

EIXOS TEMÁTICOS: 1 E/OU 8

IMPERMEABILIZAÇÃO DE BACIAS DE CONTENÇÃO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO, POR OBRAS DE TERRA, MEDIANTE EMPREGO DE ARGILOMINERAIS ESPECIAIS

PAULO DE TARSO Pereira Ribeiro

M.Sc. Engenheiro Civil, Docente do Curso de Patologia de Estruturas de Concreto Armado e Técnicas de Recuperação do SENAI, membro da ABECE, Diretor do escritório de consultoria e diagnóstico de estruturas TARSO Engenharia Ltda, Rio de Janeiro, RJ.
Correio eletrônico: tarsoengenharia@tarsoengenharia.com.br

HALAN Vasconcelos de Melo

Geógrafo – estudante, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
Colaborador do escritório TARSO Engenharia LTDA.
Correio eletrônico: halan_melo@yahoo.com.br

1.Introdução

O presente trabalho foi evoluído para fins de conhecimento da viabilidade técnica de se implementar impermeabilização de bacias de contenção de produtos derivados de petróleo mediante emprego dos solos naturais já utilizados para sua construção, contemplando-se procedimentos de trabalho de camadas de solo e eventuais adições de argilominerais visando atendimento aos requisitos previstos na Norma ABNT NBR-7505-1 – “Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis”, de agosto de 2000, bem como expor as conclusões a que se chegou das investigações implementadas de forma a oferecer suporte adequado à solução dos problemas de impermeabilização destas estruturas.

2.Conceitos de solo

“O resultado final do processo de intemperismo é a formação do solo” ADAS (1998).

“O solo é resultante da combinação de climas, organismos, material de origem (rocha) e tempo” RESENDE et al (2002).

“O solo é algo dinâmico que teve a sua formação iniciada a partir de uma rocha que se desagregou mecanicamente e se decompôs quimicamente, até formar um material solto que, com o passar do tempo, se espessou, modificando-se e individualizando-se. (LEPSC 2002)

2.1.Aspectos gerais

O solo é o mais versátil material de construção disponível para a Engenharia Civil, sendo, normalmente, alternativa economicamente atrativa, bastando para tal, definir as propriedades mecânicas necessárias ao projeto de Engenharia e selecionar os materiais (tipos de solos), procedimentos e metodologias para que estes ofereçam os resultados desejados.

Há muito é conhecida a utilização de solos na construção de reservatórios de água, tais como açudes, barragens, canais, etc.

De conhecimento menos difundido, todavia, é o emprego de solos para construção de estruturas de contenção e armazenamento também de fluidos industriais, tais como óleo combustível, gases liquefeitos (GLP, Gás natural, dentre inúmeros outros), em função das propriedades específicas dos fluidos tais como os níveis de tensão superficial entre a água (existente ou mantida no solo) e o líquido contido (tensão interfacial), ou mesmo pelo congelamento da água intersticial do solo por líquidos resfriados contidos.

Um dos mais bem sucedidos empregos de estruturas de solo para contenção de fluidos industriais, se deu na iniciativa da *Creole Petroleum Corporation* na estocagem de óleo combustível em um reservatório de 1.750.000 m³, à um custo da ordem de 10% daquele usual com o emprego de tancagens metálicas (Fig. 1).

Diversos autores pesquisados apontam para o fato de que hidrocarbonetos não solúveis em água ao encontrarem barreira de solo em morfologia e granulometria específica, adequadamente compactado, saturado, de baixa permeabilidade, não permeiam o meio, apenas ocupando eventuais vazios, mesmo para gradientes (relação entre a altura da coluna do fluido e a altura da camada de retenção) expressivos. A falha na contenção não se dá por permeabilidade e sim pela ruptura em função do aumento excessivo do gradiente, atingido o limite de resistência do material.

Para hidrocarbonetos solúveis (álcool, p.ex.) encontram-se estudos onde se conclui que em diluições inferiores à 70% em relação à água, permeiam com menor velocidade que esta.



Figura 1: Estrutura de contenção e armazenamento de óleo combustível em barragem de terra - *Creole Petroleum Corporation*.

2.2. Granulometria, natureza e coeficiente de permeabilidade

A resposta de um solo à percolação da água é uma função dos parâmetros físicos do material, tais como, a natureza do solo e de sua granulometria (estrutura, tamanho das partículas e composição), grau de compactação (índice de vazios), grau de saturação, posto ser o parâmetro impermeabilidade uma decorrência da dificuldade de água permear o meio, sendo tanto maior quanto maior for a resistência que o material oferecer.

Os solos naturais podem apresentar coeficientes de permeabilidade variando de alguns cm/s (unidade mais usual) até taxas da ordem de 10^{-10} cm/s, o que é considerado praticamente como impermeável.

Para fins de classificação, pode-se adotar a distribuição contida na tabela 1:

Tabela 1: Classificação do grau de permeabilidade dos solos

Grau de permeabilidade	Índice de permeabilidade (cm/s)	Tipos característicos de solos naturais
Alto	Maior que 10^{-1}	Pedregulhos, Areias grossas fofas

Médio	Entre 10^{-1} e 10^{-3}	Areias médias a finas
Baixo	Entre 10^{-3} e 10^{-5}	Areias finas, Siltes, Argilas
Muito baixo	Entre 10^{-5} e 10^{-7}	Siltes argilosos, argilas finas
Praticamente	Menor que 10^{-7}	Argilas finas, Argilas bentoníticas

impermeável

Terzaghi & Pek, (Apud **LAMBE**, 1979, P. 287)¹

2.3. Adições e aditivos – conceitos gerais

A utilização de adições e aditivos, aqui diferenciados pela natureza da mistura, ou seja, os primeiros sendo materiais granulares que visam a estabilização mecânica dos solos (cimento, cal, outros tipos de solos) e os segundos, materiais que visam alterar as propriedades químicas dos solos ou gerar comportamentos físicos diferenciados tais como as propriedades de percolação, ou repulsão de determinados fluidos (materiais betuminosos, delíquescientes, resinas orgânicas etc.).

Da bibliografia consultada, observa-se que adições reativas como cimento e cal, promovem melhorias nas propriedades mecânicas com vistas à implementos na capacidade de carga dos solos, todavia, é citado com freqüência o emprego destes aglutinantes também para construção de elementos filtrantes (notadamente a cal), quando em solos argilosos finos onde se busque a drenagem da água retida.

Encontram-se ensaios com adição de cal, em que se obteve aumentos sensíveis no índice de percolação de argilas.

A adição de cimento do tipo Portland, em específico, pode introduzir melhorias na impermeabilidade de solos, todavia, é uma função do tipo deste, não sendo uma regra geral. Encontram-se estudos em argilas, em que se obteve diminuição no índice de percolação de até 10^{-3} cm/s.

Adições que afetem a composição dos solos, o tamanho dos grãos e, conseqüentemente, curva granulométrica, tais como misturas de solos ou adição de argilas finas (bentonita, por exemplo.) via de regra, conferem resultados positivos na melhoria dos parâmetros de permeabilidade.

Adições de produtos químicos aos solos, tais como Látex SBR, Silicatos de sódio, Ligninas de madeira, Metil celulose, emulsões asfálticas, dentre outras, podem implementar reduções da permeabilidade à água da ordem de 10^{-3} ; à dosagens da ordem de 0,2 a 0,2% sobre o peso do solo. Tais adituações são

¹ Tabela extraída de LAMBE, Withman **Soil Mechanics**, 1979.

decorrência dos tipos de solo e do fluido a ser permeado, demandando estudos específicos para a definição dos melhores resultados.

3. Aplicabilidade de soluções em concreto armado para fins de impermeabilização de bacias de contenção

Busca-se neste capítulo, lançar luz sobre a aplicabilidade de soluções em concreto armado para fins de impermeabilização de bacias de contenção, no tocante às propriedades do material concreto, e às exigências que o problema requer.

3.1. Permeabilidade do concreto – material

O concreto de cimento Portland enquanto material, independente das circunstâncias de existência em uma obra (forma, dimensões, espessura, armadura, etc.) possui, dependendo de suas características de dosagem e cuidados de preparo e lançamento, características moderadamente satisfatórias quanto à capacidade de conter água, apresentando coeficientes de permeabilidade que podem variar de 10^{-4} a 10^{-10} cm/s.

Pode-se adotar a seguinte classificação para a permeabilidade do material concreto:

Tabela 2: Classificação genérica do grau de permeabilidade dos concretos.

Grau de permeabilidade	Índice de permeabilidade (cm/s)	Características básicas do concreto
Alto	Maior que 10^{-4}	Concretos de baixo desempenho, com resistências à compressão menores que 15 MPa (consumo de cimento ≈ 250 Kg/m ³).
Médio	Entre 10^{-4} e 10^{-6}	Concretos de baixo desempenho, com resistências à compressão até 25 MPa (consumo de cimento ≈ 320 Kg/m ³).
Baixo	Entre 10^{-6} e 10^{-8}	Concretos de médio desempenho, emprego de aditivos minerais à base de sílica ativa e superplastificantes, com resistências à compressão até 60 MPa (consumo de cimento ≈ 400 Kg/m ³).
Praticamente	Menor que	Concretos de alto desempenho, emprego de aditivos

impermeável 10^{-8} minerais à base de sílica ativa e superplastificantes, e elevado consumo de cimento ($\approx 500 \text{ Kg/m}^3$) com resistências à compressão superiores a 60 MPa, até o limite operacional de 90 MPa.

É referenciado na NBR 12190 – “Seleção de impermeabilização” (situação atual cancelada) que, para fins de contenção de água, o concreto de reservatórios poderá ser considerado de razoável impermeabilidade se dosado com fator água-cimento (a/c – relação entre o peso de água de amassamento e a quantidade de cimento por metro cúbico) $< 0,4$, o que conduz à concretos com teores de cimento da ordem de 370 a 400 Kg/m^3 e resistências mecânicas à compressão da ordem de 40 MPa.

Pode-se atribuir como fenômeno gerador da permeabilidade do concreto a formação de vazios e porosidade capilar ainda quando da acomodação do concreto fresco em seu leito de lançamento ou forma, o que se dá pela migração dos sólidos para o fundo e a conseqüente movimentação da água de amassamento para a parte superior, o que se conhece como fenômeno de exsudação.

3.2.Retração do material concreto

Embora seja possível a obtenção de concreto praticamente impermeáveis, uma de suas principais características, a retração, somente pode ser combatida ou minimizada mediante detalhamentos de projeto adequados.

A retração do material concreto é um fenômeno complexo, cuja gênese se atribui a mais de 10 processos distintos ao longo de seu amadurecimento, destacando-se entre tais, as retrações iniciais (hidráulica e plástica) responsáveis pelas primeiras e maiores fissuras que se observa recorrentemente em obras de concreto.

A retração hidráulica é decorrência da evaporação da água utilizada no amassamento do concretos, somente podendo ser minimizada com a eliminação de quantidades expressivas desta água de amassamento, ou seja, impondo reduções bruscas no fator água-cimento (ver definição acima), o que incrementa o consumo de cimento, levando à resistências superiores a 50MPa.

A retração plástica, é condicionada, entre outros, pela natureza e morfologia dos agregados, bem como de sua dosagem adequada. Sua minimização

demanda seleção cuidadosa dos agregados (areia e britas), bem como dosagem racional e controle tecnológico adequado no preparo e lançamento do concreto.

3.3. Retração em obras de concreto

Em face aos problemas de retração, as obras de concreto devem ser programadas para que a formação de fissuras seja mínima, o que demanda pequenas dimensões das peças de concreto.

Uma das formas mais eficientes para o combate à fissuração é a utilização de taxas de armadura superiores às requeridas pelo projeto mecânico das peças, o que implica em elevação dos custos. Visando a eliminação da abertura de fissuras de retração, adentra-se ao campo do concreto com armaduras protendidas, o que somente se justifica em obras de arte rodoviárias ou situações especiais, embora seja possível implementar-se pavimentações mediante esta tecnologia.

3.4. Considerações sobre a aplicabilidade em contenção de bacias

Em face aos princípios e limitações à que o material concreto e as obras em concreto estão submetidas, a utilização desta tecnologia para construção ou impermeabilização de bacias de contenção, com parâmetros aceitáveis de permeabilidade e continuidade, far-se-ia necessário reestudar as determinações de geometria consagradas para a construção destes elementos em terra, qual seja, as alturas máximas dos diques e a necessidade de garantia do volume contido, posto que os custos montariam valores muito superiores ao que hoje se pratica.

Apenas em situações em que se armazene em tanques de pequenas dimensões e onde as alturas de dique possam gerar volumes contidos que otimizem a superfície de contenção, pode-se avaliar a possibilidade de emprego da impermeabilização em elementos de concreto armado, posto que se poderiam implementar as premissas para a eficiência da obra, quais sejam:

1. Resistências mecânicas do concreto superiores a 50 MPa;
2. Emprego de altas taxas de armadura passiva, ou mesmo armaduras ativas;
3. Ausência ou minimização de juntas de construção ou dilatação;

Simplem pavimentações em plaquemos de concretos de baixos desempenhos (15 MPa) não atenderiam à necessidade de contenção de eventuais líquidos em derrames acidentais, face à impossibilidade de se contar com uma camada homogênea, contínua e de coeficientes de permeabilidade adequados.

4. Aplicabilidade de soluções em solos para fins de impermeabilização de bacias de contenção

De forma a verificar a aplicabilidade das soluções em obras de terra para a impermeabilização de bacias de contenção tanques de armazenamento de derivados de petróleo, procedeu-se à programa experimental laboratorial com vistas ao atendimento da norma de referência ABNT – NBR 7505-1 2000.

Abaixo se relatam as investigações evoluídas.

4.1. Programa experimental – estudo de caso

O programa experimental, abaixo apresentado, foi desenvolvido para atendimento às necessidades de uma companhia de distribuição e armazenamento de derivados, d'onde, os dados de campo, registros de documentação de sondagens quer em sua natureza ou quantitativos, que serão citados ou referenciados, bem como a escolha dos materiais remete ao caso específico.

Foi feito levantamento dos perfis de solos documentados em arquivo técnico (folhas de sondagens e desenhos), totalizando 55 unidades de armazenamento de derivados de petróleo com o objetivo de identificação das camadas, existência de aterro, posicionamento do nível do lençol freático, capacidade de carga das camadas. Os dados foram devidamente planilhados para que se pudesse proceder à análise técnica da adequabilidade de implementação dos ensaios de permeabilidade e quanto à maior ou menor facilidade de se obter sucesso nas obras de impermeabilização dos solos com os materiais locais;

4.2. Ensaio de laboratório

O programa experimental montado com o auxílio do pesquisador Prof. Willy Lacerda do departamento de geotecnia da COPPE/UFRJ, consistiu de ensaios de laboratório (compactação e permeabilidade com água) em amostras compactadas de 4 solos distintos contemplando adições de produtos reativos (Fig. 2).

Após a análise dos perfis de sondagem conforme acima descrito, procedeu-se à seleção de tipos de solos que mais representassem o universo investigado, passível de melhorias com pouca intervenção na natureza dos solos, tendo sido escolhido, com base nesta análise, os seguintes tipos:

Areia média - bacia 1;

Areia fina siltosa (solo da bacia de Duque de Caxias) - bacia2;

Silte argiloso (solo marrom) - bacia 3;

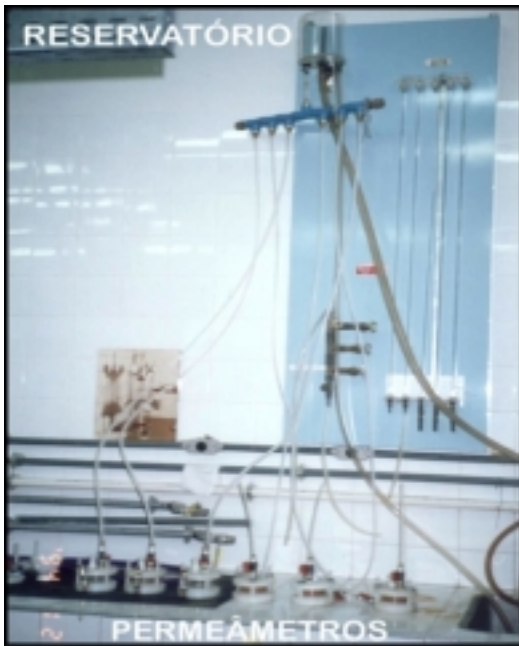
Argila siltosa (solo vermelho) - bacia 4;

NOTA: Na execução dos ensaios, o material da bacia 2, caracterizou-se como argila siltosa e não areia fina.



Figura 2: Amostras dos solos ensaiados das bacias 1, 2, 3 e 4.

Para agilização da execução dos ensaios de permeabilidade encomendou-se a fabricação de permeômetros especiais, de modo a permitir a execução de até seis (6) ensaios simultaneamente com menor velocidade de estabilização (figs. 3 e 4).



Figuras 3 e 4 – Permeômetro especial de menores dimensões que o indicado nas normas de referência (ABNT NBR - 13292 – 1995 e ABNT NBR-14545 – 2000) para maior rapidez dos ensaios.

Em decorrência da evolução dos trabalhos, de reuniões com os pesquisadores do departamento de Geotecnia COPPE-UFRJ, notadamente o Prof. Casanova, adotou-se uma série de alterações em relação ao programa original tendo-se optado pela melhor adequação do escopo resumido à seguir:

1. A adição de materiais que envolvem reações pozolânicas (cimento, escória) requer a presença de uma quantidade mínima de finos para ter efeito e, embora resultem em melhoria das propriedades mecânicas da mistura, e podem, em algumas situações, acarretar um aumento da permeabilidade, ao contrário do que se deseja, conforme levantado durante a fase de revisão bibliográfica e concensuado nas etapas de evoluções com a equipe técnica do laboratório. Este tipo de adição foi, portanto, descartado, após as avaliações mantidas;
2. Adotou-se estratégia de estudo da adição de argila bentonítica que mostrou conferir o efeito desejado, sendo particularmente interessante no caso do solo arenoso, mas também pode ser benéfica em solos mais finos, caso seja necessário reduzir ainda mais o coeficiente de permeabilidade.

3. A possibilidade de utilização de aditivos químicos como a lignina de madeira e outros, evoluída nestas reuniões com o corpo docente do departamento de geotecnia, pode ser efetiva em materiais que contenham alguma argila, tendo em geral um efeito dispersante, que é o agente da redução da permeabilidade.
4. Optou-se pela finalização dos ensaios com a adição de bentonita para posterior avaliação do emprego de aditivos químicos, em face à necessidade de solicitação de mais amostras e do tempo adicional para os ensaios. É preciso ressaltar que para cada nova mistura realizada, é preciso determinar uma nova curva de compactação para definir a condição de moldagem (densidade e umidade) dos corpos de prova dos ensaios de permeabilidade.
5. Para fins de enquadramento aos parâmetros especificados na ABNT NBR-7505-1/2000, relativamente à altura da coluna d'água referida para o coeficiente de permeabilidade exigido, adotou-se alturas de coluna d'água em laboratório que gerassem gradientes hidráulicos superiores às premissas adotadas após as evoluções técnicas, ou seja, condições mais desfavoráveis que a situação de campo pretendida de 3 metros de coluna (H) para 30 cm de barreira de impermeabilização (h), neste caso gerando gradiente hidráulico (H/h) igual a 10.

Abaixo, observa-se tabela 3:

Tabela 3 - Resumo dos ensaios de percolação

SOLO	ENSAIO DE PERMEABILIDADE (VALORES)				Coef. de permeabil. k (cm/s)	Molhagem da amostra
	ANTES	APÓS				
	ω_o (%)	S_o (%)	ω_f (%)	S_f (%)		
Areia	5.0	22.64	17.34	95.59	4.31×10^{-3}	ω_{ot}
Pura	6.9	37.44	19.79	107.38	4.67×10^{-3}	$\omega_{ot} + 2\%$
(Bacia 1)	3.0	16.24	18.05	97.73	2.55×10^{-3}	$\omega_{ot} - 2\%$
Areia +	8.0	38.88	17.00	82.63	1.41×10^{-4}	ω_{ot}
5%	9.9	46.69	16.31	92.20	1.37×10^{-5}	$\omega_{ot} + 2\%$
De	6.0	28.25	17.66	99.73	9.35×10^{-5}	$\omega_{ot} - 2\%$
Bentonita						
(Bacia 1)						

Duque de Caxias	18.76	96.00	25.57	130.87	8.8×10^{-7}	ω_{ot}
	21.17	98.33	26.35	152.06	1.31×10^{-6}	$\omega_{ot} + 2\%$
	17.07	78.34	24.86	142.38	1.09×10^{-6}	$\omega_{ot} - 2\%$
(Bacia 3) Solo	24.10	92.38	-	-	4.20×10^{-6}	ω_{ot}
Marrom	26.29	99.61	-	-	6.40×10^{-5}	$\omega_{ot} + 2\%$
	22.22	81.13	-	-	4.47×10^{-5}	$\omega_{ot} - 2\%$
(Bacia 2) Solo	12.44	84.17	-	-	2.42×10^{-5}	ω_{ot}
Vermelho	14.69	86.77	-	-	1.36×10^{-5}	$\omega_{ot} + 2\%$
	9.81	60.80	-	-	6.743×10^{-5}	$\omega_{ot} - 2\%$
(Bacia 4)						

5

Onde:

ω_o = umidade inicial

ω_f = umidade final

S_o = grau de saturação inicial

S_f = grau de saturação final

k = coeficiente de permeabilidade

ω_{ot} = umidade ótima

Observa-se no quadro resumo dos ensaios de percolação (tabela 3 acima), em destaque (amarelo) o atendimento à prescrição da NBR 7505-1 2000 (por aproximação para o solo vermelho e areia com adição de bentonita a 5%).

Na figura 5 - aspecto de um dos ensaios de percolação onde se observa a obtenção de menor permeabilidade oferecida do material quando da compactação à 2% abaixo da ótima

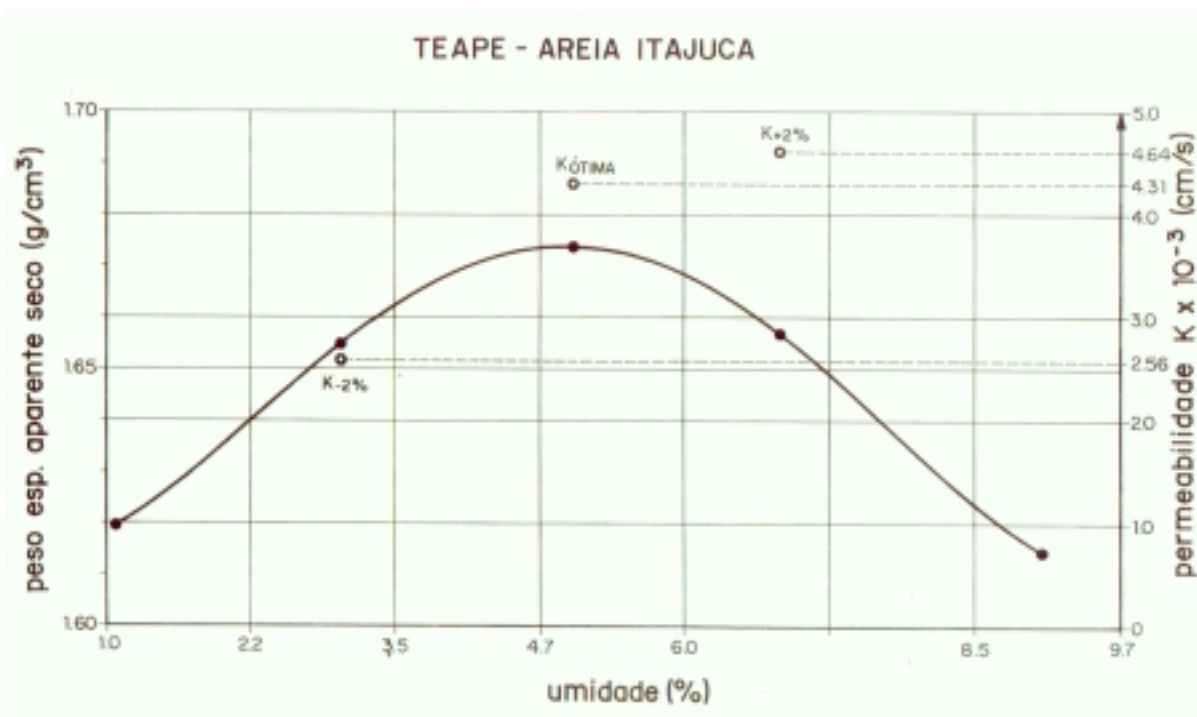


Figura 5 – Gráfico de permeabilidade para compactação com 2% abaixo da umidade ótima.

5. Análise dos resultados e conclusões

Das investigações implementadas, dos levantamentos, dos ensaios de laboratório realizados, das evoluções junto aos pesquisadores alocados ao longo do processo de estudos que se implementou, pode-se listar as seguintes avaliações e conceitos, bem como as indicações para o encaminhamento da solução dos problemas de impermeabilização das bacias de contenção.

5.1. Das premissas

- As soluções em obras de terra são adequadas a finalidade de criação de camada de impermeabilização (de baixa permeabilidade à água) posto se contar com valores de percolação da ordem de 10^{-6} cm/s, o que permite mesmo com o emprego de camadas relativamente finas, tempo suficiente para a coleta do líquido derramado, sem que se atinja camadas originais do terreno de fundação das bacias;
- As soluções em obras de concreto armado convencional, salvo situações excepcionais, não são adequadas à criação de camadas de impermeabilização para bacias de contenção;

- As soluções em obras de concreto médio ou alto desempenho, armado ou protendido, poderão ser adequadas se projetadas especialmente para esta finalidade, passando pela alteração nos conceitos de dimensionamento das bacias e diques, em face à otimização das novas estruturas de contenção. Os custos, todavia, poderão ser muito superiores àqueles em obras de terra;
- Solos mesmo aparentemente inadequados para a contenção de líquidos como as areias médias, podem com certa simplicidade, serem melhorados para auferir maior impermeabilidade, atendendo às exigências específicas;
- Poderão ser considerados como camadas naturalmente impermeáveis à hidrocarbonetos não solúveis, terrenos saturados de argila orgânica;
- Quando da preparação de obras de terra, somente se consegue confiabilidade de uma camada quando executada em sub-camadas, de iguais parâmetros de compactação, em face à menor probabilidade de coincidência de falhas em um mesmo ponto. Entende-se como adequado um mínimo de 3 etapas de compactação para uma camada de iguais propriedades ao longo de sua área.

5.2.Dos levantamentos

- Dos 55 perfis levantados, nas respectivas 55 bases, procedeu-se classificação preliminar onde se observa, com base nos dados encontrados (por vezes não representativos em face pequena quantidade de informações) serem cerca de **58%** passíveis de implementação de obras de terra sem necessidade de correções mediante emprego de adições às camadas de contenção (impermeabilização), ao passo que **31%** são passíveis de implementação de obras de terra contemplando-se adições de bentonita ou misturas de solos mais finos (desde que disponíveis em jazidas próximas), sendo cerca de **11%** das bases demandarão provavelmente importação de solo para aterro em face à existência natural de pedregulhos em solos arenosos;
- A precisão dos dados levantados pelos perfis de sondagem é relativa posto serem, via de regra, da época da construção das bacias, tendo sido por vezes referenciados para algumas bases poucos pontos de sondagem nas áreas internas às bacias. É possível também que algumas bacias contenham camada superficial de aterro não lançada na sondagem, o que pode alterar a relação de percentuais expressos acima;

5.3.Da seleção das amostras

- As 4 amostras selecionadas coincidiram com as amostras recebidas (precisão dos dados para levantamento) em 75% (3 amostras em 4), todavia ainda assim se obteve tipos de solos abrangentes de cerca de 80% das bases, conforme análise dos perfis;
- As amostras permitiram vislumbrar possibilidade de adequação aos parâmetros de impermeabilidade para os 80% do universo pesquisado das bases, mediante eventuais correções de solo com adições à baixos teores;

5.4.Da seleção das adições

- A única adição implementada foi a bentonita, em face à verificação de divergência de resultados que se obtêm quando da utilização de adições reativas tipo cimento, cal, escória, etc., não sendo impeditivo seu emprego, todavia devendo ser investigado caso a caso;

5.5.Dos ensaios

- Os ensaios foram conduzidos observando-se parâmetros que permitissem estar à favor da segurança, tais como a manutenção de gradientes hidráulicos superiores ao que se definirá para o ante-projeto conceitual;
- Para os solos argilosos ou siltosos, obteve-se melhores resultados no ramo úmido da curva de compactação, ou seja, para umidades pouco superiores à umidade ótima, o que se adotará como tendência na especificação das obras de terraplanagem para esta finalidade de criação de camada de contenção;
- Para o solo arenoso da bacia 1, mesmo com adição de apenas 5% em peso de argila bentonítica processada, obteve-se diminuição na permeabilidade de cerca de 350 vezes, o que é expressivo;

6.Recomendações para continuidade dos estudos

Visando o melhor conhecimento da questão de impermeabilização ou contenção de produtos em bacias, estudos adicionais deveriam ser implementados, notadamente de forma a se conhecer parâmetros outros que aqueles ora estudados, quais sejam:

- Obtenção de valores de correlação entre o coeficiente de permeabilidade à água e à alguns tipos de hidrocarbonetos, mediante ensaios de percolação variando-se o líquido percolante, posto serem as condições de percolação não apenas uma questão de massa específica e viscosidade do fluido, e sim sendo influenciada por diversos fatores;
- Em se implementando hidrocarbonetos para ensaios de percolação, duas hipóteses se configurariam interessantes, quais sejam, com a amostra de solo saturada por água ou pelo próprio produto, podendo levar a resultados totalmente distintos. Tal simularia a condição de terrenos secos sob ação de um eventual derrame, e situações de solos saturados (argilas orgânicas) de baixa qualidade mecânica porém repelentes aos hidrocarbonetos não solúveis;
- Em qualquer caso, análise química do líquido percolado, de forma a se conhecer possíveis poluentes, ou a estabilização em outras formas do líquido percolado visando adequação do parâmetro de permeabilidade indicado na NBR 7505-1 2000.

7. Proposição de metodologia para execução das obras de impermeabilização de bacias de solo

7.1. Procedimentos gerais para avaliação dos solos

De forma a verificação de cada caso no momento da implementação de uma obra de construção de camada de contenção, deverão ser adotados os seguintes procedimentos para avaliação do solo:

- Seleção de amostras de solo existente abaixo da camada superficial (20 cm), composta por solo natural ou aterros anteriormente implementados;
- A seleção deverá atender a uma amostragem mínima por bacias, para o que se sugere a adoção da NBR 8036/1983 – “Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios”;
- Implementação de ensaios de compactação e determinação da umidade ótima;
- Implementação de ensaios de percolação à água com gradiente hidráulico superior a 10, análogos aos implementados neste relatório, para umidade 1 a 2% acima da ótima;

- Caso necessário, correção adição de bentonita à taxas de 3, 5 ou 7% sobre o peso do solo, até que se atenda ao parâmetro de 10^{-6} cm/s;

7.2.Premissas a serem adotadas para construção da camada de contenção

Em face às investigações implementadas, pode-se adotar para efeitos de ante-projeto conceitual de construção de camadas de contenção de derrames de produtos derivados, em atendimento às prescrições da NBR 7507-1/2000, as seguintes premissas:

- Os solos devem ser avaliados conforme item acima;
- As camadas de contenção deve ter espessura mínima de 30 cm, executadas em um mínimo de 3 camadas de compactação, à umidade de 1 a 2% acima da ótima;
- Não é previsto a implementação de camada saturante ou processos de irrigação, sendo esta efetiva, uma vez construída a camada de contenção, mesmo à umidade ambiente;
- É previsto a necessidade de proteção da camada de contenção por elementos que impeçam a formação de vegetação, e mesmo a incidência direta de luz solar, visando a adequada manutenção das propriedades da obra. Para tal poderá ser utilizado areia grossa, cascalho, brita de qualquer granulometria, escória de alto-forno britada, produtos expandidos, tais como cinazita ou vermiculita, ou similares.

7.3.Procedimentos executivos – especificação geral de serviços

Para a construção de camada de contenção em solo nas bacias de terra, poderá ser aplicada a seguinte especificação de serviços:

- Escavação e bota-fora de camada de 20 cm de solo superficial ou camada vegetal eventualmente existente no interior das bacias e taludes extremos, com a desmonte dos eventuais diques intermediários;
- Escavação e reserva de camada de solo natural ou aterro de 30 cm de solo. NOTA: Há que se verificar a cota de arrasamento das fundações dos tanques;
- Proceder à escarificação e compactação do sub-leito que receberá a camada de contenção, conforme procedimentos usuais para serviços desta natureza;

- O material reservado deverá receber a dosagem da adição de bentonita conforme determinado pelos ensaios a serem realizados conforme item 7.1 acima e homogeneização adequada do material solto;
- Proceder à molhagem do material solto visando atender à umidade especificada e ao grau de compactação da ordem de 95% do proctor normal, em camadas da ordem de 15 cm de material solto para espessura final compactada de 10 cm, mediante compactadores de placa vibratória, de operação manual, que desenvolvam impacto dinâmico de 3.000 Kg. Esta seqüência deverá ser repetida até a execução da terceira camada componente da contenção (30 cm);
- Sobre a camada de contenção assim executada deverá ser lançada em estado solto, sem compactação, camada de proteção visando atingir o nível desejado da bacia (ou algo como 20 cm, espessura da camada vegetal ou solo superficial removido), composta por areia grossa, brita graduada, escória britada, ou material similar;
- Os eventuais diques intermediários deverão poderão ser reconstruídos em concreto armado (f_{ck} 30 MPa), com as fundações ao nível da camada de contenção, ou mediante terraplanagem com o mesmo material dosado para a camada de contenção;

8. Bibliografia

ADAS, M. **Panorama Geográfico do Brasil: Contradições, impasse e Desafios Sócioespaciais**. 3 ed. Moderna, São Paulo: 1998. 608p.

Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis: ABNT NBR-7505-1. Rio de Janeiro, 2000.

BARATA, F. E. **Propriedades mecânicas dos solos**. Livros técnicos e científicos editora S/A, Rio de Janeiro, 1984.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações** 6 ed, Livros técnicos e científicos editora S/A, Rio de Janeiro, 1987.

Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante: ABNT NBR-13292. Rio de Janeiro, 1995.

Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável: ABNT NBR-14545. Rio de Janeiro, 2000.

LAMBE, W. **Soil Mechanics SI Version.** John Wiley & Sons, Estados unidos da América, 1979

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos** – Oficina de textos, São Paulo 2002.

Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios: ABNT NBR-8036. Rio de Janeiro, 1983.

RESENDE, M; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para Distinção de Ambientes.** 4 ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.

Seleção de impermeabilização: ABNT NBR-12190. Rio de Janeiro, 2003.