

Relatório de Delimitação Preliminar de Áreas de Risco em Áreas Urbanas.

MONITORAMENTO HIDROGEOLÓGICO MONITORAMENTO DE PONTOS PROPENSOS A INSTABILIZAÇÃO DE ENCOSTAS

UHE ESTREITO

Brasília, dezembro de 2007.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
2	METODOLOGIA UTILIZADA	6
3	DADOS UTILIZADOS	8
3.1	TOPOGRAFIA	8
3.2	GEOLOGIA	8
3.3	PEDOLOGIA	17
3.3.1	LATOSSOLOS	17
3.3.2	CAMBISSOLOS	19
3.3.3	NEOSSOLOS FLÚVICOS	22
3.3.4	NEOSSOLOS LITÓLICOS	22
3.4	PROPRIEDADES HIDROGEOLÓGICAS	23
4	ANÁLISE DE ERROS ASSOCIADA À INFORMAÇÃO	24
4.1	TOPOGRAFIA	24
4.2	HIDROGEOLOGIA	24
4.2.1	PEDOLOGIA	24
4.2.2	GEOLOGIA	25
4.2.3	PROPRIEDADES HIDRÁULICAS	25
5	MODELO CONCEITUAL	26
6	SOLUÇÃO DOS MODELOS APLICADOS ÀS CIDADES	27
7	RESULTADOS	28
8	SISTEMAS DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO	29
9	INTEGRAÇÃO DOS DADOS DOS DOIS PROGRAMAS	29

ÍNDICE DE FIGURAS, TABELAS E ANEXOS

<i>Figura 1. Localização das áreas urbanas adjacentes ao futuro reservatório da UHE Estreito.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Organograma para delimitação das Áreas de Risco Devido a Elevação Piezométrica.....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 3. Esquema demonstrativo do modelo conceitual utilizado em todas as áreas urbanas</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 1. Parâmetros de entrada para alimentação do modelo de fluxo nas áreas urbanas afetadas pela formação do lago da UHE Estreito, com base nos dados de áreas urbanas para UHE Peixe-Angical e UHE São Salvador. Dados da estação meteorológica do INMET de Carolina - Ma.</i>	<i>23</i>



UnB

Centro de Apoio ao
Desenvolvimento
Tecnológico



Água & Terra
Consultoria e Planejamento Ambiental

Anexo 1. Mapas com o posicionamento dos perfis utilizados para cálculo do modelo
Anexo 2. Mapas de resultados com a implementação das áreas de risco

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório tem como objetivo apresentar os resultados previsionais de elevação dos níveis freáticos e delimitação de áreas de risco nas poligonais urbanas a serem afetadas pelo futuro reservatório da UHE de Estreito. Os resultados das análises e o diagnóstico de variação do nível freático se baseiam em informações repassadas pelo CESTE (Consorcio Estreito Energia) e informações regionais de artigos publicados em outros reservatórios no Rio Tocantins, sendo que para este trabalho não foi realizada nenhuma aquisição de dados, somente o processamento de informações pré-existentes.

A maior parte dos dados apresentados e discutidos foi obtida desde no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da UHE Estreito e em publicações em congressos dos resultados obtidos nos PBA's da UHE Peixe Angical, São Salvador e Lajeado, esses dados foram selecionados por que todos os reservatórios foram implantados no rio Tocantins.

Este relatório é apresentado em duas partes: Volume I – Texto (presente volume) e Volume II – Anexo Mapas e Perfis.

O presente relatório inclui discussões e avaliações a partir da seguinte base de dados:

- modelo conceitual para análise do problema;
- análise de dados geológicos e pedológicos regionais (EIA);
- análise de valores de condutividade hidráulica (na zona vadosa);
- análise de valores de condutividade hidráulica (na zona saturada);
- avaliação da distribuição temporal de dados de precipitação obtidos de estações climatológicas situadas na região;
- modelagem previewal de ascensão do nível d'água com auxílio do *software FeFlow* e
- delimitação das áreas de risco nas cidades.

A modelagem hidrogeológica previewal tem como objetivo determinar a mudança do nível d'água subterrânea em um cenário natural, sendo que o modelo pode ser utilizado para demonstrar eventuais modificações no padrão de fluxo natural, como consequência da construção e operação de poços tubulares profundos ou variações de nível piezométrico geradas por variações de nível em um rio que seja efluente/influente em um sistema.

A delimitação de áreas de risco nas zonas urbanas adjacentes ao reservatório é gerada por análises previewais dos modelos e definições de propriedades geotécnicas dos solos, que

ocorrem nas áreas. A variação da propriedade de um solo não depende somente de sua saturação ou não, mas sim de um conjunto de fatores que devem ser analisados para uma melhor compreensão do sistema. Nesse relatório não foi possível a obtenção de valores ou caracterização das propriedades locais dos solos, sendo assim foram utilizados dados regionais o que não é recomendado, visto que as propriedades geotécnicas dependem de condições locais como umidade, composição química e variações de uso de ocupação do mesmo.

A equipe técnica responsável pelo presente relatório é composta pelos geólogos, Alexandre Matos Seidel e Joyce Pinheiro de Oliveira Fiori; e pelo engenheiro civil Alexandre Gil Batista Medeiros.

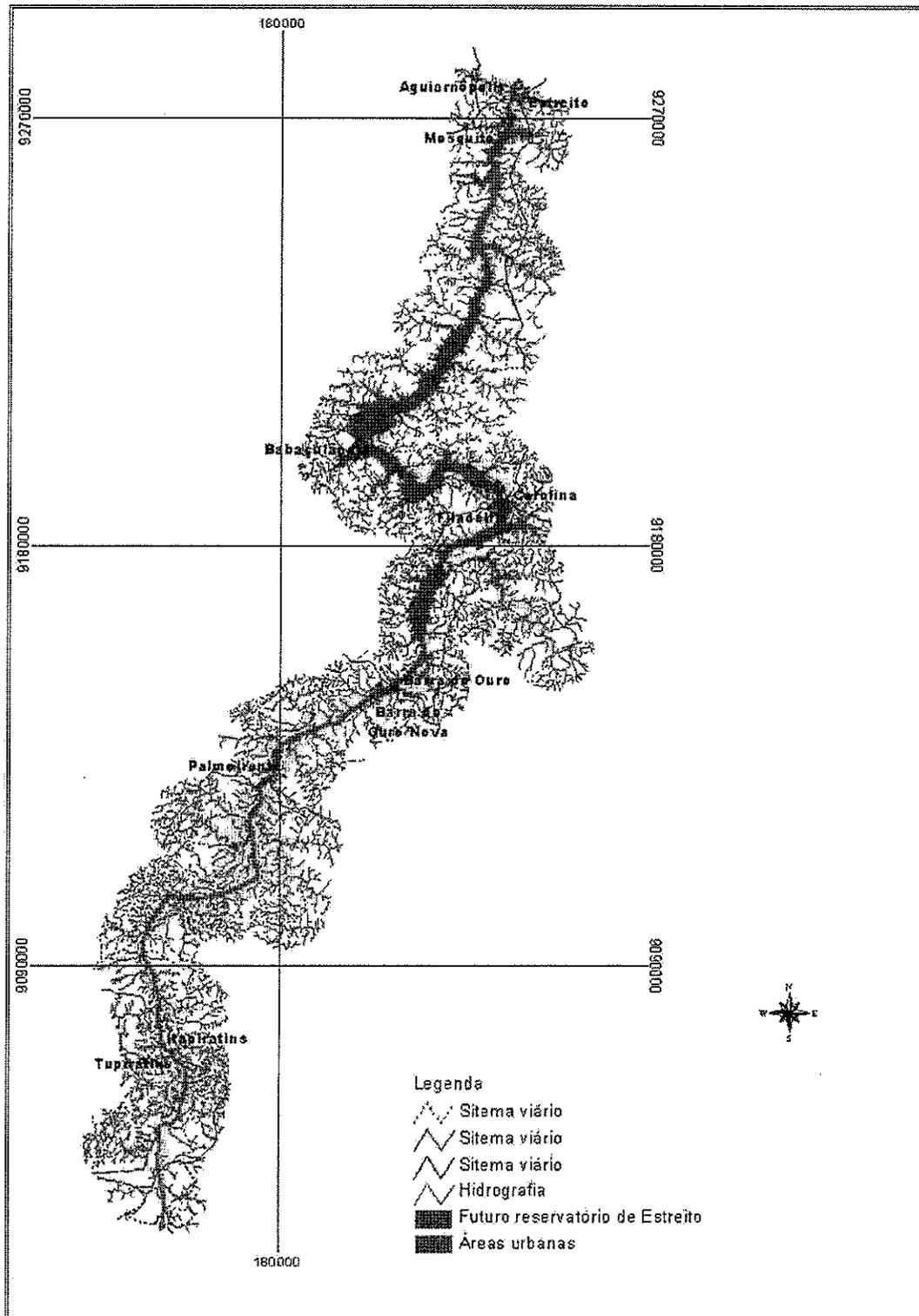


Figura 1. Localização das áreas urbanas adjacentes ao futuro reservatório da UHE Estreito

2 METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia definida para a delimitação dessas áreas de risco foi dividida em quatro fases distintas brevemente descritas a seguir:

A Fase 1 é a fase de aquisição de informações para a delimitação das áreas de risco devido à elevação piezométrica. Nesta fase, foi realizada coleta de dados, na qual se utilizou os dados da topografia fornecidos pela CESTE, para o traçado dos perfis transversais das áreas urbanas para a obtenção de modelos previsionais verticais, visto que a informação existente não permite a confecção de modelos tridimensionais. Os dados da hidrogeologia, tais como, dados de pedologia, geologia e propriedades hidrogeológicas foram obtidos por meio de dados fornecidos pela CESTE no EIA/RIMA confeccionados pela mesma. Os dados obtidos foram: mapa pedológico na escala de 1:100.000 de todo o reservatório, mapa geológico na escala de 1:100.000, também de todo o reservatório, nos quais foram obtidas as coberturas pedológicas que ocorrem nas áreas urbanas. Em todas as áreas urbanas a cobertura predominante é caracterizada por neossolos flúvicos.

As propriedades hidrogeológicas dos aquíferos, que ocorrem na área, podem ser correlacionadas a outros aquíferos semelhantes, que ocorrem na Bacia do Rio Tocantins. Sendo que, os outros aquíferos que ocorrem em coberturas de neossolos flúvicos não apresentam grande variação em suas propriedades hidrogeológicas; sendo assim gerada uma média com os valores de condutividade hidráulica e porosidade efetiva com os dados gerados nos reservatórios da UHE Peixe-Angical, São Salvador e Lajeado.

As estações climatológicas, com registros históricos, mais próximas das áreas urbanas atingidas pela elevação do nível freático gerado pela implementação do reservatório, são: estação do aeroporto de Araguaína e estação meteorológica do INMET da cidade de Balsas – MA. A estação utilizada foi a de Araguaína, visto que a mesma se encontra a aproximadamente 70 km das cidades de Filadélfia – TO e Carolina – MA.

A Fase 2 é a análise dos erros associados, a Fase 3 é a modelagem dos dados e a Fase 4 é a de delimitação das áreas de risco. Estas fases estão descritas ao longo do corpo do presente relatório.

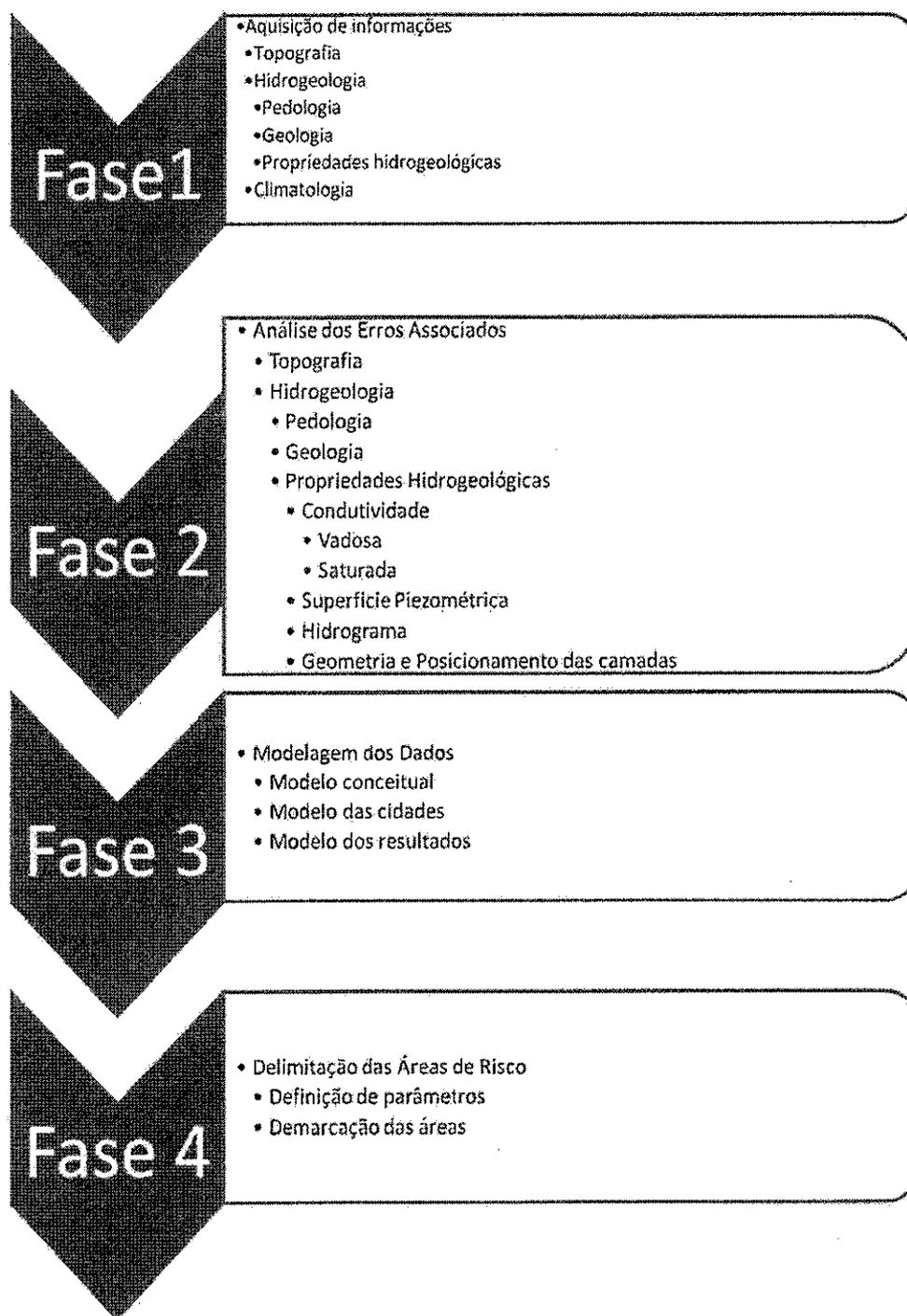


Figura 2. Organograma para delimitação das Áreas de Risco Devido a Elevação Piezométrica

3 DADOS UTILIZADOS

3.1 TOPOGRAFIA

Os dados topográficos utilizados foram os fornecidos pelo consórcio, com base na restituição aerofotogramétrica, com curvas de equidistância de 1 metro. Com pontos cotados por sistema de GPS diferencial com espaçamento entre pontos não definido. Essas malhas não apresentam uma continuidade por toda a área urbana sendo disponibilizados apenas os dados dos seguintes núcleos urbanos: Filadélfia, Babaçulândia, Palmerante, Carolina e Barra do Ouro Velho.

3.2 GEOLOGIA

De acordo com os dados obtidos no Estudo de Impacto Ambiental da área do futuro reservatório da UHE Estreito, as unidades litoestratigráficas presentes na área de influência indireta do empreendimento consistem essencialmente em seqüências fanerozóicas da Bacia Sedimentar do Parnaíba, existindo exposições de rochas pré-cambrianas apenas no limite ocidental da área.

Em ordem decrescente de idade citam-se rochas proterozóicas pertencentes ao Grupo Estrondo e depósitos fanerozóicos correspondentes às Formações Pimenteiras, Cabeças, Longá, Poti, Piauí, Pedra de Fogo, Motuca, Sambaíba, Mosquito e Corda. O pacote vulcano-sedimentar da bacia do Parnaíba foi acumulado num intervalo de tempo geológico que vai do Devoniano Inferior ou, mesmo, Ordoviciano, ao Cretáceo Superior, abrangendo um período desde pouco mais de 400 milhões até cerca de 80 milhões de anos atrás. Ocorrem, ainda, coberturas terciárias esparsas de materiais detríticos e coluvionares, alguns parcialmente laterizados, além de aluviões quaternários, acompanhando o curso dos principais rios.

Grupo Estrondo

Representa a unidade mais antiga da área em questão, tendo idade proterozóica média, que corresponde a cerca de 1.500 milhões de anos. S sustenta a serra homônima, que constitui o divisor de águas entre as bacias do Tocantins e do Araguaia. É constituído, essencialmente, por gnaisses, migmatitos, xistos quartzo-feldspáticos, quartzitos ferruginosos, anfíbólio-xistos, ortoquartzitos e metaconglomerados, refletindo metamorfismo de baixo e médio grau, correspondente às fácies xisto verde e anfibólito. Localmente, o Grupo Estrondo aparece sob a forma de solos de alteração de quartzo micaxistos blastomilonitizados, com foliação orientada segundo N-S e altos mergulhos para W. Nas redondezas existem elevações com encostas rochosas, observando-se alguns blocos grandes residuais de rocha sã escura, quartzosa e contendo biotita.

Formação Pimenteiras

Assenta-se em discordância angular sobre as rochas do Grupo Estrondo e ocupa estreita faixa,

com direção meridiana, acompanhando toda a borda ocidental da área em questão. O contato da Formação Pimenteiras direto com o embasamento mostra que na borda oeste da bacia do Parnaíba, nessa região, não existiram condições para deposição da Formação Serra Grande, sotoposta à Pimenteiras e que, mais para o centro da bacia, chega a alcançar mais de 600 m de espessura. A Formação Pimenteiras ocorre ainda restrita à faixa entre a margem esquerda do Rio Tocantins e grande graben logo a oeste, que embute as seqüências carboníferas no que deveria ser o domínio de rochas devonianas.

É constituída, essencialmente, de siltitos e folhelhos bem laminados, ferruginizados mais próximo à superfície, podendo conter espessos pacotes de arenito fino amarelado, bege, cinzento ou esbranquiçado, pouco micáceo, cujas exposições encontram-se preferencialmente nas margens e ilhas do rio Tocantins, no trecho entre Tupiratins e pouco a montante da foz do rio Manuel Alves Pequeno. O topo da Formação, nessa área associada ao Rio Tocantins, mostra fácies diamictítica, com seixos e blocos de diversos tipos de rochas imersos em matriz psamo-pelítica maciça, ou com incipiente estratificação, sugerindo ambiente de deposição ligado a glaciação ou à correntes de turbidez.

Formação Cabeças

Ocorre restrita à extremidade SSW da área em estudo, recobrimdo concordantemente a Formação Pimenteiras a oeste e encontrando-se sotoposta à Formação Longá, a leste. Ocorre ainda em pequena mancha associada a falhamentos na BR-153, entre Colinas de Goiás e Presidente Kennedy, e em afloramentos isolados ao longo da calha do Rio Tocantins. É constituída por arenitos médios a grossos, caulínicos, brancos, com freqüentes pedriscos esparsos e delgadas lentes microconglomeráticas. Exibe característica estratificação cruzada tabular de baixo angulo.

Na literatura a Formação Cabeças é caracterizada como consistindo de arenitos brancos, de granulação média a grossa, mal selecionados, com frações mais finas sob a forma de delgadas camadas subordinadas, melhor selecionadas e com laminação mais evidente. Os arenitos são muscovíticos e mostram-se geralmente bem estratificados, sendo comuns as estratificações cruzadas tabulares de pequeno a médio porte e laminações plano-paralelas. Existem fácies paraconglomeráticas e delgadas intercalações siltosas e argilosas, às vezes bem laminadas, com colorações branca, creme ou avermelhada. Os arenitos apresentam-se comumente friáveis, com oxidações em superfície, sendo predominantemente caulínicos e micáceos.

Vestígios da presença de vermes, através de longas estruturas tubiformes, e datações palinológicas, permitiram situar a Formação Cabeças no Devoniano Médio ou Superior. O ambiente deposicional é admitido como deltáico, ou litorâneo com contribuição deltáica, com processos de escorregamento associados, tendo sido os paraconglomerados interpretados como produto de origem glacial ou turbidítica. Essas rochas diamictíticas foram observadas na área de contato entre as Formações Pimenteiras e Cabeças, na calha do Rio Tocantins, não tendo ainda

sido definido a qual dessas formações elas devem pertencer. A passagem entre as Formações Pimenteiras e Cabeças é gradacional e transicional.

Formação Longá

Sobrepõe-se concordantemente à Formação Cabeças e ocorre limitando-a a leste, formando estreita faixa submeridiana que se prolonga desde a extremidade sul da área em questão, numa extensão de aproximadamente 100 km, até a região de Palmeirante e da foz do Rio Manuel Alves Pequeno. Na área, aparece sob a forma de sucessivas intercalações de delgadas lâminas de siltito alternadas com outras de folhelhos cinzentos escuros, denotando laminação plano-paralela horizontal muito nítida, às vezes com suaves mergulhos e ondulações em larga escala.

É descrita como uma seqüência monótona de arenitos finos, siltitos, argilitos e folhelhos, permitindo a sua subdivisão em três membros, cuja individualização, em virtude da ausência de exposições representativas, torna-se impraticável na Folha Tocantins. Os siltitos constituem a litologia predominante, mostrando-se com colorações cinzentas, cinza esverdeadas ou amareladas e, às vezes, amarronzadas. Ocorrem intercalados com arenitos, argilitos e folhelhos de maneira mais ou menos regular. Os arenitos são finos a médios, micáceos, às vezes argilosos, apresentando-se geralmente compactos e maciçamente acamados. Não são incomuns pequenas concreções esferóides ou lenticulares de pirita distribuídas no âmbito da Formação Longá. Os estratos plano-paralelos são muito bem definidos e contêm, internamente, microestratificações cruzadas e marcas onduladas de pequena amplitude, geralmente simétricas. São difundidas as deformações e estruturas de sobrecarga, em função do comportamento diferencial dos diversos estratos sob efeito dos processos de litificação.

Tem espessura média de 110 m na região de Balsas, 135 m nas vizinhanças de Tasso Fragoso e 130 m, tanto em Carolina como em Fortaleza dos Nogueiras.

Formação Poti e Carbonífero Indiferenciado

Representa o Carbonífero Inferior na área em estudo, juntamente com depósitos de posição incerta, que podem ser correlacionados tanto à Formação Poti como à Piauí, tendo sido identificados como pertencentes ao Carbonífero Indiferenciado. O conjunto de rochas do Carbonífero Indiferenciado e da Formação Poti encontra-se embutido, através de grande graben existente entre a BR-153 e o Rio Tocantins, nas formações devonianas mais antigas, ocupando a porção SSW da área. Essas unidades se estendem ainda por ampla faixa, com mais de 40 km de largura, no limite meridional e sul-sudeste da área, que estreita em direção a NNW e prolonga-se por mais de 150 km nessa direção, até desaparecer pouco além das margens do Rio Tocantins, logo a jusante de Palmeirante. Nessa área são representadas por arenitos médios e grossos, maciçamente acamados em espessos pacotes, com eventuais níveis de pedregulhos esparsos e mal arredondados.

No Projeto RADAMBRASIL (1981) o Carbonífero Indiferenciado é descrito como um conjunto de arenitos com ocasionais lentes de conglomerados, contendo intercalações de siltitos, às vezes calcíferos, margas e eventuais níveis de *chert*. No topo predominam arenitos avermelhados com estratificação cruzada e dissecações tipo "casco de tartaruga". A Formação Poti, por sua vez, é distinguida por uma seqüência do Carbonífero Inferior, constituída por arenitos róseos, amarelados ou cinzentos, micáceos, finos a médios, com grãos subarredondados a subangulosos, medianamente selecionados, maciços ou com estratificação plano-paralela ou cruzada. Mostram intercalações de siltitos e folhelhos micáceos, avermelhados, além de delgadas camadas calcárias e lentes de arenitos rosados, grossos, contendo níveis conglomeráticos.

A Formação Poti e o Carbonífero Indiferenciado sobrepõem-se à Formação Longá em contato erosivo nas bordas da bacia, sendo que ele passa a gradacional à medida que se vai em direção ao seu interior. Com as Formações Pimenteiras e Cabeças, a relação de contato é por falhamento, o qual rebaixa as formações carboníferas ao nível das devonianas, que lhes são estratigraficamente sotopostas.

A idade da Formação Poti foi estabelecida, através do registro fossilífero, como correspondente ao Carbonífero Inferior. As condições de deposição, em função da imaturidade mineralógica dos sedimentos, parecem estar associadas à predominância de processos mecânicos de intemperismo em relação aos de natureza química, revelando ambiente de aridez na área fonte. O ambiente em que se acumularam esses sedimentos corresponderia a litorâneo marinho, transicionando para palustrino, como é indicado nos locais onde é maior a frequência das intercalações de folhelhos e siltitos com restos vegetais.

Formação Piauí

Ocorre na porção setentrional do grande graben a oeste do Rio Tocantins e em ampla faixa que se estende desde a extremidade sudeste da área em questão até alcançar o Rio Tocantins, na região circunvizinha à sede municipal de Barra do Ouro.

Na área é representada por arenitos avermelhados contendo delgadas camadas de siltitos, lamitos e conglomerados. É comum também a presença de arenitos médios a grossos, maciços ou com incipiente estratificação cruzada, contendo seixos subarredondados esparsos.

A Formação Piauí é descrita pelo Projeto RADAMBRASIL, na Folha Tocantins (1981), como um conjunto de arenitos vermelhos a róseo amarelados, friáveis, com granulação fina a média, contendo alguns leitos de areia grossa, além de conglomerado basal constituído por matações de quartzo e quartzito, com matriz arenítica e siltítica. Apresenta estratificação cruzada e estruturas superficiais tipo "casco de tartaruga", sendo comuns intercalações de folhelhos e siltitos avermelhados, bem como níveis de sílex.

A idade da Formação Piauí é carbonífera superior, como comprovado pelo conteúdo fóssil,

representado por *Aviculopecten*, *Edmondia*, *Spirifer opimus* e *Orbiculoidea* sp., além de alguns tipos específicos de conodontes. Localmente, o contato com a Formação Poti, sotoposta, é discordante, sendo marcado pela presença de conglomerados basais da Formação Piauí. De modo geral, esse contato é considerado concordante na parte central da bacia, enquanto nas bordas é discordante erosivo.

A Formação Piauí reflete ambiente deposicional continental, essencialmente fluvial, com contribuição eólica e, ocasionalmente, lacustrina. A presença de calcários e fósseis marinhos atestam eventos de incursões marinhas. Na região de Balsas a Formação Piauí tem espessura média de 300 m, muito parecida com as espessuras registradas em Tasso Fragoso e Fortaleza dos Nogueiras, que correspondem, respectivamente, a 325 m e 312 m. Já em Carolina, a sua espessura cai para 176 m.

Formação Pedra de Fogo

Aparece capeando as unidades carboníferas na extremidade setentrional do grande graben entre o Rio Tocantins e a BR-153, na parte oeste da área em questão. Na área em estudo, o domínio principal corresponde a uma ampla faixa E-W com mais de 50 km de largura, que se estende desde pouco mais de 20 km a leste de Araguaína até o limite oriental da bacia hidrográfica contribuinte do futuro reservatório da UHE Estreito. Avança ainda, a partir daí, em direção ao sul, ocupando a extremidade SE da área, sustentando o topo da Chapada das Mangabeiras.

A Formação Pedra de Fogo aparece, na área, sob a forma de siltitos e lamitos verdes ou, quando alterados, com intensa coloração avermelhada, além de arenitos finos a médios, bege e rosados, maciços ou com incipiente estratificação cruzada de pequeno porte, e freqüentes níveis delgados intercalados de margas, calcários e sílexitos.

Os terrenos do domínio da Formação Pedra de Fogo, à exceção da chapada divisora com a Bacia do Parnaíba, caracterizam-se por relevo rebaixado e plano ou suavemente ondulado, como no baixo curso do Rio Manuel Alves Grande. Na estrada de Araguaína à Filadélfia, o relevo suavemente ondulado em área de pastagens, correspondente à Formação Pedra de Fogo, contrasta com as altas mesas residuais sustentadas pela Formação Sambaíba, ao norte da referida rodovia.

A Formação Pedra de Fogo é litologicamente caracterizada na literatura, na área objeto do Projeto Leste do Tocantins/Oeste do rio São Francisco (CPRM, 1976), como sendo constituída por uma seqüência de três unidades distintas. Na parte inferior são descritos siltitos arenosos, lilás, vermelhos e com cores variegadas, maciços ou com planos de estratificação ondulados, associados a níveis contorcidos de sílex. Possuem intercalações de até 1,5 m de arenito creme e amarelado, de granulação média, com grãos subarredondados e medianamente selecionados, em matriz argilosa. Próximo à base e ao topo ocorrem concentrações de numerosos níveis centimétricos de sílex, formando camadas compostas por sucessivas intercalações de sílex com

siltito, totalizando espessuras de até 6 m. Ocorrem também níveis delgados com concreções de sílex e troncos silicificados de pteridófitas e coníferas. Na unidade intermediária ocorrem arenitos finos e médios, de coloração rosada, amarelada ou avermelhada, com grãos subangulares e subarredondados em matriz argilosa, denotando-se a presença de estratificação cruzada. A unidade superior é constituída por siltitos cremes e lilás, micáceos, maciços ou com estruturas "blocky", contendo intercalações de até 1 m de arenito fino a médio, rosado, com grãos subangulares a angulares e bem selecionados. A matriz é argilosa e o arenito mostra estratificação cruzada. No topo dessa unidade ocorrem siltitos avermelhados ou lilás, com níveis esparsos de siltito silicificado e sílex.

O contato da Formação Pedra de Fogo com a Formação Piauí, subjacente, é concordante e transicional, podendo apresentar diastemas localizados. Na área do graben a oeste do Rio Tocantins o contato se dá por falhamento, tanto com as Formações Pimenteirias e Cabeças, mais antigas, bem como com as Formações Mosquito e Corda, embutidas em pequeno graben a leste de Araguaína.

O registro fóssil específico da Formação Pedra de Fogo, como a madeira fóssil *Psaronius*, o anfíbio *Prionusuchus* e fósseis de *Laevigatrosporites*, *Vestigisporites*, *Azonotriletes* e outros, permitem situá-la, com segurança, no Permiano Médio e Inferior. O ambiente deposicional é misto, com fósseis indicativos de fauna marinha e, ao mesmo tempo, madeiras petrificadas denotando, por sua vez, ambiente continental, possivelmente lagunar. A alternância de sedimentos clásticos e químicos é indicativa de mudanças cíclicas no regime deposicional de tais sedimentos, sendo que a área fonte devia encontrar-se em estágio avançado de erosão, já próximo ao nível de base da época.

Formação Motuca

Ocupa pequena faixa E-W ao norte de Carolina, na zona de transição entre as Formações Pedra de Fogo e Sambaíba, com comprimento de 100 km e larguras que variam de 5 a mais de 20 km. Na área em questão, consiste essencialmente de siltitos e lamitos vermelhos, homogêneos, maciçamente acamados ou com estratificação incipiente, confundindo-se em parte com a Formação Pedra de Fogo que lhe é sotoposta. Na região de Babaçulândia, os siltitos vermelhos da Formação Motuca afloram conspicuamente e sustentam relevo de pequenos cocurutos e taludes naturais com rebordos arredondados.

Regionalmente, é descrita como sendo constituída por arenitos basais que gradam, em direção ao topo, para folhelhos vermelhos, anidrita e calcários que, para cima, cedem lugar novamente a arenitos. A anidrita ocorre em pacotes que podem acumular até 20 m de espessura. O contato da Formação Motuca é concordante e gradacional com a Formação Pedra de Fogo, por meio de falhamento com as Formações Mosquito e Sambaíba, na extremidade oeste de sua área de ocorrência dentro da área em estudo.

O ambiente deposicional corresponde a condições predominantemente continentais e de aridez bastante pronunciada, existindo um ambiente marinho remanescente da Formação Pedra de Fogo, atestado pelas camadas de evaporitos e presença de fósseis gastrópodes marinhos. A influência marinha foi diminuindo já no começo da deposição da Formação Motuca, com estabelecimento de ambientes cada vez mais emersos, até alcançar condições francamente continentais.

Formação Sambaíba

Ocupa toda a região norte da área em questão, formando larga faixa com distribuição grosso modo E-W, com até 60 km de largura, que vai estreitando-se em direção à extremidade NE da área, enquanto que na extremidade W-NW ocupa faixa de direção meridiana, delimitada a leste com as Formações Mosquito, Corda e Pedra de Fogo através de falhamento normal.

É constituída de arenitos finos exibindo generalizada estratificação cruzada tangencial de grande porte. Esses arenitos são caracterizados por apresentarem-se nas colorações predominantemente avermelhadas e alaranjadas, além de amareladas, rosadas e esbranquiçadas, e ocorrem sob a forma de magníficas exposições nas altas escarpas das mesas residuais de erosão que dominam a paisagem desde a BR-153, na extremidade W-NW da área, até Riachão, na sua extremidade E-NE, no divisor com a Bacia do Rio Parnaíba. É freqüente, na borda das escarpas, o fenômeno de silicificação, dando origem, com a regressão erosiva das escarpas, à acumulação de blocos de arenito silicificado junto ao sopé dos pequenos tableiros.

Na literatura a Formação Sambaíba é descrita como consistindo em arenitos avermelhados, róscos escuros e esbranquiçados, predominantemente finos e médios, geralmente pintalgados de caulim. Os grãos são subangulares a subarredondados e a superfície é fosca. Na porção superior é comum a presença de níveis de sílex e no topo, onde ocorrem intercalações basálticas, os arenitos mostram-se bastante silicificados por cozimento. A estrutura sedimentar predominante consiste em estratificação cruzada de grande porte, do tipo torrencial.

O contato inferior da Formação Sambaíba é concordante e gradacional com a Formação Motuca, enquanto que com as Formações Pedra de Fogo e Piauí é discordante. O ambiente deposicional é continental fluvial, com contribuição eólica, sendo comuns espessas camadas com registro de sedimentação francamente eólica. A Formação Sambaíba é afossilífera e, pelas relações cronoestratigráficas, a sua idade foi estabelecida como correspondente ao Triássico Médio a Superior. A sua espessura atinge 200 m na localidade tipo, tendo sido detectada espessura de 183 m em Babaçulândia.

Formação Mosquito

Delimita toda a borda setentrional da área, formando estreita faixa que se alarga na extremidade NE, onde ocupa área bastante grande e encontra-se interposta entre os arenitos das Formações

Sambaíba e Corda. Aparece ainda embutida no graben a leste de Araguaína, onde ocupa faixa meridiana com 40 km de comprimento e largura ao redor de 10 km, sendo capeada por manchas de arenitos da Formação Corda.

A Formação Mosquito corresponde a uma sucessão de derrames basálticos superpostos, que se caracterizam por um núcleo central maciço e uma parte superior com alta densidade de vesículas e/ou amígdalas. A parte basal é delgada e tem poucas vesículas, podendo ser parcialmente vítrea. Na área em questão, os basaltos dessa Formação aparecem tanto sob a forma de solos de alteração arroxeados, principalmente nos trechos correspondentes ao topo vesículo/amigdaloidal dos derrames, como sob a forma de rocha alterada mole cinza esverdeada, com freqüentes diques clásticos. Mais raramente, os basaltos apresentam-se são, principalmente nas exposições que correspondem à sua porção central maciça, sem amígdalas. O contato basal com os arenitos Sambaíba é bastante irregular, com indícios de que os primeiros derrames de lava contornaram o paleorelevo do campo de dunas.

É descrita como constituída por derrames basálticos, com uma restrita intercalação sedimentar na área de Fortaleza dos Nogueiras. Os basaltos são escuros, raramente com tons esverdeados, afaníticos, e contêm vesículas preenchidas por calcedônia, zeólitas e minerais verdes.

O contato inferior com os arenitos da Formação Sambaíba mostra-se discordante, com truncamento dos arenitos pelos derrames basálticos. No graben a leste de Araguaína o contato se dá por falhamento com as Formações Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba. As lavas basálticas resultaram de tectonismo distensivo e ruptura crustal que favoreceu a extrusão de magma básico através de sucessivos espasmos intermitentes. Datações radiométricas permitiram atribuir idade jurássica ou triássica superior para a Formação Mosquito na borda oeste da Bacia do Parnaíba. Já na borda oriental, soleiras e diques foram datados como associados a eventos do Cretáceo Inferior.

Formação Corda

Ocorre sob a forma de manchas restritas à extremidade NE da área e pequenas coberturas sobre os basaltos da Formação Mosquito no graben a leste de Araguaína. É caracterizada por arenitos finos e médios, com cor arroxeadada característica e conspícua estratificação cruzada acanalada e tangencial de baixo ângulo e porte médio a grande. Têm matriz argilosa, sendo freqüentemente pintalgados de branco, e os grãos mais grossos são esféricos, bem arredondados e foscos, com aspecto de "ova de peixe".

Regionalmente, é descrita, na zona de contato com os basaltos da Formação Mosquito, como sendo constituída por arenitos grosseiros a conglomeráticos, marrom avermelhados e arroxeados, com blocos de até 20 cm de basalto alterado, calcita, sílex, arenito, argilito e calcário, imersos em matriz arenosa. Mais para o topo da seqüência podem ocorrer intercalações, nos arenitos, de níveis de argilitos, siltitos argilosos e folhelhos com estratificação cruzada. No topo ocorrem

arenitos arroxeados e marrom avermelhados, médios a grossos, com grãos arredondados e foscos e contendo seixos de quartzo. Exibem estratificação planar de grande porte e intercalações irregulares de argila.

A Formação Corda recobre discordantemente os basaltos da Formação Mosquito na área e, fora dela, prograda discordantemente sobre diversas unidades paleozóicas e mesozóicas.

O ambiente deposicional é continental fluvial, possivelmente deltáico, com correntes de alta energia e rápido retrabalhamento na parte basal. Os grãos esféricos e foscos e as características sedimentares sugerem contribuição eólica em clima semi-árido a desértico, com contribuição lacustrina revelada pelos níveis pelíticos, que contêm fósseis de conchostráceos lacustres. A idade da Formação Corda é cretácea inferior e sua espessura pode alcançar 80 m, como na região de Fortaleza dos Nogueiras, caindo para 30 m próximo à Imperatriz.

Coberturas Cenozóicas

Próximo a Babaçulândia, estreito e ao norte de Nova Olinda, na BR-153, é observada uma unidade que corresponde a depósitos de areia média a grossa argilosa, compacta e coesa, esbranquiçada, contendo níveis e bolsões delgados e pequenos de argila branca e cascalho fino, além de blocos e fragmentos de material limonitizado dispersos na matriz ou concentrados na base ou, ainda, em níveis horizontais.

Esses depósitos foram observados sob a forma de delgadas coberturas, não ultrapassando 10 m, sobre as Formações Sambaíba, Mosquito, Motuca, Pedra de Fogo e Pimenteiras, com contato geralmente muito irregular e em áreas rebaixadas pela erosão, podendo representar, possivelmente, restos de uma sedimentação preservada em blocos tectônicos abatidos.

Na literatura, são descritas coberturas detrítico/lateríticas generalizadas, de idade terciária, constituídas por sedimentos semi-consolidados ou incoesos, mal selecionados, com seixos de quartzo, caulim e limonita dispersos em matriz areno-argilosa. Na base o material é mais grosseiro, às vezes conglomerático, e a coloração é amarelada ou avermelhada.

Esses depósitos podem atingir 30 m de espessura e aparecem mais comumente como capeamentos de platô, podendo aparecer, contudo, nos mais diferentes níveis altimétricos. As coberturas detríticas relacionam-se aos diversos processos de aplainamentos terciários e, mesmo, pleistocênicos, e freqüentemente formam espessas camadas laterizadas.

Existem também amplas coberturas arenosas, representando colúvios e solos residuais de rochas areníticas das Formações Poti, Piauí e, sobretudo, Sambaíba, na estrada entre Araguaína e Babaçulândia. São constituídas de espessas camadas de areia fina, muito homogênea e bem selecionada, incoesa, com colorações amareladas, avermelhadas, amarronzadas e cinza esbranquiçadas.

Depósitos Quaternários

Extensas planícies aluviais, com larguras de até 15 km, como na região de Carolina, as quais incluem antigos terraços e planícies de inundação mais recentes, ocorrem associadas aos principais cursos d'água na área em questão, principalmente, com relação aos dos rios Tocantins e Manuel Alves Grande. Nos terraços elevados predominam cascalheiras e areias finas a grossas, sendo que, junto aos cascalhos basais, é bastante comum a presença de blocos de arenitos silicificados com até mais de 0,5 m de diâmetro. Nas planícies de inundação, existem níveis de cascalho basal recobertos por areias finas e siltes, além de argilas depositadas em depressões ao lado dos diques marginais, em paleocanais e paleolagoas.

Os terraços correspondem a depósitos de fluxos torrenciais sob clima mais seco que o atual, em que o regime fluvial caracterizava-se por um sistema entrelaçado de drenagem. Entre os períodos correspondentes aos diversos níveis de terraço, intercalavam-se períodos com climas úmidos, semelhantes ao atual, em que os rios se encaixavam em canais mais profundos e bem definidos. A atual planície de inundação corresponde a um último episódio de regime entrelaçado, encerrado ao redor de 10.000 anos atrás, quando os rios passaram a definir seus cursos atuais. Esses depósitos são marcados pedologicamente como neossolos fluvicos e neossolos quatzoarenicos.

Os dados geológicos, com separação das formações não foram utilizados nesse relatório pois o modelo conceitual empregado utiliza somente as coberturas pedológicas como aquífero livre e as formações geológicas como aquíferos saturados de dupla porosidade que não sofreram influência inicialmente com a subida do reservatório.

3.3 PEDOLOGIA

Na área em estudo, são identificadas e caracterizadas as classes de solos definidas a seguir, de acordo com o Sistema Brasileiro de classificação de Solos da EMBRAPA.

3.3.1 LATOSSOLOS

São solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico.

Nas áreas onde apresentam cores vermelho-escuras, são pouco profundos, bastante intemperizados, caracterizados por apresentar horizonte B latossólico, de e teores de Fe_2O_3 entre 8 e 18% nos solos argilosos podendo ser menor que 8% nos de textura média. Possui elevado grau de intemperismo, que é refletido em valores de K_i muito baixos (menores que 2) e mineralogia caulínica/gibbsítica na fração argila.

Apresentam textura argilosa e média, estão relacionados a diversas litologias, particularmente arenitos e ocorrem em condições de relevo plano e suave ondulado. São cobertos, por vegetação de Cerrado e Cerradão Tropical Subcaducifólios.

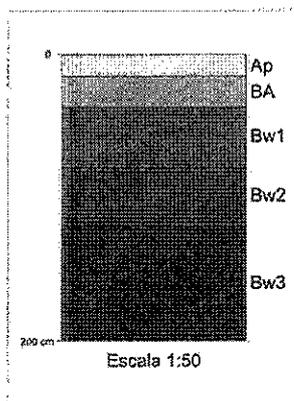
Apresentam boa drenagem interna, condicionada por elevada porosidade e homogeneidade de características ao longo do perfil e, em razão disto, elevada permeabilidade; assim são considerados como solos de razoável resistência à erosão de superfície (laminar e sulcos). Sua boa permeabilidade favorece a pouca formação de enxurradas na superfície do solo e boa resistência em condições naturais ou de bom manejo, mas são muito susceptíveis à erosão em profundidade, destacando-se os de textura média.

São elementos dominantes em algumas unidades de mapeamento nas proximidades das cidades de Aguiarnópolis - TO e Estreito – MA, porção norte da área em estudo.

Quando apresentam textura média, são subdominantes nas proximidades de Estreito - MA e nas proximidades de Filadélfia – TO.

O perfil apresentado a seguir é representativo dos solos desta classe. Sintetiza as principais características morfológicas, físicas e químicas dos mesmos.

PERFIL n° 1	
FONTE	ELETRONORTE/THEMAG, 2.000 (número original 16)
Classificação	Latossolo Vermelho-Escuro distrófico a moderado, textura argilosa relevo plano.
Localização	Município de Estreito – MA, a 2,2 km do trevo com a rodovia transamazônica no sentido de Porto Franco. 6° 26' S e 47° 23' W GR.
Situação e declive	Topo da superfície com 0-3% de declive, sob pastagem de capim brachiária.
Litologia e formação geológica	Formação Sambaíba
Material originário	Arenitos
Pedregosidade	Não pedregosa
Rochosidade	Não rochosa
Relevo: local	Plano
Regional	Plano e suave ondulado
Drenagem	Bem drenado
Erosão	Ligeira
Cobertura vegetal	Cerrado tropical subcaducifólio
DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA	



Ap: 0 - 18 cm; vermelho-amarelado (5YR 3/6); franco-argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

BA: 18-40 cm; vermelho-amarelado (5YR 4/6); franco-argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; macio, friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.

Bw1: 40-80 cm; vermelho-amarelado a vermelho-escuro (3,5YR 3/6); argila-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.

Bw2: 80-120 cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.

Bw3: 120-200 cm; vermelho (2,5YR 5/8); argila-arenosa; fraca pequena e média blocos subangulares; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes: médias, poucas no horizonte A e BA e raras nos demais; finas abundantes no Ap, comuns no BA e raras nos demais.

Nas áreas onde apresentam cores cores vermelhas a vermelho-amareladas, são bem drenados, caracterizados pela ocorrência de horizonte B latossólico, teores de Fe_2O_3 iguais ou inferiores a 11% e normalmente maiores que 7%, quando a textura é argilosa ou muito argilosa. Profundo e bastante intemperizado, o que se reflete na baixa capacidade de troca de cátions e saturação de bases.

Apresenta boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e penetração de raízes, entretanto tem textura média tendendo para arenosa, o que é prejudicial por condicionar baixa retenção de água e nutrientes aplicados.

Por apresentar textura média, tendendo a arenosa e grande profundidade é muito propenso a incidência de erosão em voçorocas. Em algumas situações é utilizado com pastagens plantadas. O relevo de sua ocorrência é suave ondulado ou plano e estão sob vegetação de Cerrado Tropical Subcaducifólio.

Na área em estudo, é uma classe de solo com ocorrência bastante significativa, está quase sempre associado aos Neossolos Quartzarênicos, nas porções central e sul da área.

3.3.2 CAMBISSOLOS

Solos minerais não hidromórficos, com horizonte A moderado sobre um horizonte B incipiente, que se trata de horizonte pouco evoluído, no qual se manifestam apenas características de cor e/ou estrutura, sem haver outras características indicadoras de maior evolução, necessárias para caracterizar horizontes mais evoluídos tais como B textural, B latossólico, B espódico ou horizonte plíntico.

São pouco profundos a rasos, com pequena diferenciação de horizontes, sem acumulação de argila, textura franco-arenosa ou mais argilosa. As cores são variáveis, desde amareladas até avermelhadas. Quando derivados de rochas cristalinas, geralmente apresentam materiais primários facilmente decomponíveis no interior de sua massa. A textura é média ou argilosa, podendo ocorrer cascalhos. A presença de plintita e de concreções (epiconcrecionários) são comuns em boa parte destes solos.

Predominam os solos com argila de atividade alta e quanto à saturação de bases são eutróficos, distróficos e álicos, ou seja, apresentam saturação de bases e com alumínio trocável variáveis. Ocorrem relacionados, principalmente, a rochas pelíticas da Formação Pedra de Fogo e com menos frequência relacionados a outros tipos de rochas como arenitos.

De modo geral, são solos bastante susceptíveis à erosão. Sulcos e ravinas são muito comuns sobre os mesmos. Têm elevada erodibilidade determinada, principalmente, pela ocorrência de argila de atividade alta, elevados teores de silte e pequena profundidade.

Na região entre Araguaína e Filadélfia - TO verifica-se grande mancha com o predomínio de Cambissolos ligados aos siltitos e folhelhos da Formação Pedra de Fogo. Neste caso são pouco profundos, eutróficos, têm argila de atividade alta e ocorrem em relevo suave ondulado sob vegetação de Cerrado. Na região de Carolina - MA se originam também de siltitos, têm argila de atividade alta e são álicos e ocorrem em relevo desde plano e suave ondulado.

Outros tipos de Cambissolos ocorrem dispersos pela área, geralmente em regime subdominante, ocupando posições de encostas (relevo acidentado).

Os perfis apresentados a seguir são representativos dos solos desta classe, sintetizando as principais características morfológicas, físicas e químicas dos mesmos.

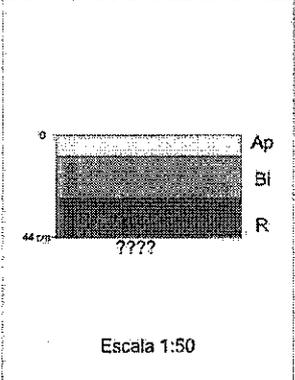
Perfil 2	
FONTE	
Classificação	CAMBISSOLO ÁLICO - argila de atividade alta, A moderado plíntico, textura média
Localização	A 2 Km do trevo norte de Carolina no sentido de Estreito Carolina - MA.
Situação e declive	Local plano com 1-2% de declive, sob pastagem. 7° 18' 38"S e 47° 26' 27" WGr.
Litologia e formação geológica	Siltitos e folhelhos. Formação Pedra de Fogo.
Material originário	Siltitos
Pedregosidade	Não pedregosa
Rochosidade	Não rochosa
Relevo: local	Plano
Regional	Plano e suave ondulado



Centro de Apoio ao
Desenvolvimento
Tecnológico



Água & Terra
Consultoria e Planejamento Ambiental

Drenagem	Imperfeitamente drenado
Erosão	Ligeira
Cobertura vegetal	Cerrado Tropical Subcaducifólio e Campo Cerrado
DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA	
 <p>0 Ap Bi R 44 cm+ ???? Escala 1:50</p>	<p>Ap: 0-15cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); franco-argiloso/argila; fraca a moderada média e grande granular e pequena blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.</p> <p>Bi: 15-44cm; bruno-amarelado claro (10YR 6/4, úmido) com mosqueado comum pequeno e distinto vermelho (2,5YR 4/8) e difuso amarelo avermelhado (5YR 6/8); franco-argiloso/argila; fraca a moderada média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, plástico e pegajoso.</p> <p>R: 44cm+; siltito.</p> <p>Raízes: Finas, comuns no Ap e raras no Bi.</p>

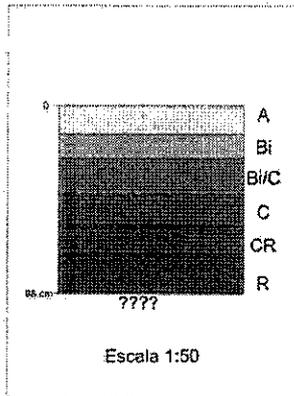
Perfil 3	
FONTE	
Classificação	CAMBISSOLO EUTRÓFICO argila de atividade alta A moderado vértico textura argilosa.
Localização	A 54 Km de Araguaína para Filadélfia. Araguaína – TO.
Situação e declive	Local com 4 - 5% de declive, sob Cerrado. 7° 29' 04"S e 47° 52'40" WGr.
Litologia e formação geológica	Siltitos e folhelhos. Formação Pedra de Fogo.
Material originário	Siltitos
Pedregosidade	Não pedregosa
Rochosidade	Não rochosa
Relevo: local	Suave ondulado
Regional	Suave ondulado e ondulado.
Drenagem	Moderadamente drenado.
Erosão	Moderada
Cobertura vegetal	Cerrado Tropical Subcaducifólio e Campo Cerrado
DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA	

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Prédio da Engenharia SG 09 1º andar Sala 00 CEP -- 70919-970.

Fone 61 33071197 / 99774574 / 99642950

<http://www.aguaterraconsultoria.com.br>

e-mail: aguaterra@cdt.unb.br



A: 0-18cm; bruno-acinzentado muito-escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argilo-arenoso; moderada a forte média blocos subangulares; duro, friável, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e gradual.

Bi: 18-34cm; bruno forte a bruno (10YR 4/3, úmido) com mosqueado comum pequeno e distinto vermelho (2,5YR 4/6); argila; moderada a forte média blocos subangulares; duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e gradual.

Bi/C: 34-56cm; bruno (10YR 5/3, úmido) com mosqueado comum pequeno e difuso vermelho (2,5YR 5/8); argila; prismática e secundariamente moderada a forte média e grande blocos subangulares; muito duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e clara.

C: 56-79cm; bruno-acinzentado (2,5Y 5/2, úmido) com mosqueado comum pequeno e difuso vermelho (2,5YR 5/8); argila; prismática e secundariamente moderada a forte média e grande blocos subangulares; muito duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e clara.

CR: 79-98cm; bruno-acinzentado (2,5Y 5/2, úmido) com mosqueado comum pequeno e distinto vermelho fraco (10R 4/3); franco-argiloso; laminar prismática; muito duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; transição plana e abrupta.

R: 98cm+; bruno fraco (10R 5/3), siltito.

Raízes: Finas, comuns no A e Bi e raras nos demais.

Obs.: Presença de slickensides nos horizontes C e CR. Detectou-se presença de plintita em pequena quantidade no horizonte C.

3.3.3 NEOSSOLOS FLÚVICOS

São solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, formados em depósitos aluviais recentes, nas margens de cursos d'água. Apresentam apenas um horizonte A sobre camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si.

São bastante heterogêneos quanto à textura e demais propriedades físicas e químicas, que podem variar em um mesmo perfil entre as diferentes camadas, tendo em vista sua origem de fontes diversas. Trata-se de sucessivas deposições de natureza aluvionar, relativamente recentes, onde ainda não houve tempo para desenvolvimento completo do perfil do solo. Esses fatores favorecem a diversificação quanto à erodibilidade, porém de maneira geral apresentam razoável vulnerabilidade à erosão laminar, por apresentarem camadas de diferentes permeabilidades internamente. São muito susceptíveis à erosão em profundidade, por se tratar de camadas descontínuas e muito distintas entre si.

Geralmente, constituem os diques marginais ao leito dos rios e quase sempre estão cobertos por vegetação florestal (Mata de Galeria).

3.3.4 NEOSSOLOS LITÓLICOS

Solos minerais não hidromórficos, pouco desenvolvidos, muito rasos ou rasos, com horizonte A

sobre a rocha ou sobre horizonte C. Apresentam textura variável, freqüentemente arenosa ou média e são também heterogêneos quanto às propriedades químicas. Sua origem relacionada a arenitos e siltitos, e ocorrem sob vegetação de Campo Cerrado e de Cerrado.

As fases pedregosa e/ou rochosa são comuns para esta classe de solos que na área de estudo ocorrem em relevo que varia de forte ondulado a escarpado.

A pequena espessura do solo, a freqüente ocorrência de cascalhos e fragmentos de rocha no seu perfil, a grande susceptibilidade à erosão, mormente nas áreas de relevo acidentado que são as mais comuns de sua ocorrência, são as limitações mais comuns para este tipo de solo. A susceptibilidade à erosão é altíssima em qualquer dos casos e é determinada basicamente pela ocorrência do substrato rochoso à pequena profundidade. Este fato é agravado pela sua ocorrência preferencialmente em locais declivosos.

Preferencialmente, ocupam locais com forte declividades, geralmente encostas de morros. A nível de dominância, estão mapeados de forma dispersa por praticamente toda a área.

Para esse relatório foram somente utilizados os dados de neossolos flúvicos, pois de acordo com o mapa pedológico fornecido com o EIA/RIMA da UHE Estreito, onde todas as áreas urbanas afetadas pelo reservatório estão localizadas em coberturas caracterizadas por neossolos flúvicos.

3.4 PROPRIEDADES HIDROGEOLÓGICAS

A tabela a seguir apresenta um resumo do conjunto de dados hidrogeológicos de outras barragens, que foram utilizados para obtenção dos dados que geraram a simulação e delimitação das áreas de risco.

Tabela 1. Parâmetros de entrada para alimentação do modelo de fluxo nas áreas urbanas afetadas pela formação do lago da UHE Estreito, com base nos dados de áreas urbanas para UHE Peixe-Angical e UHE São Salvador. Dados da estação meteorológica do INMET de Carolina - Ma.

Propriedade		UHE Peixe-Angical	UHE São Salvador	Valores Utilizados
Condutividade hidráulica da Zona Não Saturada (m/s)	X	$6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
	Y	$6 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}
	Z	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}
Condutividade da Zona Saturada (m/s)	X	$3 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
	Y	$3 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$	10^{-7}
	Z	$5 \cdot 10^{-8}$	$6 \cdot 10^{-8}$	10^{-8}
Condutividade da Camada inferior (m/s)		10^{-12}	10^{-11}	10^{-11}
Evapotranspiração (mm)				316
Recarga (mm/ano)				163



UnB

Centro de Apoio ao
Desenvolvimento
Tecnológico



Água & Terra
Consultoria e Planejamento Ambiental

Propriedade	UHE Peixe- Angical	UHE São Salvador	Valores Utilizados
Porosidade efetiva (%) em neossolos flúvicos	16	14	15
Precipitação Anual (mm)			825

4 ANÁLISE DE ERROS ASSOCIADA À INFORMAÇÃO

A seguir os itens da análise de erros associados, bem como, suas características.

4.1 TOPOGRAFIA

As informações enviadas são somente bases aerofotogramétricas restituídas com base em uma rede de pontos cotados em escala 1:25.000, sendo necessário um adensamento de pontos cotados em todas as áreas urbanas, que aumente para uma escala 1:10.000. Contudo, para as medidas iniciais não apresentam grande problema visto que, o máximo exagero vertical nas áreas urbanas é de no máximo 25 metros em perfis de 1.000 metros de comprimento, o que gera uma declividade média de 1,43°. Inicialmente, esse erro pode atribuir superfícies piezométricas mais planas, mas em algumas áreas urbanas esse erro deverá ser diminuído para melhor descrição da calha do rio, mais precisamente onde a elevação do reservatório ocorrerá nessas calhas.

4.2 HIDROGEOLOGIA

Foi dividida em: pedologia caracterizada pelas coberturas de solos, que formam um aquífero livre e homogêneo em todas as áreas urbanas; geologia que define os aquíferos sempre saturados formados pelas unidades geológicas, predominantemente, associadas a unidades da Bacia Sedimentar do Parnaíba; e propriedades hidrogeológicas que foram obtidas de aquíferos similares de outras regiões.

4.2.1 PEDOLOGIA

A pedologia não possui mapeamento em escala de detalhes, bem como, não possui nenhuma análise geotécnica dos solos da área em estudo. A importância da amostragem de solo é a obtenção de parâmetros de resistência dos solos, que compõem a área em estudo, para se prever a estabilidade das construções.

Devido ao solo, na sua condição natural, apresentar inerente variação de suas propriedades químicas e físico-hídricas (textura, estrutura, densidade e retenção de água); as coletas de amostras de solos podem ser: amostras deformadas e indeformadas. As amostras indeformadas são importantes porque mantêm a estrutura do solo, mantêm o estado de tensões mais próximo da realidade, bem como, a umidade natural. Essas características são fatores determinantes para a

melhor análise do comportamento mecânico-hidráulico dos solos analisados.

Para retirada de amostras, existe necessidade de uma locação preliminar de pontos – além do levantamento prévio de campo, a locação é feita com base nos mapas preliminares de declividade, pedologia e geologia, além da acessibilidade aos pontos.

Para a delimitação de áreas de risco, nas regiões urbanas adjacentes ao reservatório, é indispensável a coleta de amostra indeformada para realização de ensaios de colapso, de cisalhamento e estudo de erodibilidade com ensaios *pin-hole* e *crump test* nos solos da região.

Com as análises dos resultados laboratoriais das amostras indeformadas, será possível uma melhor visualização do comportamento dos solos da região, bem como a identificação de possíveis solos colapsáveis, que podem ser problemáticos com a elevação do nível freático com a construção da barragem, ocasionando problemas de recalques nas fundações das construções. Esses ensaios definirão os parâmetros de competência de cada solo e assim pode-se definir as áreas de risco com precisão.

A análise do erro associado está correlacionada com a não obtenção de dados dos tipos de solos da região, bem como suas propriedades mecânicas e hidráulicas. Para maior segurança, a área de risco foi determinada a média dos parâmetros mais restritivos de solos de outras áreas.

4.2.2 GEOLOGIA

A geologia não possui nenhum mapeamento em detalhe, com escala de 1:10.000, para uma melhor delimitação das fácies sedimentares que ocorrem associadas a cada unidade mapeada da bacia Sedimentar do Parnaíba, já em mapeamento de maior detalhe pode ser possível uma diferenciação entre as coberturas quaternárias, neossolos e as formações sedimentares da bacia, as quais apresentam índices de capilaridade da ordem de 10X de diferença.

A segunda dificuldade se deve à ausência de mapeamento geológico com sondagens para determinação da distribuição espacial das camadas, que formam as unidades deposicionais em cada região urbana, a não existência de laudos de sondagens levou a adoção de um modelo conceitual muito mais simplificado, que pode não representar a realidade geológica local e também pode apresentar variações nas compartimentações dos aquíferos livres; vadosos e saturados. Essa ausência de sondagens pode também ser prejudicial visto que camadas confinantes podem não ter sido levadas em consideração nesses modelos.

4.2.3 PROPRIEDADES HIDRÁULICAS

As propriedades hidrogeológicas foram apresentadas no item 3.4 e foram divididas em: condutividade na zona vadosa e zona saturada, climatologia, geometria.

Levando-se em conta que os neossolos flúvicos na região não possuem nenhum tipo de análise

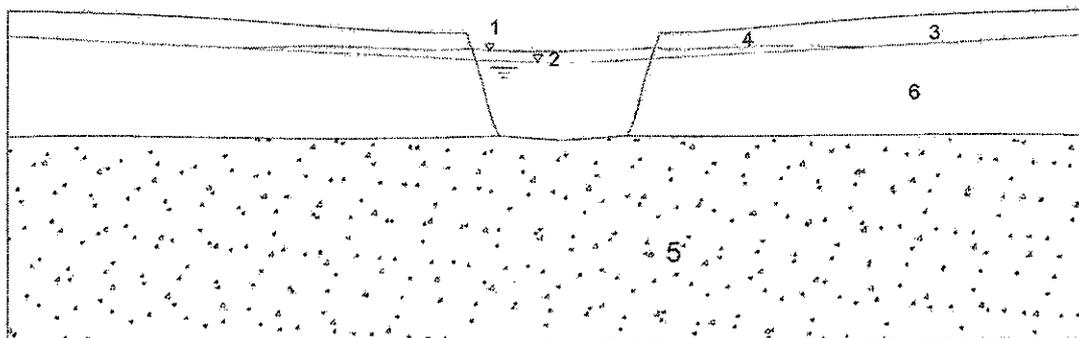
quantitativa quanto as propriedades de condutividade hidráulica, porosidade efetiva em condições saturadas e não saturadas, bem como a geologia local carece desse tipo de informação os dados utilizados são compilações de ensaios realizados em outras regiões em solos similares. A utilização dessas informações compiladas inicialmente pode ser considerada para um dimensionamento do sistema, porém podem gerar interpretações erradas.

Em relação à superfície piezométrica, a ausência de dados de pontos de monitoramento (piezômetros instalados, poços e medidas de cisternas), e o monitoramento contínuo de um hidrograma completo leva a utilização de superfícies constantes sem ausência de recarga temporal e tempo descarga o que ocorre em todos os aquíferos da região. Esses problemas levam a simulação de dados de forma muito simplificada que não representam uma realidade confiável.

5 MODELO CONCEITUAL

O modelo conceitual utilizado para a obtenção de uma solução para o problema proposto foi extremamente simplificado visto a carência de dados iniciais existentes. O modelo consiste na suposição de um aquífero livre não saturado caracterizado por neossolos flúvicos presentes na região; um aquífero saturado livre de dupla porosidade caracterizado pelas unidades geológicas, que ocorrem na região; uma superfície piezométrica simples influente no Rio Tocantins e o surgimento de um reservatório que um primeiro período será influente no aquífero e depois passará a ser efluente dos aquíferos.

O modelo proposto para todas as áreas urbanas pode ser observado na figura abaixo:



LEGENDA:

- | | | |
|---------------------------------|---|----------------------------------|
| 1 - Nível final do reservatório | 3 - Superfície Piezométrica original | 5 - Aquífero de dupla porosidade |
| 2 - Nível do Rio Tocantins | 4 - Superfície Piezométrica elevada pelo reservatório | 6 - Aquífero livre isotrópico |

Figura 3. Esquema demonstrativo do modelo conceitual utilizado em todas as áreas urbanas

Para a solução de definição de áreas de risco em regiões urbanas, foram utilizadas as condições onde os nove reservatórios passariam a interagir com o aquífero na seguinte relação; o aquífero é

influyente no reservatório.

6 SOLUÇÃO DOS MODELOS APLICADOS ÀS CIDADES

A solução dos modelos foi associada a equações de posicionamento contínuo em perfil com base em dados de profundidade da superfície piezométrica.

Foi realizado um estudo para se determinar a posição da linha piezométrica por meio da análise unidimensional de um aquífero confinado com base em um único ponto. A condutividade hidráulica do aquífero pode ser considerada como homogênea e isotrópica. Primeiramente, foi calculada a posição da linha piezométrica utilizando a equação abaixo, com as condições de contorno: para $x = 0$ o nível piezométrico é h_n e para $x = L$ o nível piezométrico é h_{n+1} .

$$- \int_{h_n}^{h_{n+1}} dh = \frac{q}{K} \int_0^{L_n} \frac{dx}{\frac{b_{n+1} - b_n}{L_n} x + b_n}$$

$$h_{n+1} = h_n - \frac{q}{K} \frac{L_n}{b_{n+1} - b_n} \ln \frac{b_{n+1}}{b_n}$$

Onde:

K = condutividade hidráulica no ponto.

h = superfícies piezométricas

q = fluxo subterrâneo

b = espessura do aquífero

L = distância entre os pontos.

A posição da linha piezométrica após o enchimento do reservatório foi calculada pela equação abaixo:

$$a = \frac{K h_{av}}{S} = \frac{T}{S}$$

Equação geral para análise de fluxo transiente

$$a \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{a \partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{w}{S} = \frac{\partial h}{\partial t}$$

A equação geral do fluxo bidimensional transiente (isto é, o fluxo muda com o tempo) é derivada pela análise do volume de controle, porém com as simplificações realizadas por *Boussinesq* foi possível realizar uma linearização, transformando o estudo bidimensional em unidimensional.

A equação linear de *Boussinesq* para fluxo subterrâneo unidimensional é:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = a \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{w}{S}$$

Onde:

$$a = \frac{K h_{av}}{S} \Rightarrow \text{difusão hidráulica}$$

h_{av} = média da espessura do aquífero

K = condutividade hidráulica

S = armazenamento

h = nível piezométrico

x = distância horizontal

w = recarga hidráulica da precipitação

Utilizando-se as duas equações acima descritas foi calculada a posição das superfícies piezométricas em dois perfis em cada região urbana e calculada também a elevação máxima das superfícies piezométricas devido ao surgimento do reservatório da UHE Estreito.S

7 RESULTADOS

Os resultados aqui apresentados foram calculados por meio da formulação já apresentada, e consiste no cálculo do levantamento do lençol freático após o enchimento do reservatório.

As áreas de risco aqui apresentadas foram calculadas por meio dos pontos de medidas piezométricas, sendo que estes foram passados pela CESTE. O cálculo das áreas de risco consiste no cálculo da distância que corresponde à elevação de 25% do nível atual do lençol freático.

Para cada cidade foram traçados dois perfis e calculadas a distância em que o nível do lençol freático subiria 25% do nível atual, das duas distâncias obtidas para cada perfil foi escolhida como a distância da área de risco aquela que apresentou o maior valor, por motivos de segurança foi adotado um coeficiente de segurança 2, e portanto, a distância calculada foi assim dobrada para a determinação das áreas de risco das áreas urbanas.

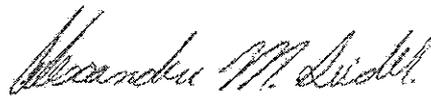
Os resultados estão apresentados em forma de mapas, que se encontram anexos a este relatório, bem como o posicionamento de cada perfil nas regiões urbanas.

8 SISTEMAS DE MONITORAMENTO AUTOMÁTICO

O sistema de monitoramento proposto para a rede piezométrico da AHE Estreito será totalmente automatizada com sensores programados para aquisição de 15 em 15 minutos e capacidade de memória para 200 dias, com isso o resgate de dados será semestral com apresentação dos dados em relatórios compilados um mês após o resgate. Além dos dados de nível piezométrico os sensores farão aquisição de dados de temperatura.

9 INTEGRAÇÃO DOS DADOS DOS DOIS PROGRAMAS

O monitoramento hidrogeológico é de vital importância para o mapeamento de instabilidade geotécnica relacionada ao monitoramento de pontos propensos a instabilização de encostas marginais, por esse motivo o monitoramento das condições conjuntas dos dados de ser em período semelhante e superior a três anos após o fechamento do reservatório. Sugerimos que a duração dos dois programas seja de 81 meses para monitoramento das condições geotécnicas após o fechamento e estabilização das novas condições de fluxo hidrogeológico



Coordenador Geral
Alexandre Matos Seidel