos e graus de influência.

Como resultado desta reclassificação obteve-se um produto de fácil leitura uma vez que a carta de recomendação elaborada possui uma legenda de cinco cores (vermelho, laranja, amarelo, verde claro e verde escuro), cada uma destas associadas a um determinado grau de influência (muito alta, alta, moderada, baixa e muito baixa, respectivamente).

## 12. AFERIÇÃO DOS RESULTADOS

Posteriormente a elaboração da Carta das Condições de Infiltração (Figura 3), procedeu-se a um confronto desta com um cadastro contendo 77 poços em operação (amazonas e tubulares), extraído do catálogo do Inventário Hidrogeológico do Município de Ipojuca (Miranda & Galvão, 1997) e do Município de Cabo de Santo Agostinho (Galvão & Miranda, 1997). O resultado desta confrontação está ilustrado na Tabela 10, onde constata-se que 74,1 % dos poços em funcionamento foram locados em áreas com favorabilidade variando entre alta e muito alta.

	Classe de Favorabilidade											
	Muito Baixa		Baixa		Moderada		Alta		Muito Alta		Total	
Poços	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Amazonas	0	0,0	5,0	13,2	10	26,3	12	31,6	11	28,9	38	100,0
Tubular	0	0,0	0	0,0	5	12,8	14	35,9	20	51,3	39	100,0
Total	0	0,0	5,0	6,5	15	19,5	26	33,8	31	40,3	77	100,0

### 13. EDIÇÃO DOS RESULTADOS

As cartas básicas e interpretativas, assim como as cartas derivadas resultantes dos modelamentos executados neste trabalho foram exportadas do IDRISI como arquivos Windows Bitmap-BMP.

Posteriormente estes arquivos foram editados pelo Corel DRAW 8, visto que este programa possui uma maior gama de recursos gráficos. Este procedimento possibilitou a elaboração de produtos com uma qualidade gráfica muito boa.

### 14. CONCLUSÕES

A Carta das Condições de Infiltração (Figura 3) constitui-se num produto de grande utilidade aos profissionais envolvidos na prospecção hidrogeológica, considerando-se principalmente sua fácil leitura, rapidez na execução e a alta correlação com o cadastro de poços amazonas e tubulares dos municípios de Cabo Santo Agostinho e Ipojuca.

Deve também ser mencionado o baixo volume de recursos envolvidos na realização dos trabalhos.

Outro fato que merece destaque é que na medida em que outras informações temáticas forem inseridas no sistema de informações geográficas utilizado (i.e. carta de fontes poluidoras, carta de profundidade do lençol freático etc.), outras cartas orientativas poderão ser geradas, a exemplo da carta de risco de contaminação de aquíferos e da carta de recomendação para localização de aterros sanitários.

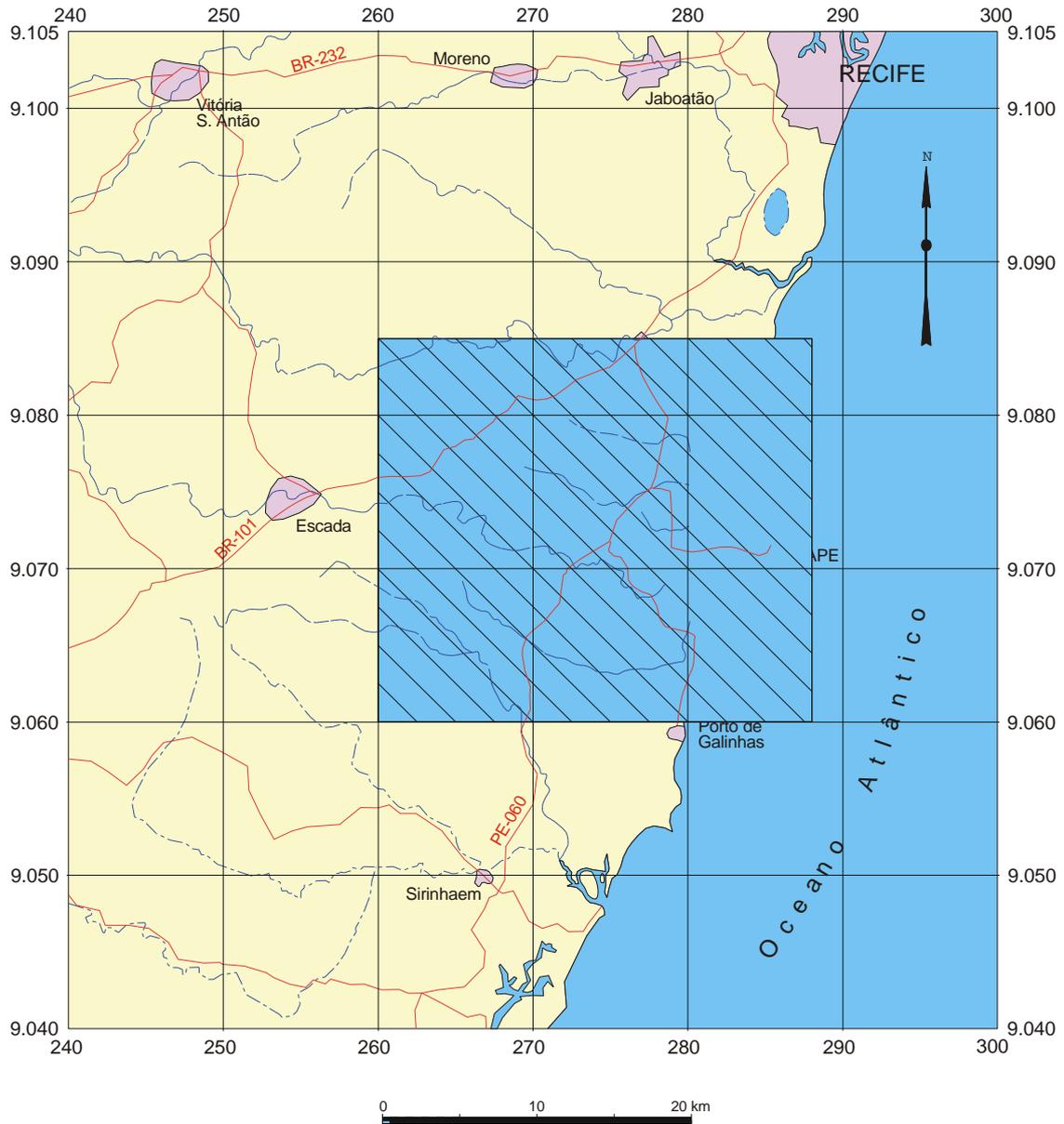
A modelagem espacial utilizada neste trabalho também poderá ser utilizada como ferramenta auxiliar a caracterização de aquíferos fissurais, procurando-se desta maneira determinar-se os eventos que condicionam a qualidade e quantidade da água destes reservatórios.

Considera-se, portanto, plenamente recomendável a utilização desta metodologia em outras regiões com vistas a elaboração de cartas orientativas que auxiliem os trabalhos de prospecção dos recursos hídricos subterrâneos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHEIROS, M.M. *Caracterização sedimentológica da Formação Cabo-Pernambuco*. Recife, 1987. 99p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, 1987.
- ASSIS, H.M.B. *Mapa Geológico preliminar da Folha Cabo Santo Agostinho e parte da Folha Cabo*. Recife, CRPM, 1993. Escala 1:25.000
- DE BIASI, M. *Cartas de declividade: confecção e utilização*. Geomorfologia, São Paulo, v.10, p.8-13, 1970.
- EASTMAN, J.R. *IDRISI for Windows user's guide. Version 2.0*. Worcester, USA. Massachusetts. Graduate School of Geography. Clark University. 1997. p. 192.
- EMBRAPA *Mapa de solos do estado de Pernambuco*. (no prelo). Escala 1:100.000
- FERREIRA, M.C. *Modelagem cartográfica aplicada a mapeamentos de susceptibilidade e danos ambientais: um ensaio no SIG IDRISI*. Geociências, São Paulo. 1996.
- FIDEM *Mapa de cobertura vegetal da região Metropolitana do Recife*. Recife, 1988. Escala 1:100.000
- GALVÃO, M.J.T.G. & MIRANDA, J.L.F. *de Hidrogeologia do Município do Cabo de Santo Agostinho-PE. Projeto SINGRE-CPRM*. Recife, 1997.
- GUERRA, S.M.S *Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de SUAPE-PE*. Rio Claro, 1998. 168p. Tese (Doutorado) - Instituto de Gerociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1998.
- MARTINS, M.H.A. *de Mapa geológico da região de Nossa Senhora do Ó (Ipojuca-PE)*. Recife, 1991. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia Universidade Federal de Pernambuco, 1991.
- MEDEIROS, A.B. *Mapa geológico da faixa costeira a sudeste da cidade do Cabo-PE*. Recife, 1991. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.
- MIRANDA, J.L.F. de & GALVÃO, M.J.T.G *Hidrogeologia do Município de Ipojuca-PE*. Projeto SINGRE. Recife, 1997.

- NEUMANN, V.H.M.L. *Geomorfologia e sedimentologia quaternária da área de Suape, Pernambuco (Brasil)*. Recife, 1991. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.
- ROCHA, D.E.G.A. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica/carta metalogenético-previsional*. Escala 1:100.000 (Folha SC.25-V-A-II. Vitória de Santo Antão). Estado de Pernambuco. Brasília: CPRM/DNPM, 1990. 112p. il.
- SANCHEZ, M.C. *A propósito das cartas de declividade*. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, São Paulo, 1993. Anais, São Paulo, FFLCH, 1993.
- VEIGA Jr, J.P. Mapa geológico preliminar de parte da folha Cabo. Recife: CRPM, 1993. Escala 1:25.000



 Área de estudo

Origem da quilometragem UTM "Equador e Meridiano 33°W. GR." A crescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

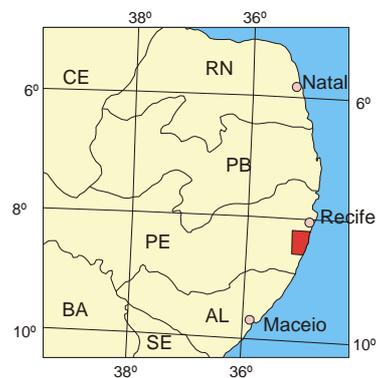


Figura 1 - Localização da área de estudo.

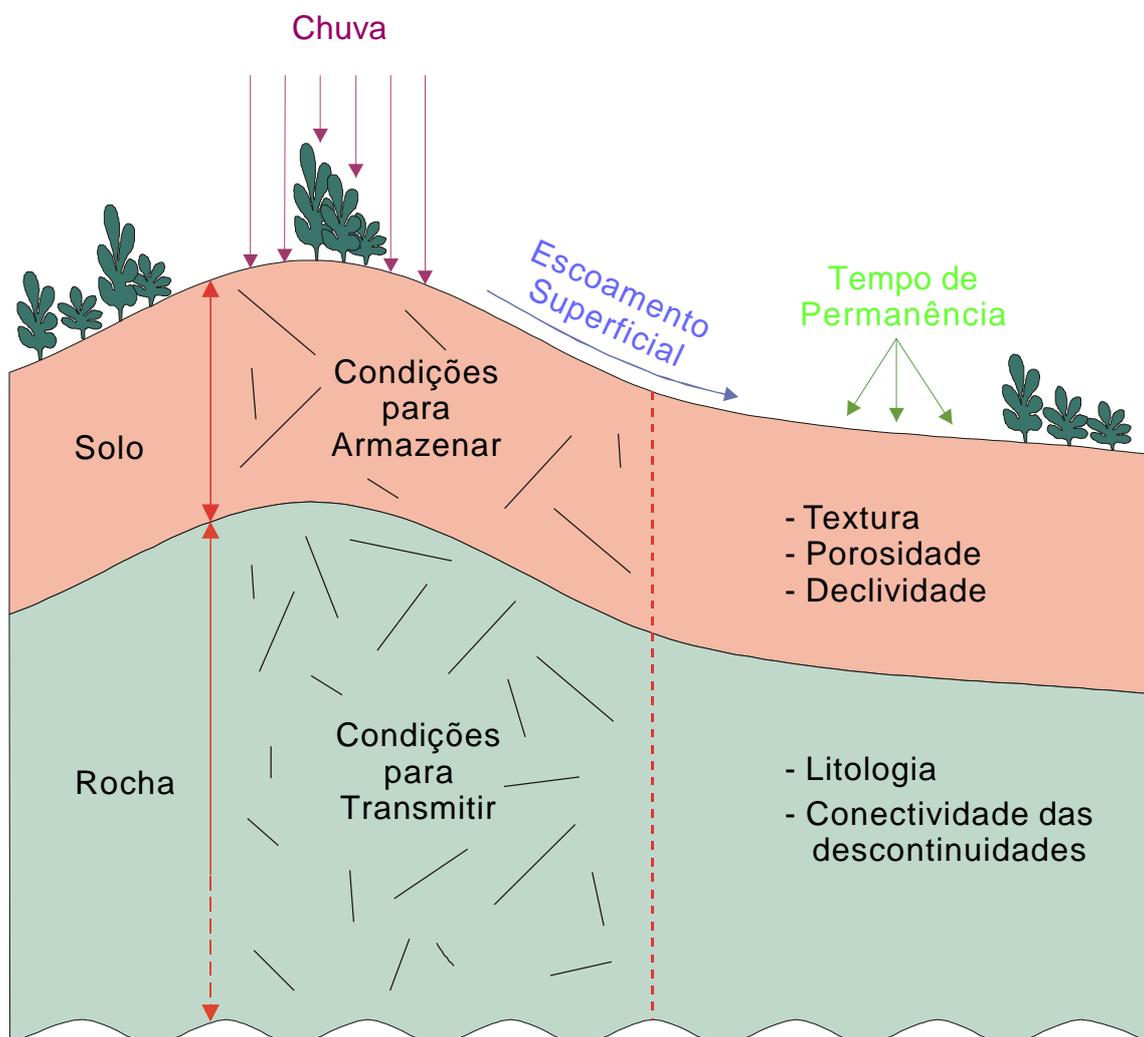


Figura 2 - Princípio das Condições de Infiltração.

