TECNOLOGIA DA GEOINFORMAÇÃO APLICADA AOS ESTUDOS DE SOLOS EXPANSIVOS E COLAPSÍVEIS DO ESTADO DE PERNAMBUCO

SILVIO ROMERO DE MELO FERREIRA[1]
SAMUEL FRANÇA AMORIM[2]
MÁRIO ADELMO VAREJÃO-SILVA[3]

[1]Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, CTG/EE, Dept^o Eng^o Civil – sr.mf@hotmail.com
[2]Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, CTG/EE, Dept^o Eng^o Civil - samuel_amorim@msn.com
[3]Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, m.a.varejao.silva@gmail.com

RESUMO – Os solos expansivos e colapsíveis provocam sérios problemas de engenharia geotécnica relacionados à variação de volume e perda de resistência devido à mudança no teor de umidade. O Sistema de Informações Geográficas dos Solos Expansivos e Colapsíveis do Estado de Pernambuco (SIGSEC-PE) utilizou os mais recentes levantamentos climatológico, pedológico e geológico, classificando as unidades de mapeamento em três níveis de suscetibilidade: alto, médio e baixo, gerando duas cartas de zoneamento. Os resultados mostram uma suscetibilidade à expansão alta em 12,5% da área do Estado, média em 38,7% e baixa em 45,2%; e ao colapso alta em 13,0%, média em 49,8% e baixa em 33,6%. A pesquisa visou orientar o uso e ocupação do solo e formular diretrizes para planejamento urbano e construção civil.

ABSTRACT – The expansive and collapsible soils incite serious problems of geotechnical engineering related to the volume variation and loss of resistance due to moisture changes. The Geographic Information System of the Expansive and Collapsible Soils of the State of Pernambuco (SIGSEC-PE) used the most recent climatologic, pedologic and geologic mappings classifying the units of mapping in three levels of susceptibility of high, average and low, generating two zoning maps. The results show a susceptibility to the high expansion in 12,5% of the area of the State, average in 38,7% and of low in 45,2% and to the high collapse in 13,0%, average in 49,8% and low in 33,6%. The research aims at to guide the use and occupation of the soil and to formulate lines of direction for urban planning and civil construction.

1 INTRODUÇÃO

Alguns solos não saturados, quando aumenta o conteúdo de água em seus poros, ou quando solicitados por carga e posteriormente umedecidos, experimentam uma variação de volume. Tais solos são ditos expansivos, quando sua fração argilosa apresenta capacidade expansiva intrínseca e colapsíveis, quando há uma redução de volume devido ao rearranjo de sua estrutura. Estes solos, quando não identificados na fase de projeto, são responsáveis por grandes prejuízos financeiros, com danos das estruturas e, por vezes, sua completa interdição ou desmoronamento, Figura 1.

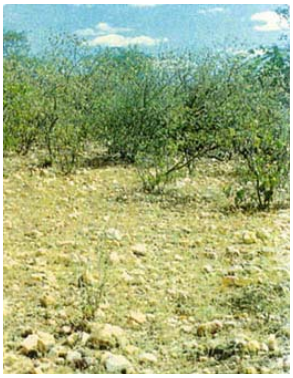
O presente trabalho buscou inserir em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) a metodologia utilizada por Vasconcelos (2001) porém aplicando-a a bases climatológicas, pedológicas e geológicas mais completas e atualizadas. O objetivo foi fornecer à comunidade técnica local uma ferramenta mais completa, atualizada e de grande capacidade operacional, para o estudo da distribuição geográfica destes solos e o armazenamento, tanto das informações de seus condicionantes, como dos dados geotécnicos provenientes de ensaios de campo e de laboratório existentes. Pretendeu-se, ainda, indiretamente criar um sistema capaz de análises semelhantes para outros fenômenos do meio físico que estejam condicionados pelos mesmos fatores ou que disponham de condicionantes espacialmente cartografados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Diretrizes Gerais

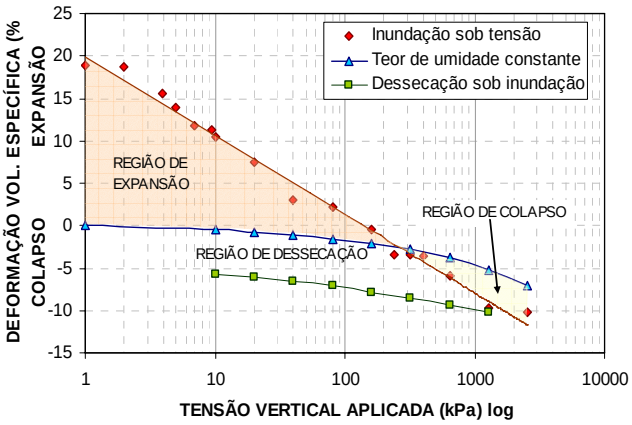
Pernambuco (como outros estados brasileiros) ainda não possui bases cartográficas de referência, cujos mapas estejam compatibilizados e prontos para análises com geoprocessamento. Os mapas disponíveis são elaborados com diferentes *datum*, escala, projeção cartográfica e delimitação de fronteiras políticas. Neste

aspecto os primeiros trabalhos — e os que demandaram maior esforço e tempo — foram a aquisição das bases atualizadas; passagem dos respectivos arquivos originais (CAD) para o formato apropriado ao SIG (SHP), compatibilizando-as no que concerne a *datum*, escala, projeção e fronteiras.



Solo colapsível

Solo expansivo



Danos em solo colapsível

Danos em solo expansivo

Figura 1 - Solos colapsíveis e expansivos de Pernambuco.

Através da ferramenta de geoprocessamento ARCVIEW GIS do ESRI (Environmental Systems Research Institute) foram estabelecidos zoneamentos do comportamento homogêneo quanto às respostas esperadas pelos três condicionantes naturais (Climatologia, Pedologia e Geologia) separadamente, para os processos do meio físico de expansão e colapso. Após a análise isolada de cada condicionante, as informações foram cruzadas, resultando duas cartas de zoneamento que sintetizam a contribuição dos três condicionantes para os dois fenômenos analisados.

A etapa seguinte foi confrontar as principais características dos solos expansivos e colapsíveis (Quadro 1), com as propriedades procedentes de cada unidade de mapeamento dos distintos condicionantes. Assim, utilizando um critério baseado na hierarquização da suscetibilidade à observação relativa, classificou-se, a partir de uma maior ou menor afinidade das características geotécnicas e propriedades dos condicionantes, a suscetibilidade das unidades de mapeamento em alta e baixa, atribuindo-se, logicamente, aos casos intermediários uma suscetibilidade média.

De posse das Matrizes Critério, ou seja, referente às unidades de mapeamento, climatológicas, pedológicas e geológicas, classificadas quanto à suscetibilidade, à expansão e ao colapso, com o auxílio das ferramentas de SIG, pode-se atribuir a classificação da suscetibilidade para todos os polígonos (registros do banco de dados) que compunham o mosaico das bases de cada condicionante, dando origem às cartas derivadas. A climatologia gerou apenas uma carta derivada, a pedologia e a geologia geraram cada uma duas cartas derivadas, relativas a cada fenômeno abordado. Finalmente e após a superposição das cartas derivadas dos diferentes condicionantes para cada fenômeno, chegou-se às cartas interpretativas de zoneamento da susceptibilidade dos solos à expansão e ao colapso.

Vale salientar que os processos de expansão e colapso dos solos não dependem apenas de sua formação, mineralogia e estrutura, mas, também, do estado tensional em que o solo se encontra e do que será submetido. Quando se indica neste trabalho que o solo é suscetível a expansão ou ao colapso, está se referindo às propriedades intrínsecas e não necessariamente ao estado tensional.

Tabela 1 - Principais características dos solos expansivos e colapsíveis.

Solos Expansivos	Solos Colapsíveis
solos não saturados	solos não saturados
áreas onde a evapotranspiração excede a precipitação	áreas onde a evapotranspiração excede a precipitação
expansividade intrínseca	estrutura porosa
minerais argílicos grupo das esmectitas: montmorilonita (2:1) ou vermiculita (2:1:1)	partículas interligadas por argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos
solos mais finos originados do calcário	solos de origem recente e de fácil drenagem
regiões semi-áridas de clima tropical e temperado	regiões tropicais úmidas com lixiviação dos horizontes superficiais
drenagem baixa e atividade alta	regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas

2.2 Cartas Derivadas

2.2.1 Aspectos Climatológicos

A metodologia adotada foi a de Thornthwaite & Mather (1957) (Equação 1) com a proposta de regionalização para zonas tropicais semi-áridas de Krishnan (1980) (Equação 2).

$$Ih = Iu - 0,6\ Ia \quad (1)$$

$$Ih = Iu - Ia \quad (2)$$

(Ih) - índice hídrico; (Ia) - índice de aridez e (Iu) - índice de umidade.

Os parâmetros climáticos utilizados foram: as temperaturas médias registradas ou as estimativas (quando não haviam registros), obtidas por regressão múltipla quadrática (usando o acervo de dados de Pernambuco e estados vizinhos); e as médias mensais de precipitação, dos postos com mais de 20 anos de registros, SUDENE (1990), eliminados os dados duvidosos, estimados e homogeneizados. Dos 253 postos disponíveis, em Pernambuco seguindo este critério pode-se utilizar 213 (Figura 2). Foram utilizados ainda 29 postos fora do Estado de Pernambuco para uma maior definição das classes climatológicas próximo ao limite político do Estado.

Para fins climatológicos comparativos a elaboração dos balanços hídricos climáticos, segundo Thornthwaite & Mather (1957), usou como capacidade de armazenamento de água pelo solo 100mm e utilizou-se os tipos de clima indicados na Tabela 2. A concretização desta metodologia foi possível graças à contribuição de Varejão-Silva (2003) que elaborou os mapas climatológicos necessários.

Figura 2 - Localização dos postos com dados climatológicos.

Tabela 2 - Tipos de clima e suscetibilidade.

Tipo de clima	Símbolo	Ih (%)	Susceti-bilidade
Árido	E	Ih < - 66,7	Alto
Semi-árido	D	66,7<Ih< 33,3	
Seco Sub-úmido	C1	33,3 < Ih < 0	Médio
Úmido Sub-úmido	C2	0 < Ih < 20	Baixo
Úmido	B1-B4	20 < Ih < 100	
Superúmido	A	Ih > 100	

2.2.2 Aspectos Pedológicos

O Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco, inserido no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) publicado pela EMBRAPA (2001) dispõe de um mapa pedológico em escala de 1:100.000 pronto para uso em SIG. O mapa adota o Sistema de Classificação de Solos da EMBRAPA (1981), Figura 3.

No levantamento cada unidade de mapeamento é formada por um único solo componente ou pela associação de até quatro solos componentes, sendo estes compostos por uma ou mais unidades taxonômicas. As unidades de mapeamento são representadas por uma sigla que a correlaciona com sua descrição na legenda geral.

Partiu-se da metodologia de Ferreira (1999) para a classificação do grau de suscetibilidade de cada unidade taxonômica, anteriormente aferida por Vasconcelos (2001) (Tabela 3). Utilizou-se também a hierarquização da suscetibilidade com base nas características das particularidades dos solos expansivos e colapsíveis com as características de cada unidade taxonômica constantes no Boletim de Pesquisa n. 11 referente às classes taxonômicas e na legenda geral referente a cada unidade de mapeamento gerando assim a Tabela Critério com todas as 469 unidades de mapeamento e suas respectivas suscetibilidades à expansão e ao colapso separadamente.

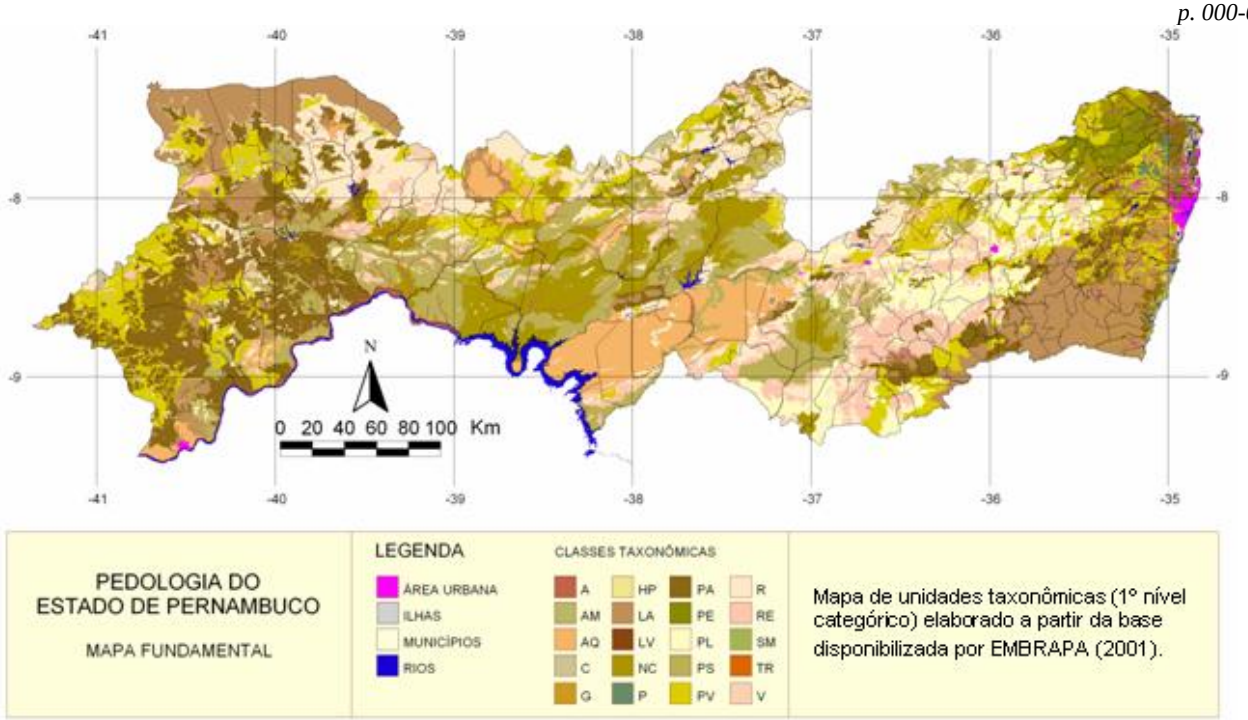


Figura 2 - Mapa de solos do estado de Pernambuco.

Tabela 3 - Critério de suscetibilidade a expansão e ao colapso das unidades taxonômicas do Estado de Pernambuco.

Horizonte	Classe Pedológica	Símbolo	Grau de Suscetibilidade	
			Expansão	Colapso
Horizonte B Latossólico	Latossolo Amarelo	LA	Baixo	Médio
	Latossolo Vermelho Amarelo	LV	Baixo	Médio
	Latossolo Vermelho-Escuro	LE	Baixo	Médio
Horizonte B Textural	Terra Roxa Estruturada	TR	Baixo	Alto
	Podzólico Vermelho-Escuro[1]	PE	Baixo	Médio
	Podzólico Vermelho-Amarelo[1]	PV	Baixo	Médio
	Podzólico – Amarelo	PA	Baixo	Médio
	Podzólico-Acinzentado	PZ	Baixo	Médio
	Brunizém Avermelhado	BV	Alto	Baixo
	Bruno Não Cálcico	NC	Alto	Baixo
	Planossolo	PL	Baixo/Alto	Baixo
Horizonte B Solonétzico	Solonetz-Solodizado	SS	Alto	Baixo
Horizonte B Podzol	Podzol	P	Baixo	Alto
	Podzol Hidromórfico	HP	Baixo	Baixo
Horizonte B Câmbico	Cambissolo	C	Baixo/Alto	Baixo
Horizonte Plíntico	Plintossolo	PT	Baixo/Alto	Baixo
Horizonte Glei	Gleissolo	G	Baixo	Baixo
Horizonte Sálico	Solo Mangue	SM	Baixo	Baixo
Solos sem Horizonte B ou pouco desenvolvido Hidromórfico	Areias Quartzosas[2]	AQ	Baixo	Alto
	Areias Quartzosas Marinhas	AM	Baixo	Alto
	Solos Aluviais	A	Baixo/Alto	Médio
	Vertissolos	V	Alto	Baixo
	Solo Litólico	R	Baixo	Baixo
	Regossolos	RE	Baixo	Médio
Rocha inalterada	Afloramento de Rochas		Baixo	Baixo

NOTA: [1] Algumas unidades de mapeamento apresentam Podzólicos Vermelho Escuro e Podzólicos Vermelho Amarelo com alta atividade, nestes casos atribuiu-se valor alto para expansão.

[2] As Areias Quartzosas Hidromórficas ocorrem em pequenas áreas, não constituindo unidades de mapeamento no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE).

Usando a Tabela Critério e as ferramentas do SIG foi possível estender a classificação da suscetibilidade aos 4.925 registros que compunham o mosaico do mapa pedológico, gerando posteriormente, duas cartas derivadas.

2.2.3 Aspectos Geológicos

Foi usado o Mapa Geológico do Estado de Pernambuco (CPRM, 2001), desenvolvido para uso em SIG's, na escala de 1:500.000. A representação das unidades de mapeamento registra litologias (rocha cristalina, rocha sedimentar ou sedimento), indistintamente de seu solo residual. O polígono que representa a unidade pode incluir, portanto, tanto as áreas onde a rocha se encontra aflorante, como aquelas onde estão alteradas e capeadas pelo solo residual.

Essa limitação afetou a geração do Mapa de Suscetibilidade à Expansão e Colapso de Solos do Estado de Pernambuco, pois a atribuição de suscetibilidade assumiu um caráter projetivo, de fato, a unidade litológica (sedimentar ou cristalina) é suscetível apenas quando sobre ela se desenvolve o solo e este (na sua composição mineralógica e características texturais primárias) apresenta os requisitos destes fenômenos.

Nesta metodologia a litologia é o condicionante geológico de maior importância na classificação da suscetibilidade (juntamente com as condições de saturação e natureza do produto do intemperismo gerado). As unidades geológicas tiveram a suscetibilidade classificada de acordo com os seguintes aspectos (Tabelas 4 e 5), conforme Alheiros (2003): a) Sedimentos - mineralogia, ambiente de sedimentação e textura; b) Rochas cristalinas - composição mineralógica primária e prováveis produtos de intemperismo. A partir da Tabela Critério, com as 110 unidades de mapeamento classificadas segundo Alheiros (2003), foram atribuídas suscetibilidades aos 1.860 registros que compõem o levantamento geológico resultando em duas cartas derivadas de modo semelhante ao usado na Pedologia.

Tabela 4 - Relação a expansão.

Rochas Cristalinas	Rochas Sedimentares	Sedimentos	Susceti-bilidade
rochas máficas; micaxistos; rochas carbonáticas	argilitos; folhelhos; calcários marinhos	argilas	Alto
rochas intermediárias	arcósios; siltitos e arenitos calcíferos	sedimentos areno-argilosos	Médio
rochas ricas em quartzo; quartzitos	arenitos quartzosos	areias quartzosas; matéria orgânica; turfas	Baixo

Tabela 5 - Relação ao colapso.

Rochas Cristalinas	Rochas Sedimentares	Sedimentos	Susceti-bilidade
rochas ricas em quartzo; quartzitos	arenitos quartzosos	areias quartzosas	Alto
rochas intermediárias	arcósios; siltitos e arenitos calcíferos	sedimentos areno-argilosos	Médio
rochas máficas; micaxistos; rochas carbonáticas	argilitos; folhelhos; calcários marinhos	argilas; matéria orgânica; turfas	Baixo

2.3 Cartas Interpretativas

Aplicou-se a função de união primeiramente com as cartas climatológica e pedológica e o resultado com a carta geológica. Esta seqüência foi devida ao fato das duas primeiras possuírem o mesmo contorno, não resultando em erros de compatibilização

A obtenção da suscetibilidade resultante da contribuição de duas suscetibilidades advindas de diferentes condicionantes utilizou a média aritmética, atribuindo valores 3, 2 e 1 para suscetibilidade alta, média e baixa, respectivamente e aplicando os seguintes intervalos numéricos para retornar a valores de suscetibilidade:

$X < 1,67$	Baixa
$1,67 \leq X < 2,33$	Média
$X \geq 2,33$	Alta

A análise conjunta das suscetibilidades alta e média; e a severidade dos resultados obtidos com a classificação da suscetibilidade a partir dos tipos climatológicos levou à ponderação deste condicionante frente aos demais.

Ao ponderar a climatologia frente aos demais condicionantes observou-se que: a igual ponderação do clima no cálculo da suscetibilidade resultante, não condizia com a realidade dos fenômenos no Estado; e que a isenção do clima não era aceitável, dada sua fundamental influência na origem e formação dos solos e na deflagração dos processos. Os estudos realizados com ponderação de 1; 0,75; 0,5; 0,25 e 0; evidenciaram que a ponderação de 0,75 para o clima é a que melhor representa os resultados, quando comparados às observações de campo, realizadas por Amorim (2004).

2.4 Banco de Dados Geotécnicos

Utilizaram-se os recursos de banco de dados do próprio *software* (ARCVIEW) na criação de campos para armazenamento de dados referentes aos locais onde se dispunham de ensaios geotécnicos (campo e laboratório). Foram gerados, assim, campos para: Identificação, Localização, Granulometria, Limites Atteberg, Índices

Físicos, Ensaio de Compactação e, ainda, Ensaios Específicos, para solos expansivos e colapsíveis.

Além dessas informações alfanuméricas foram disponibilizados gráficos resultados dos ensaios, (imagens JPG), incluindo Perfil Geotécnico, Curva Granulométrica, Carta de Plasticidade e Atividade, Edométricos Duplo e Simples, Curva de Compactação, Potencial de Colapso/Expansão, Superfície de Estado e Critérios de Expansão e Colapso.

3. RESULTADOS

3.1 Aspectos Climatológicos

A metodologia utilizada resultou em 6 tipos climatológicos para o Estado de Pernambuco inseridos em um mapa fundamental para a pesquisa, na escala de 1:600.000 (Figura 4). O Mapa Climatológico do Estado de Pernambuco apesar de não considerar a variabilidade climática interanual, representa condições climáticas médias. Desse mapa resultou uma carta derivada composta por 338 registros, com a definição da suscetibilidade à expansão e ao colapso de cada unidade de mapeamento (tipo climatológico), Figura 5.

A metodologia de Thornthwaite & Mather (1957) mostrou-se adequada para obtenção de parâmetros que permitissem estudar a influência do condicionante climatológico. A modificação de Krishnan (1980), para o índice hídrico (Ih), tornou-a melhor adaptada para a delimitação de zonas climatológicas nas áreas semi-áridas dos trópicos. A Carta Derivada, referente à suscetibilidade dos solos do Estado de Pernambuco por influência climática (Figura 5) indica que os limites da Zona da Mata, Agreste e Sertão coincidem, aproximadamente, com os limites entre as regiões de suscetibilidade baixa, média e alta. Os resultados mostram, ainda, como a Climatologia do Estado é favorável ao desenvolvimento de solos expansivos e colapsíveis e ao desencadeamento dos processos de colapso e expansão.

3.2 Aspectos Pedológicos

As cartas derivadas de suscetibilidade à expansão e ao colapso, que foram produzidas com base nas das classes pedológicas, constituem as Figuras 6 e 7, respectivamente. Observa-se que em 36,8% da área há suscetibilidade alta e média de ocorrência de solo expansivo e 37,3% de solo colapsível (Tabela 6).

3.3 Aspectos Geológicos

As cartas derivadas de suscetibilidade à expansão e ao colapso, resultantes do mapa geológico constituem as Figuras 8 e 9, respectivamente. Observa-se que há 48,5% em área de suscetibilidade alta e média de ocorrência de solo expansivo e de 58,7% de solo colapsível (Tabela 6).

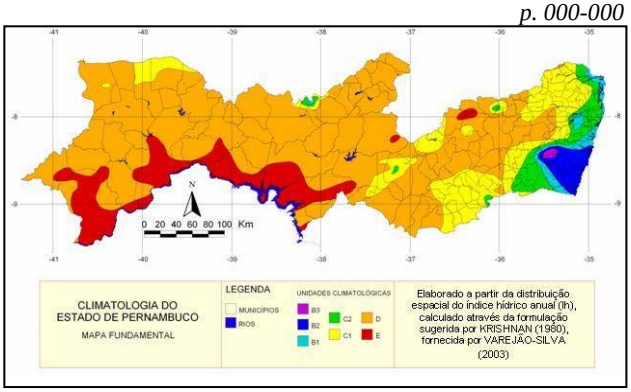


Figura 4 - Mapa Climatológico do Estado de Pernambuco, conforme classificação de Krishnan (1980).

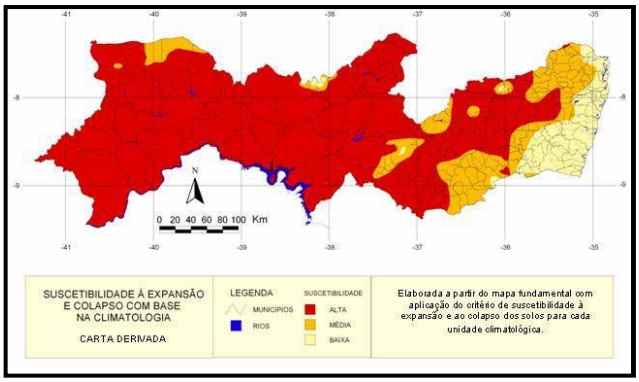


Figura 5 - Carta Derivada de Suscetibilidade à Expansão e Colapso no estado de Pernambuco com base na Climatologia.

Tabela 6 - Percentuais de ocorrência em área das unidades de suscetibilidade à expansão e colapso no Estado de Pernambuco segundo a Pedologia e Geologia avaliadas pelo método ponderado.

Suscetibilidade/ informações	Percentual de ocorrência em área			
	Pedologia		Geologia	
	Exp.	Col.	Exp.	Col.
Alta	16,5	4,7	1,9	28,7
Média	20,3	32,6	46,6	30,0
Baixa	60,7	60,3	49,2	39,0
Água	1,5	1,5	1,5	1,5
Sem informação	1,0	1,0	0,8	0,8

A generalização adotada no mapeamento das unidades cristalinas e sedimentares gera um erro intrínseco à metodologia aplicada, já que algumas áreas, particularmente no semi-árido do Estado, mostrarão suscetibilidade à expansão ou colapso para rocha cristalina aflorante. Tais áreas deveriam ser consideradas como de baixa suscetibilidade à expansão e ao colapso, tendo em vista as condições desfavoráveis de desenvolvimento de solo em regiões semi-áridas e áridas, porém a falta da delimitação das mesmas impossibilitou sua correta classificação. Nas áreas de embasamento

cristalino as suscetibilidades à expansão e ao colapso são apenas indicativas, pois uma mesma litologia, sob diferentes condições climáticas e morfológicas, pode dar origem a diferentes tipos de solos. A metodologia utilizada não é aplicada a rochas aflorantes, em áreas de baixo intemperismo presentes no semi-árido pernambucano.

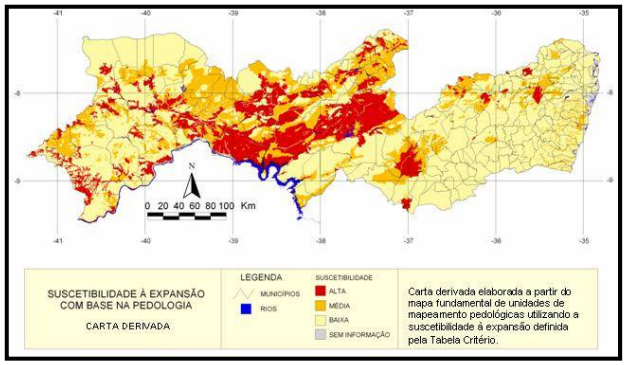


Figura 6 - Suscetibilidade à expansão dos solos no Estado de Pernambuco com base na Pedologia (carta derivada).

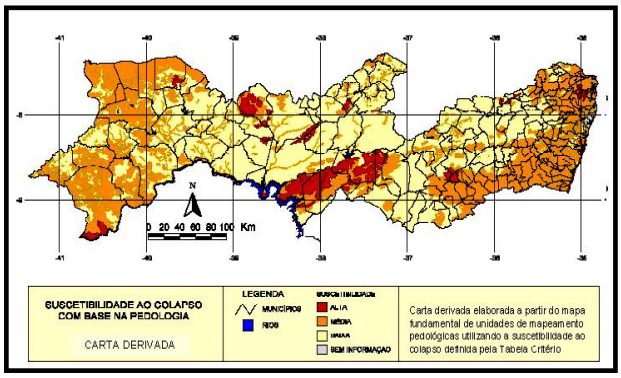


Figura 7 - Suscetibilidade ao colapso dos solos no Estado de Pernambuco com base na Pedologia (carta derivada).

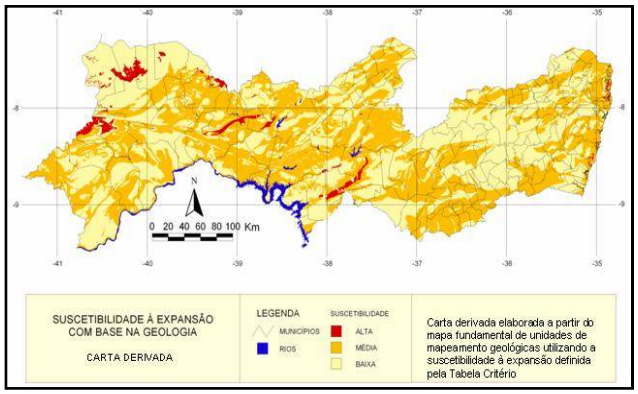


Figura 8 - Suscetibilidade à expansão dos solos no Estado de Pernambuco com base na Geologia (carta derivada).

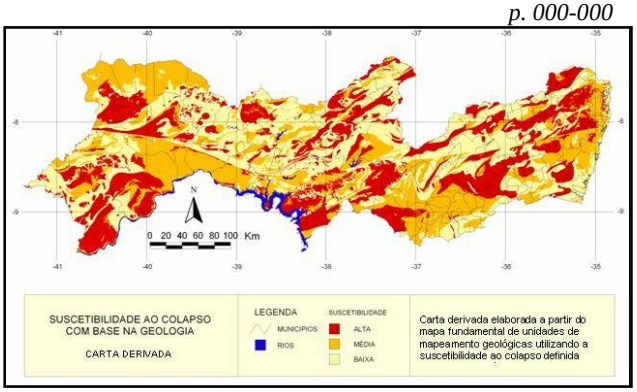


Figura 9 - Suscetibilidade ao colapso dos solos no Estado de Pernambuco com base na Geologia (carta derivada).

3.4 Cartas Interpretativas

O Sistema de Informações Geográficas dos Solos Expansivos e Colapsíveis do Estado de Pernambuco - SIGSEC/PE traz como principais resultados as bases de dados cartográficos referentes ao Mapa Fundamental de Climatologia, as Cartas Derivadas e principalmente as Cartas Interpretativas de Zoneamento de Suscetibilidade à Expansão (Figura 10) e Colapso (Figura 11) dos solos. Destas duas cartas interpretativas pode-se inferir que, para expansão, há suscetibilidade de ocorrência alta em 12,5% da área do Estado, média em 38,7% e baixa em 45,2%; e para colapso há suscetibilidade alta em 13,0%, média em 49,8% e baixa em 33,6%. O Sistema fornece à comunidade técnica local uma ferramenta mais completa, atualizada e de grande capacidade operacional, para o estudo da distribuição geográfica destes solos e o armazenamento, tanto das informações de seus condicionantes, como dos dados geotécnicos provenientes de ensaios de campo e de laboratório existentes. Pretendeu-se, ainda, indiretamente criar um sistema capaz de análises semelhantes para outros fenômenos do meio físico que estejam condicionados pelos mesmos fatores ou que disponham de condicionantes espacialmente cartografados.

Utilizando o SIGSEC-PE e localizando o trecho do canal do projeto de Integração do Rio São Francisco no estado de Pernambuco (Figuras 10 e 11), verifica-se que o canal estará apoiado em solos colapsíveis com suscetibilidade média e baixa preponderante e em solos expansivos com suscetibilidade alta, média e baixa. Indicando que trata de solos que requerem cuidados especiais quanto à variação de volume quando inundados sobre tensão.

No SIGSEC-PE há um banco de dados geotécnicos organizado com acervo de informações referentes aos resultados de ensaios de campo e de laboratório de solos expansivos e colapsíveis de 27 locais de ocorrência no estado de Pernambuco. Um exemplo típico destes resultados mostrado a variação de volume de um solo colapsível devido à inundação no município de Cabrobó-PE é mostrado na Figura 12. Sugere ainda, investigações

geotécnicas para cada grau de suscetibilidade e inclui um resumo da literatura quanto às principais medidas mitigadoras a serem tomadas.

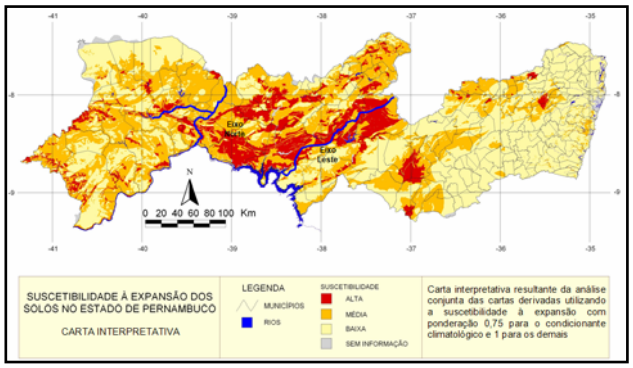


Figura 10 - Mapa de suscetibilidade a expansão dos solos no estado de Pernambuco.

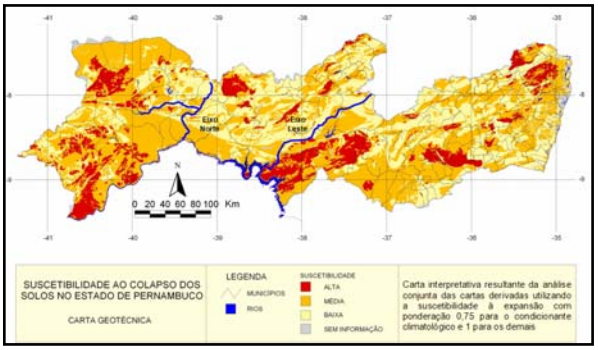


Figura 11 - Mapa de suscetibilidade ao colapso dos solos no estado de Pernambuco.

4. CONCLUSÕES

Os resultados mostram uma suscetibilidade à expansão alta em 12,5% da área do Estado, média em 38,7% e baixa em 45,2%; e ao colapso alta em 13,0%, média em 49,8% e baixa em 33,6%.

A apresentação das informações do meio físico, através de mapas, associado ao uso de geoprocessamento facilita o aceso às informações e possibilita uma rápida e segura análise geográfica, oferecendo aos pesquisadores uma ferramenta de suma flexibilidade e importância para investigações científicas posteriores.

A verificação da metodologia proposta foi realizada com base nas informações geotécnicas disponível. Ficou demonstrado que a determinação da suscetibilidade, levando em conta simultaneamente os três condicionantes, forneceu resultados mais satisfatórios do que o apresentado por cada condicionante isoladamente.

A avaliação da suscetibilidade, através da análise da carta interpretativa de zoneamento, não poderá dispensar a investigação adequada em campo e laboratório.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M.M.. **Estudo geológico para análise de suscetibilidade à expansão e ao colapso do Estado de Pernambuco.** Comunicação pessoal. 2003.

AMORIM, S. A. **Contribuição à cartografia geotécnica: sistema de informações geográfica dos solos colapsíveis e expansivos do estado de Pernambuco.** 2004. 204p Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

CPRM **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Pernambuco.** DNPM, AD/Diper. Recife. 2001.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 2º aproximação.** Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro. 1981.

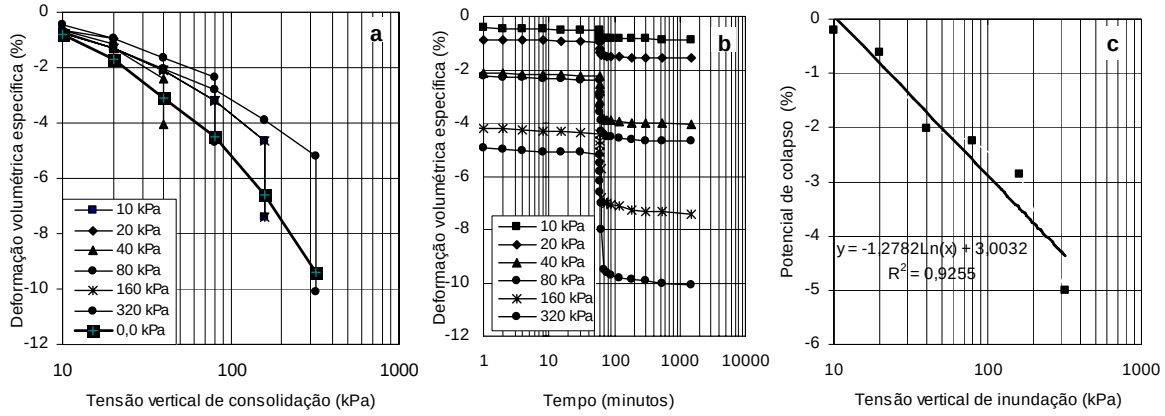


Figura 11 - Variação de volume de devido à mudança do teor de umidade em solo colapsível de Cabrobó - PE. a) Resultados de ensaios edométricos simples e duplos, b) Variação de volume com o tempo c) Variação do potencial de colapso com a tensão vertical de inundação.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Brasília, 1999. 412p.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco**. CD-ROM. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Documentos; no. 35, Recife 2001.

FERREIRA, S. R .M.. **Pedologia aplicada ao estudo de solos colapsíveis e expansivos.** Seminário de Qualificação de Doutorado. (COPPE/UFRJ publicação interna). 1990 p. 162.

FERREIRA, S. R. M. **Mapa de Risco a Colapsibilidade e Expansividade de Solos do Estado de Pernambuco – Geotecnia Ambiental.** Relatório Técnico do CNPq, 1999. 100p.

KRISHNAN, A.. **Agroclimatic classification methods and their application to India.** In: Climatic Classification: a consultants meeting. ICRISAT, Andhra Pradesh. 1980.

SUDENE. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Pernambuco**. Recife, Série Pluviometria, 6. 1990.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. C.. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance". Drexel Institute of Technology**. Publications in Climatology, X:3. Centertan. 1957.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Cartas das isotermas médias anuais da temperatura média diária, isoietas médias anuais e índices hídricos anuais para o Estado de Pernambuco**. Comunicação. 2003.

VASCONCELOS, R. P. R.. **Mapas de Suscetibilidade de Solos Colapsíveis e Expansivos do Estado de Pernambuco**. 2001. 93p. Dissertação (Mestrado, em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.