

6

Análise numérica de sistemas de barreiras capilares

6.1.

Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma simulação numérica de fluxo usando o programa VADOSE/W 2007 para sistemas de barreiras capilares inclinadas, onde o resíduo da indústria de papel (RIP) é usado como material fino. São consideradas nas análises das infiltrações condições climáticas reais, provenientes de monitoramento de uma estação meteorológica implantada no Aeroporto Antonio Carlos Jobim (Galeão) por Portocarrero (2009). Apresenta-se também uma revisão bibliográfica do tema.

6.2.

Revisão bibliográfica

Uma barreira capilar consiste de uma camada de solo fino saturado ou próximo de tal condição, colocada sobre uma camada de solo grosso não saturado, podendo a mesma ser horizontal ou inclinada.

Para barreiras capilares em superfícies planas, segundo Lu e Likos (2004), a diferença de sucção entre o material grosso e o fino permite a acumulação de água no material fino dentro de um equilíbrio hidrostático. O equilíbrio se quebra quando a sucção do material grosso se reduz até igualar seu valor de entrada de água (VEW).

Para barreiras capilares inclinadas, segundo assinalam Lu e Likos (2004), a magnitude do fluxo lateral aumenta ao longo da inclinação descendente pelo incremento do volume de infiltração, o que ocasiona a redução progressiva da sucção no material fino. Quando a sucção iguala o VEW do material grosso se produz a ruptura da barreira capilar, isto é, ocorre o ingresso de água no material grosso.

Ross (1990) considera que a barreira capilar se forma quando o material grosso tem uma permeabilidade menor que a do material fino. Assim, toda

infiltração é desviada lateralmente pela barreira até que o fluxo descendente ao material grosso iguala a taxa de infiltração, quando a barreira capilar torna-se ineficaz. Gráficamente, Kämpf et al. (2003), consideram a ruptura da barreira capilar no ponto comum entre a taxa de infiltração e a curva de permeabilidade do material grosso, a sucção correspondente a esse ponto foi denominada como sucção crítica.

A máxima largura de desvio (L_d) foi definida por Ross (1990) como a distância horizontal entre o topo e o ponto mais perto da zona de transição (DDL), onde a barreira capilar é completamente efetiva. O ponto DDL foi considerado por Ross para indicar o começo da zona de transição onde a percolação iguala á taxa de infiltração (q). Na Figura 6.1 apresentam-se um esquema do sistema de barreira capilar.

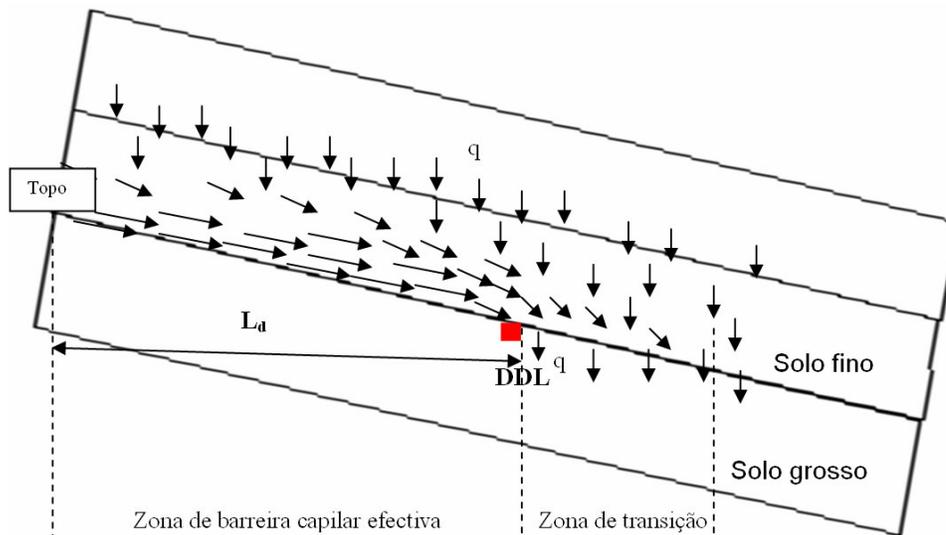


Figura 6.1 Esquema da máxima largura de desvio (L_d) e o ponto DDL

A modelagem do fluxo não saturado em coberturas do tipo barreira capilar foi estudada por diferentes autores como Kämpf e Montenegro (1997), Kämpf et al. (1998, 2003), Fala (2005), Tami et al. (2004), Cifuentes et al. (2006) entre outros. Eles utilizaram os programas HYDRUS 2D e SEEP/W para resolver análises de fluxo saturado e não saturado transientes nas coberturas. Kämpf et al. (2003) realizaram uma pesquisa numérica simulando, com o HYDRUS 2D, um modelo de barreira capilar em laboratório, onde monitoram as descargas de água da camada fina (lateral) e a descarga da camada grossa (vertical) em função do

tempo, variando a taxa de infiltração. Estes autores comprovam o funcionamento da barreira capilar e localizam a máxima largura de desvio (L_d) para o ponto onde a sucção do material grosso seja igual à sucção crítica mencionada anteriormente. Cifuentes et al. (2006), usando o programa SEEP/W, realizaram uma análise para uma cobertura vinculada a um aterro de 25 metros de altura e uma inclinação de 37° . Estes autores relacionam as espessuras das camadas da barreira capilar com o valor de L_d e observam sua variação em função do tempo. Dessas análises, pode-se concluir a influência das espessuras, a taxa de infiltração e a geometria na determinação da máxima largura máxima de desvio (L_d).

6.3. Análise numérica

Na presente análise utilizou-se o programa VADOSE/W 2007, da GEO-SLOPE INTERNATIONAL. O Programa utiliza o método de elementos finitos para resolver a equação de Richards (Richards, 1931) que inclui o fluxo de vapor. Detalhes da formulação e equações pertinentes encontram-se apresentados em GEO-SLOPE (2007 a).

6.3.1. Geometria do modelo

O modelo geométrico representa a parte superior de um aterro sanitário de 12 metros de altura com uma inclinação de 24° e uma largura horizontal de 27 metros (Figura 6.2). As componentes “X” e “Y” são definidas na Figura 6.2 e vão a ser utilizadas na frente em exposição dos resultados. A geometria foi assumida de grande largura para induzir a ruptura da barreira capilar no talude.

A geometria das malhas está apresentada na Figura 6.2. As malhas adotadas nas análises foram:

- Malhas quadradas de 2 metros para o corpo inferior do aterro, material RSU ;
- Malhas de quadrados e triângulos de 1 metro para o corpo superior do aterro, material RSU , e;

- Malhas retangulares, de 0,05x 1m, para as camadas de cobertura incluindo uma camada de 10 cm de RSU na parte inferior da cobertura, usando a opção “Surface layers” do VADOSE/W 2007.

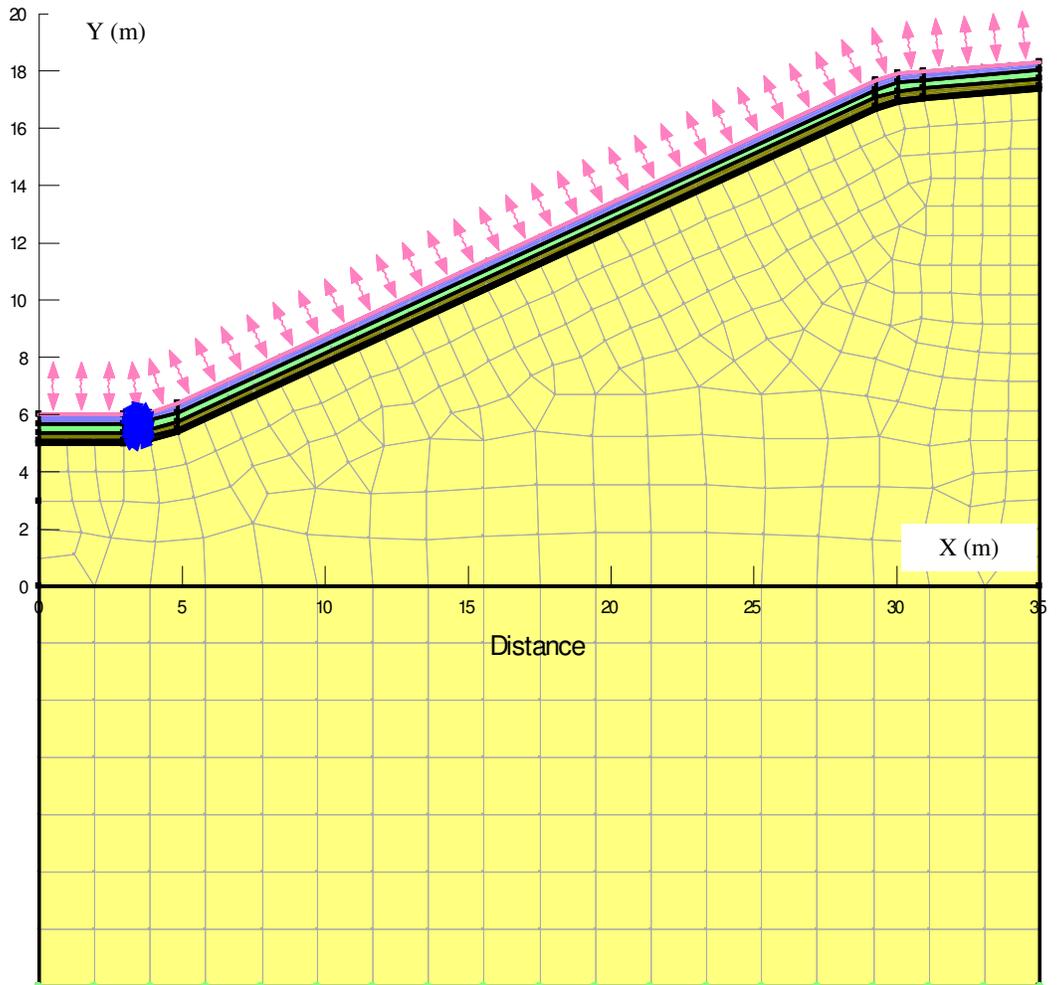


Figura 6.2 Esquema do aterro, condições de contorno e malhas de elementos finitos.

A cobertura está formada de três camadas, uma camada superficial de proteção e a dupla de camadas de material fino e grosso que formam a barreira capilar (Figura 6.3). As dimensões das camadas se apresentaram mais adiante, pois, são diferentes para cada análise.

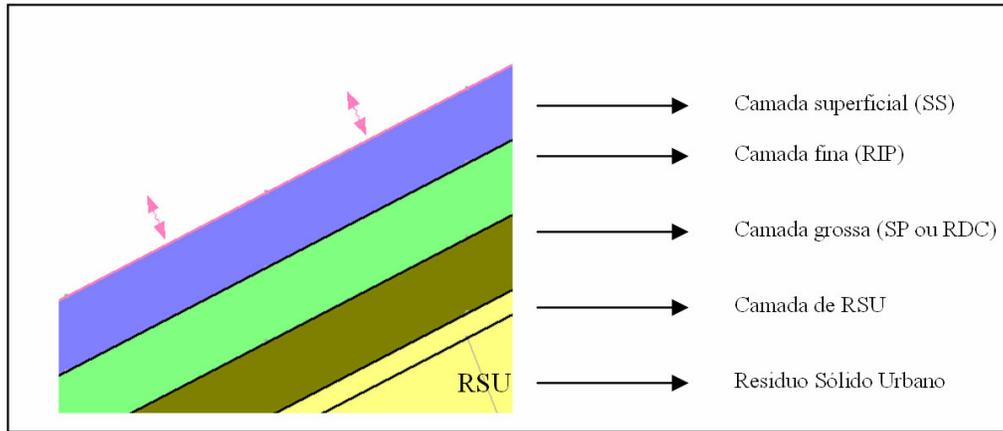


Figura 6.3 Partes da cobertura estudada

6.3.2. Condições ambientais

Os dados das condições ambientais como leituras de chuva e evapotranspiração, temperatura, vento, entre outros, são oriundos da estação experimental da PUC-Rio no Galeão (Portocarrero, 2009) correspondente ao intervalo entre os dias 1º de setembro de 2008 e 2 de fevereiro de 2009 (180 dias). Os dados são plotados na Figura 6.4.

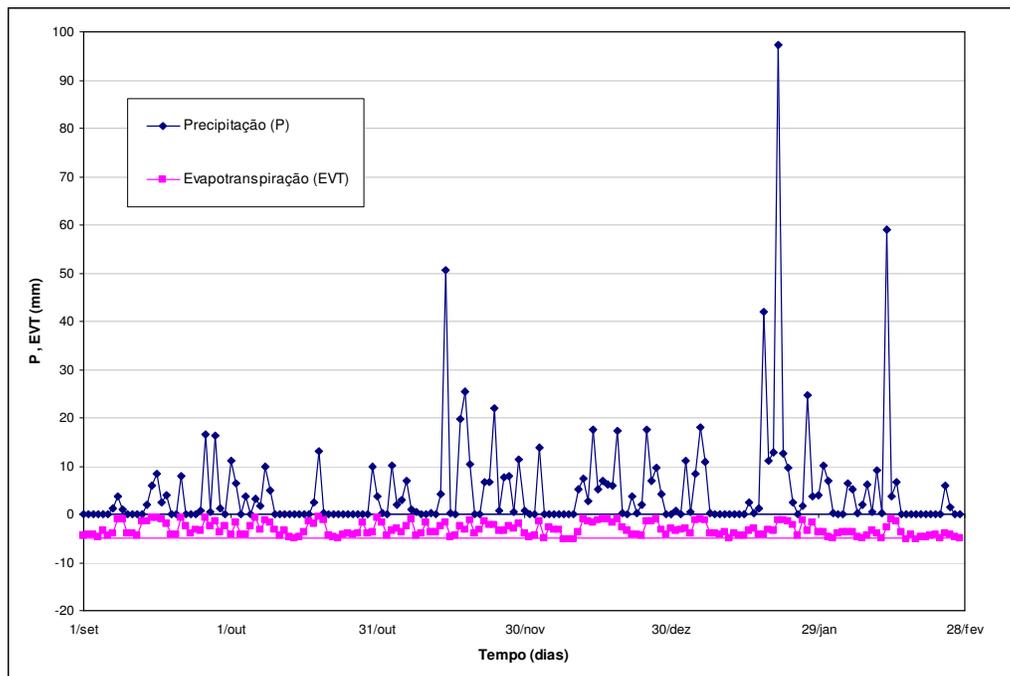


Figura 6.4 Dados climáticos da estação do Galeão (Portocarrero, 2009)

6.3.3. Materiais

Para as simulações numéricas foram selecionados quatro tipos de materiais na cobertura, tais como: solo sedimentar (SS); areia (SP); resíduo da construção (RDC) e resíduo da indústria de papel (RIP). Como camada fina foi selecionada o RIP por apresentar uma baixa permeabilidade saturada. Os materiais para a camada grossa (SP e RDC) foram selecionados com o critério de contraste de propriedades em relação à camada fina, principalmente buscando uma menor permeabilidade não saturada e uma menor sucção. Na camada superficial foi selecionado o solo sedimentar (SS) por sua elevada permeabilidade saturada que reduz o tempo de percolação da água à barreira capilar. Um resumo das propriedades de cada material está apresentado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 Parâmetros e propriedades dos materiais da cobertura.

Material	Camada	n	VEW (kPa)	VEA (kPa)	G _s
SS	Superficial	0,27	200	50	-
RIP	Fina	0,70	10000	800	2,08
SP	Grossa	0,42	7	4	2,65
RDC	Grossa	0,27	400	3	2,676

Para a primeira análise (item 6.4.1), foi considerada uma sucção inicial de 100 kPa para todas as camadas de cobertura. O valor selecionado foi próximo à sucção de equilíbrio, estimada por uma rodada de 360 dias com as sucções iniciais dos materiais (apresentados no seguinte parágrafo) e com a permeabilidade do material grosso menor do material fino.

Para a segunda análise (item 6.4.1), foram colocadas as sucções iniciais de cada material e ingressadas ao programa VADOSE/W pela opção denominada “activation water pressure”. As sucções iniciais adotadas para cada material apresentam-se a seguir: para o RIP, a sucção inicial adotada foi de 30kPa por ser um valor medido (próximo ao mínimo) da curva de retenção; para o RDC, foi adotado o valor de 10kPa, que corresponde à umidade ótima na curva de retenção Barros (2005); para o material SP, a sucção adotada foi de 10kPa que é um dos maiores valores de sucção da curva de retenção Vieira (2005). E o material de SS,

foi colocado com uma sucção inicial de 100kPa, pois, corresponde a uma umidade de 5%, próxima á umidade natural de 4%.

As propriedades da curva de retenção e a função de permeabilidade dos materiais da cobertura estão apresentadas nas Figuras 6.5 e 6.6. A curva de retenção de SP e RCD foram baseadas nos ensaios de laboratório de Vieira (2005) e Barros (2005) respectivamente. Para o material SS, a curva de retenção e a permeabilidade foram baseadas nos resultados do laboratório por Moncada (2008). As propriedades do material RSU são as mesmas utilizadas pelo programa VADOSE/W 2007 nos exemplos de cobertura (GEO-SLOPE, 2007b). Por último, as propriedades do RIP procedem dos resultados do capítulo 4.

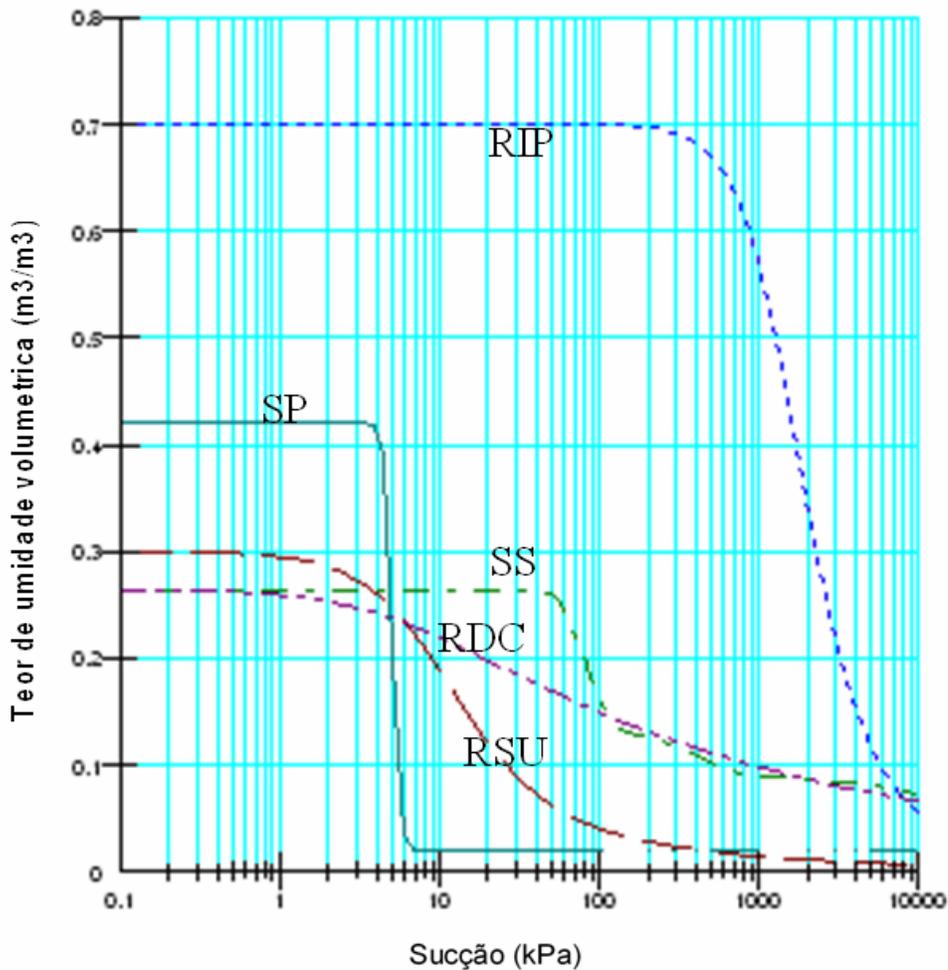


Figura 6.5 Curvas de retenção dos materiais utilizados nas simulações.

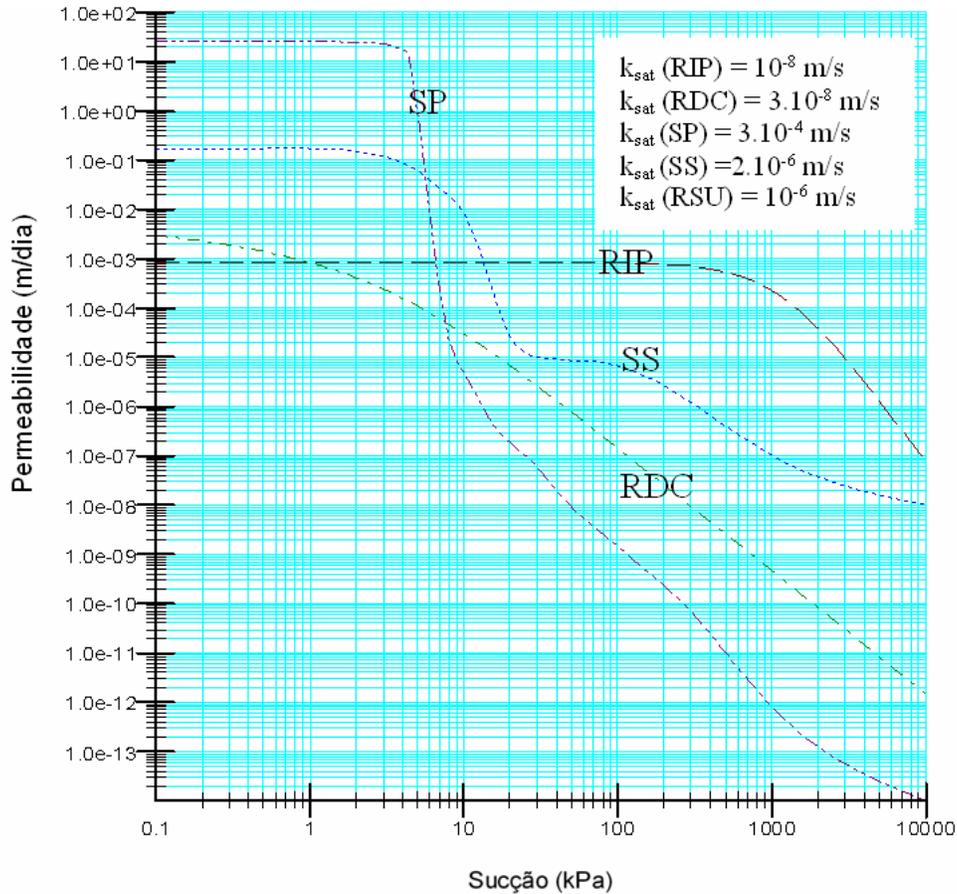


Figura 6.6 Curvas de função de permeabilidade de materiais utilizados nas simulações.

6.3.4. Condições de contorno

Infiltração constante:

- 2,05 mm/dia é um valor médio estimado dos dados das condições ambientais do item 6.3.3, considerando precipitação e evapotranspiração.
- 0,5 mm/dia é um valor considerado para fins comparativos.
- 0,0086 mm/dia ou $8,6 \times 10^{-5} \text{ m/dia}$ ou 10^{-9} m/s , é um valor baixo considerado para fins comparativos com as duas infiltrações anteriores.

Infiltração variável:

O VADOSE/W 2007 tem uma opção para gerar funções, podendo incluir valores negativos na condição de contorno de fluxo na superfície o que pode representar a evaporação.

Clima:

O programa permite o ingresso de dados climáticos em milímetros por dia. Os dados utilizados para as condições de climáticas de contorno foram do trabalho de Portocarrero (2009).

Dreno (Vazão igual à zero):

Esta condição se dá para drenos e permite monitorar a vazão que ingressa no dreno.

Nível freático:

Esta condição permite colocar um nível freático qualquer, usando uma ferramenta de desenho.

6.4.

Resultados e discussão da análise numérica

As simulações numéricas tiveram como objetivo avaliar o funcionamento do RIP em um sistema de barreiras capilares e também avaliar o potencial do programa computacional VADOSE/W 2007.

As saídas gráficas do programa VADOSE/W utilizadas se apresentam-se a seguir:

Perfis de sucção e saturação: Valores de sucção e saturação são plotados pela componente “Y” para cada tempo.

Fluxo na base da camada pelo X: Valores de fluxo localizados na base da camada são plotados pela componente “X” e para cada tempo. Valores negativos indicam um fluxo descendente (saída) e os positivos um fluxo ascendente (entrada). O monitoramento do fluxo descendente que ingressa ao solo grosso e relevante para conhecer o funcionamento da barreira capilar.

Poro-pressão na base da camada pelo X: Valores de poro-pressão localizados na base da camada são plotados pela componente “X” para cada tempo. Quando a poro-pressão é negativa (,) tem o mesmo valor absoluto que a sucção.

Fluxo na superfície das camadas: Com esta saída gráfica se monitora a quantidade de fluxo que passa pela base de cada camada, o fluxo negativo indica fluxo descendente e o positivo fluxo ascendente, com exceção do fluxo na superfície que é positivo.

Fluxo acumulado na superfície das camadas: Com esta saída gráfica, se monitora o fluxo acumulado na base de cada camada. Valores negativos indicam fluxo acumulado descendente, a exceção do fluxo acumulado na superfície que é positivo para taxas de infiltrações positivas.

6.4.1. Análise 1

Nesta análise as espessuras das camadas são de 10 cm para SS, 30 cm para RIP e 25 cm para a camada de solo grosso (SP ou RDC).

Realizaram-se cinco simulações com o VADOSE/W 2007. Para os quatro primeiros se usa o material SP como material grosso, e para o último se usa o material RDC. As condições de infiltração apresentam-se a seguir:

- simulação 1: areia SP, sucção inicial menor que VEW, sem infiltração;
- simulação 2: areia SP, sucção inicial menor que VEW, com infiltração constante ($q=10^{-9}$ m/s);
- simulação 3: areia SP, sucção inicial menor que VEW com infiltração variável 1;
- simulação 4: areia SP, sucção inicial menor que VEW com infiltração variável 2 e
- simulação 5: resíduo da construção RDC, sucção inicial maior que o VEW pero menor que VEA, com infiltração constante ($q=10^{-9}$ m/s).

Nas saídas gráficas foram utilizadas valores equivalentes para a infiltração de 10^{-9} m/s como $8,6 \times 10^{-5}$ m/dia e $0,0032$ m³/dia (considerando a longitude da camada por metro linear). O tempo de análise foi de 180 dias.

6.4.1.1. Simulação 1: areia SP sem infiltração por 180 dias

O ingresso de fluxo na camada grossa (SP) foi insignificante (Figura 6.7a e 6.7b), pois, a velocidade do fluxo lateral descendente ao longo do RIP foi predominante por todo o tempo. O RIP ao longo dos 180 dias conserva sua saturação (100%) constante, o grau de saturação da camada superficial se incrementa na base do talude e diminui no topo do talude (Figura 6.7c e 6.7d). Figura 6.7e se mostra um

fluxo ascendente pela interface RIP/SP na parte do topo do talude, e um fluxo descendente na parte da base do talude.

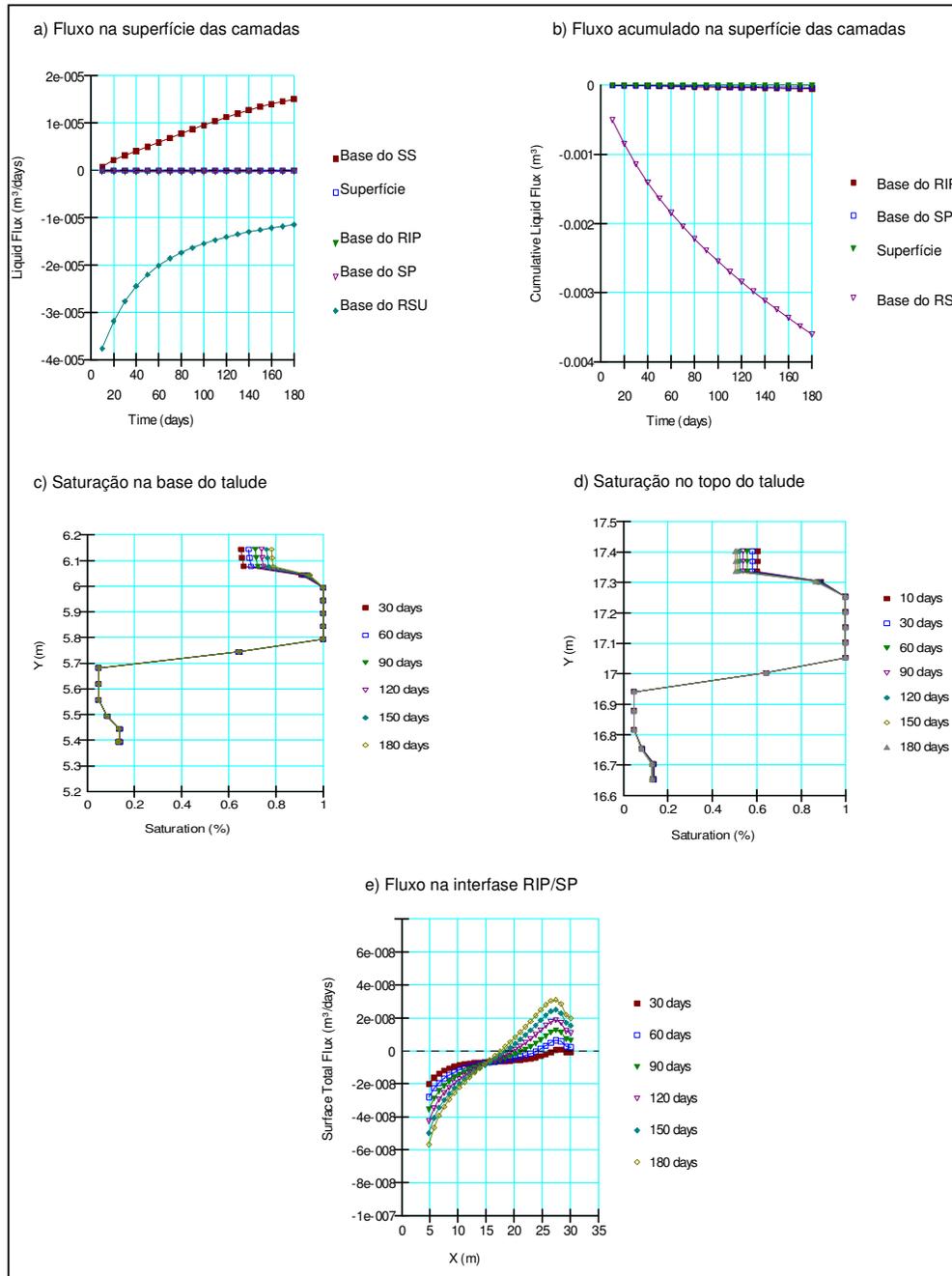


Figura 6.7 Resultados da modelagem para o material SP sem infiltração (análise 1).

6.4.1.2.

Simulação 2: areia SP com infiltração constante por 180 dias

A infiltração constante foi de 10^{-8} m/s na faixa de tempo de 180 dias. O ingresso de fluxo ao longo do topo da camada grossa (SP) inicia-se aos 80 dias, o fluxo acumulado aumenta aos 90 dias (Figura 6.9a e 6.9b). A velocidade do fluxo lateral descendente ao longo do RIP foi predominante até 80 dias como se observa na Figura 6.8, após isso, diminuiu. O dreno na parte inferior após os 180 dias acumulou 0,027 m³. O RIP ao longo dos 180 dias conserva sua saturação (100%) constante e o grau de saturação da camada superficial se incrementa com maior intensidade na base do talude em relação ao topo do talude (Figura 6.9c e 6.9d). Isso devido à inclinação do talude. Na Figura 6.9e, as percolações elevadas de água pela interface RIP/SP ocorrem com valores maiores à taxa de infiltração (q) e se localiza na base do talude.

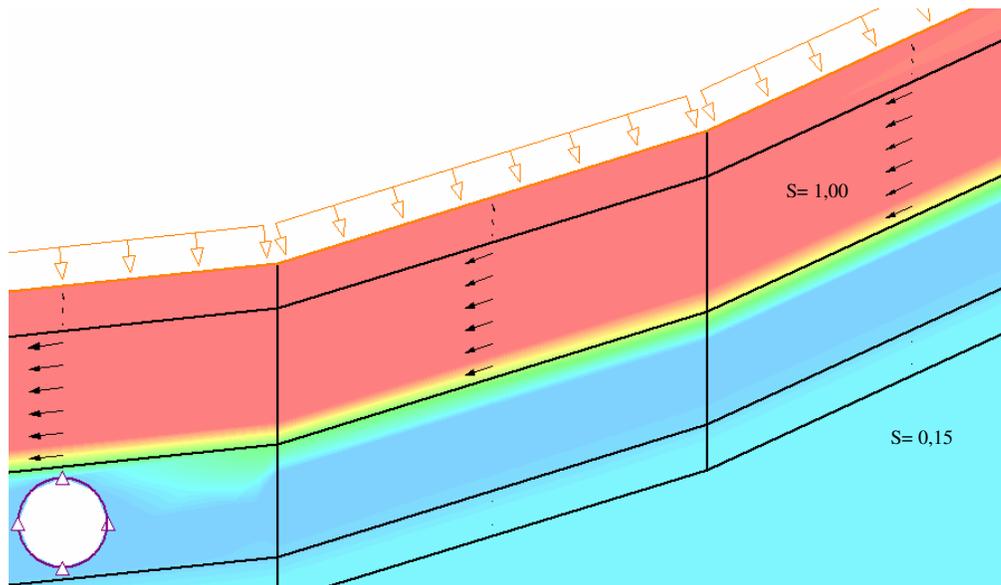


Figura 6.8 Vetores de velocidade e saturação aos 80 dias usando o SP

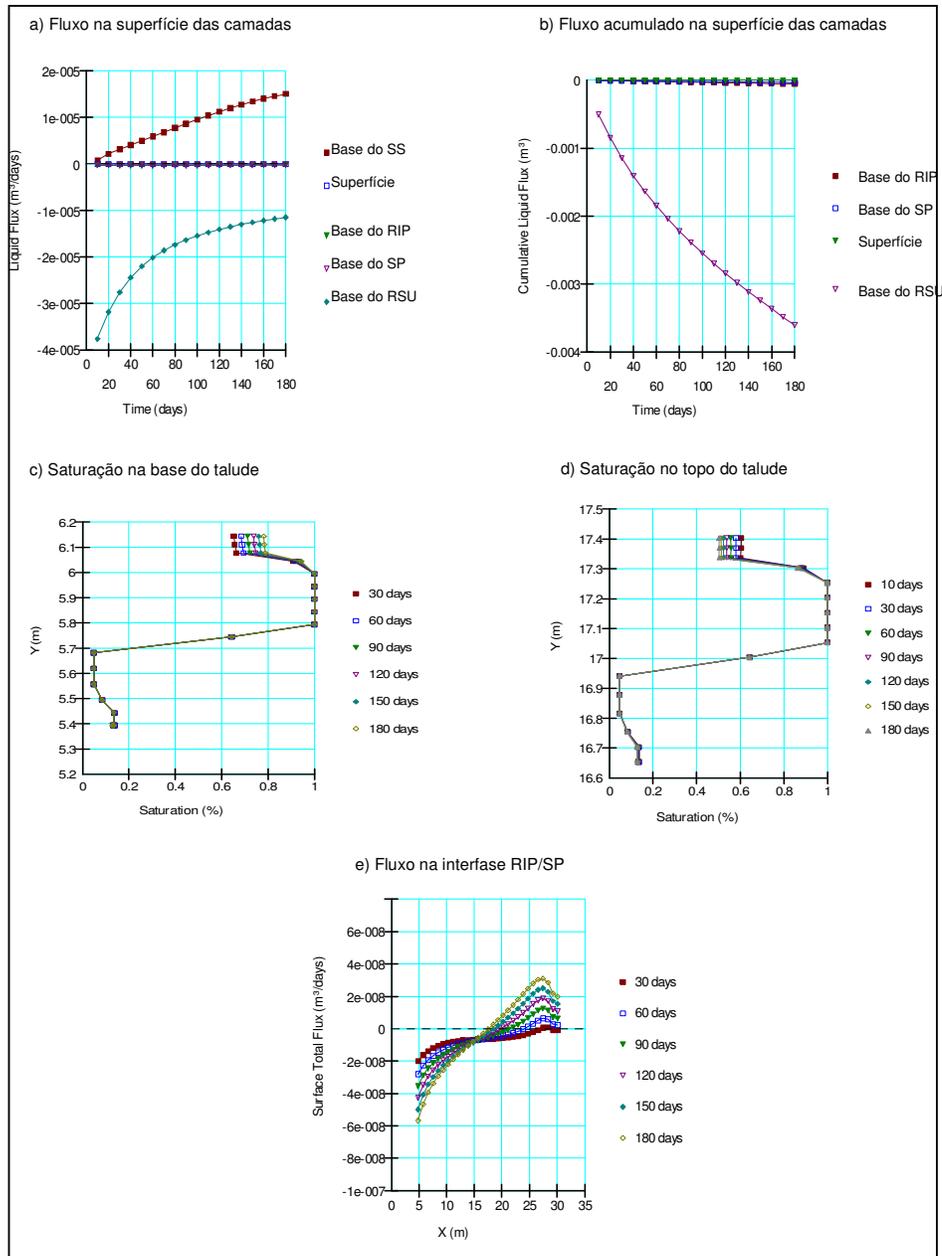


Figura 6.9 Resultados da modelagem para o material SP com infiltração constante de 10^{-9} m/s.

6.4.1.3.

Simulação 3: areia SP com infiltração variável 1 por 180 dias

A infiltração variável 1, consiste em uma infiltração constante de zero para a faixa de tempo de 60 a 90 dias e constante de 10^{-9} m/s o resto do tempo. O ingresso de fluxo ao longo da camada grossa (SP) se inicia aos 130 dias, o fluxo acumulado aumenta aos 140 dias (Figura 6.10a e 6.10b). A velocidade do fluxo

lateral descendente ao longo do RIP foi predominante até 140 dias, após isso, diminuiu. O dreno na parte inferior após os 180 dias acumulou 0,0027 m³. O RIP ao longo dos 180 dias conserva sua saturação (100%) constante e o grau de saturação da camada superficial se incrementa na base do talude e no topo do talude varia, isto é, aumenta e diminui (Figura 6.10c e 6.10d). Na Figura 6.10e, as percolações elevadas de água pela interface RIP/SP ocorrem com valores maiores à taxa de infiltração (q) e se localizam na base do talude.

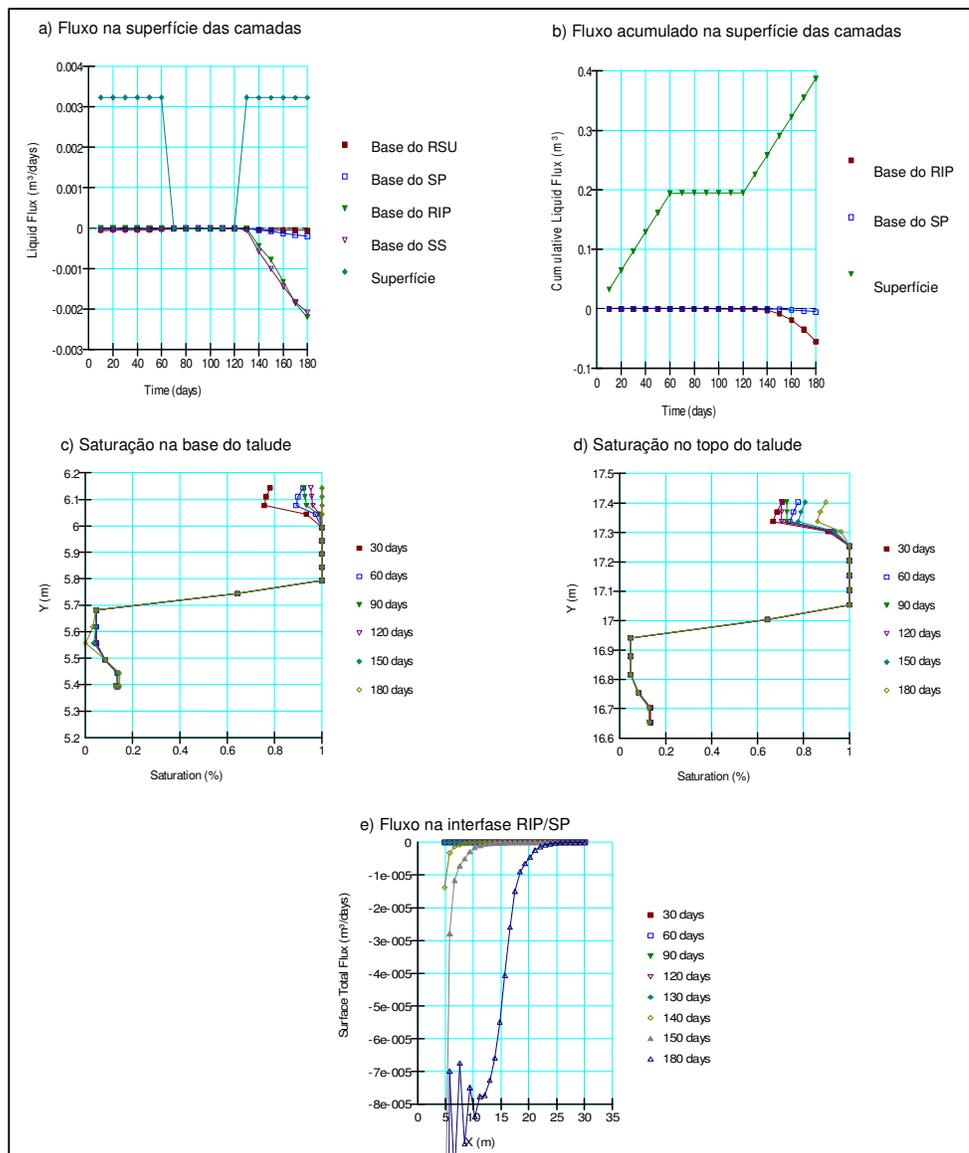


Figura 6.10 Resultados da modelagem para o material SP com infiltração variável 1 (análise 1).

6.4.1.4.

Simulação 4: areia SP com infiltração variável 2 por 180 dias

Não se registra ingresso considerável de fluxo ao longo da camada grossa (SP). (Figura 6.11a, 6.11b). A infiltração variável 2, consiste em uma infiltração constante de $-0,5 \times 10^{-9}$ m/s (evaporação) para a faixa de tempo de 60 a 90 dias e constante de 10^{-9} m/s o resto do tempo. A velocidade do fluxo lateral descendente ao longo dos 180 dias. O RIP ao longo dos 180 dias conserva sua saturação (100%) constante e o grau de saturação da camada superficial se incrementa na base do talude e no topo do talude e varia, isto é, aumenta e diminui (Figura 6.11c e 6.11d).

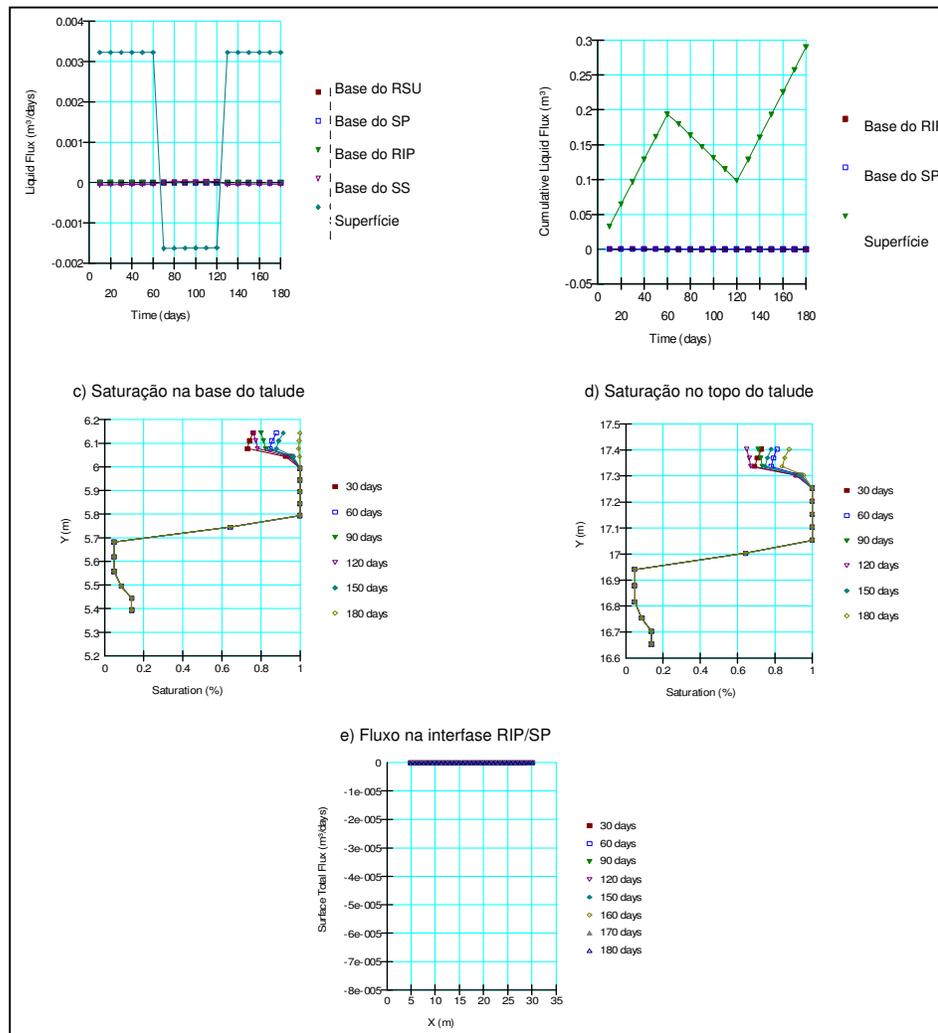


Figura 6.11 Resultados da modelagem para o material SP com infiltração variável 2 (análise 1).

6.4.1.5.

Simulação 5: material RDC com infiltração constante por 180 dias

A infiltração constante foi de 10^{-9} m/s na faixa de tempo de 180 dias. O ingresso de fluxo ao longo da camada grossa (SP) se inicia aos 10 dias, o fluxo acumulado aumenta aos 20 dias (Figura 6.13a e 6.13b). A velocidade do fluxo lateral descendente ao longo do RIP foi predominante até 30 dias, após isto diminuiu (Figura 6.12). O dreno na parte inferior após os 180 dias acumulou 0,00084 m³. O RIP ao longo dos 180 dias conserva sua saturação (100%) constante, o grau de saturação da camada superficial se incrementa com maior intensidade na base do talude em relação ao topo do talude, e o grau de saturação da camada grossa de RDC aumenta com uma maior velocidade e intensidade na base do talude (Figura 6.13c e 6.13d). Na Figura 6.13e, as percolações elevadas de água pela interface RIP/SP ocorrem com valores maiores à taxa de infiltração (q) e localizam-se na base do talude.

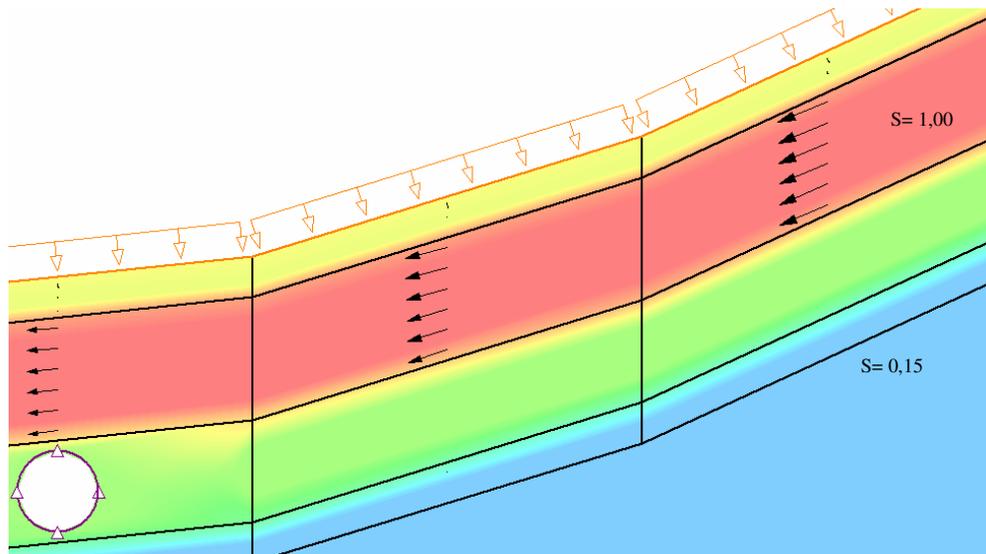


Figura 6.12 Vetores de velocidade e saturação aos 30 dias usando o RDC.

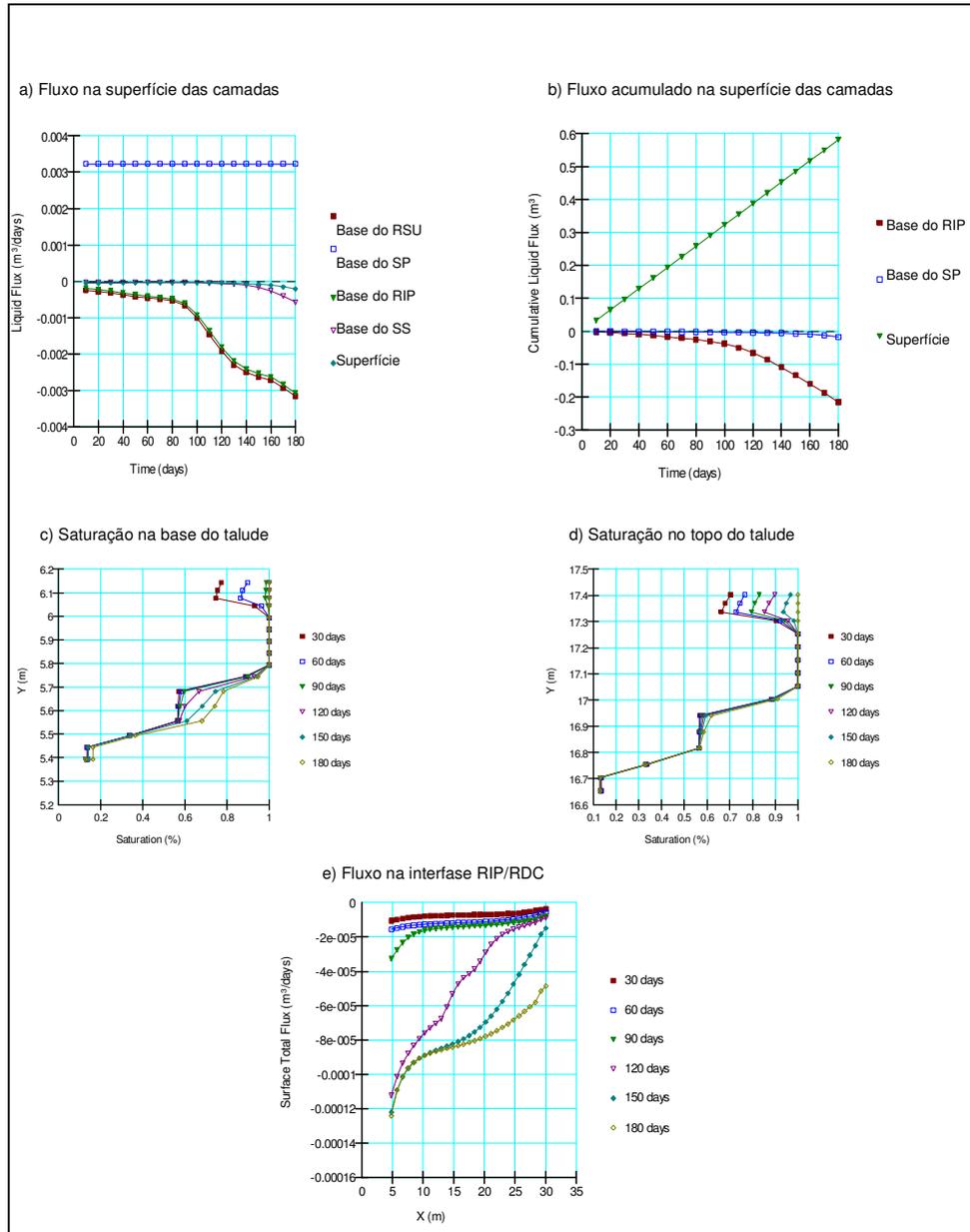


Figura 6.13 Resultados da modelagem para o material RDC com infiltração constante de 10^{-8} m/s.

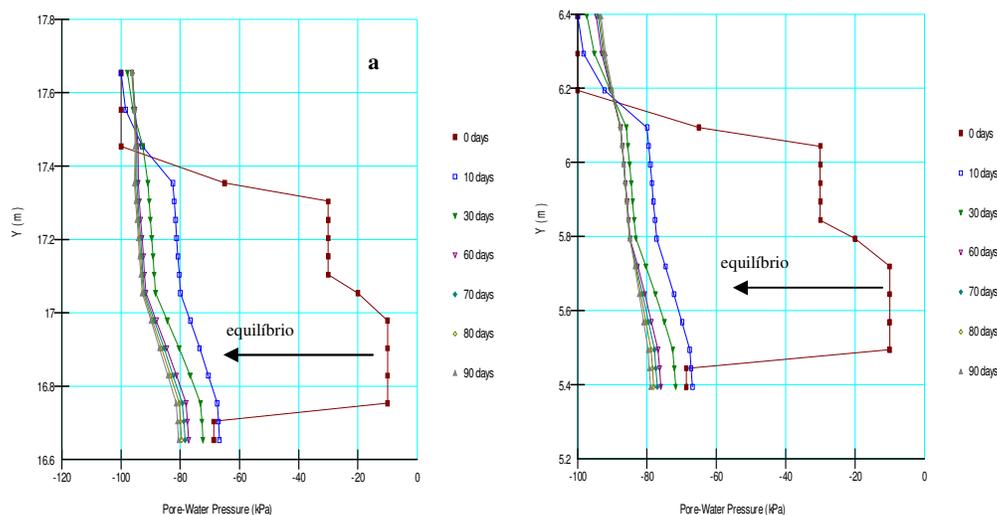
6.4.2. Análise 2

Nesta análise as espessuras das camadas de cobertura foram de 30 centímetros cada uma. Foram realizadas quatro simulações com infiltração constante e com as condições climáticas (precipitação e evapotranspiração), apresentadas a seguir:

- simulação 1: Verificar o fluxo na cobertura sem infiltração na superfície;
- simulação 2: Verificar o funcionamento da barreira capilar para uma infiltração de 0,5 e 2,05 mm/dia em 90 dias;
- simulação 3: Verificar o funcionamento da barreira capilar para condições ambientais reais e
- simulação 4: Verificar o funcionamento da barreira capilar para materiais grossos com sucções iniciais maiores que o VEW.

6.4.2.1. Simulação 1: material SP sem infiltração na superfície em 90 dias

As sucções no perfil da cobertura foram se equilibrando para com o tempo (Figuras 6.14). A sucção na interface RIP/SP mostra valores maiores no topo e menores no pé do talude, o que confirma a acumulação de água na base do talude (Figura 6.15). O fato que a sucção inicial do RIP seja menor que do SS induziu um fluxo ascendente pela interface RIP/SP mostrado na Figura 6.16.



Figuras 6.14 Perfis de sucção. (a) Topo X=5m e (b) Base X=29m.

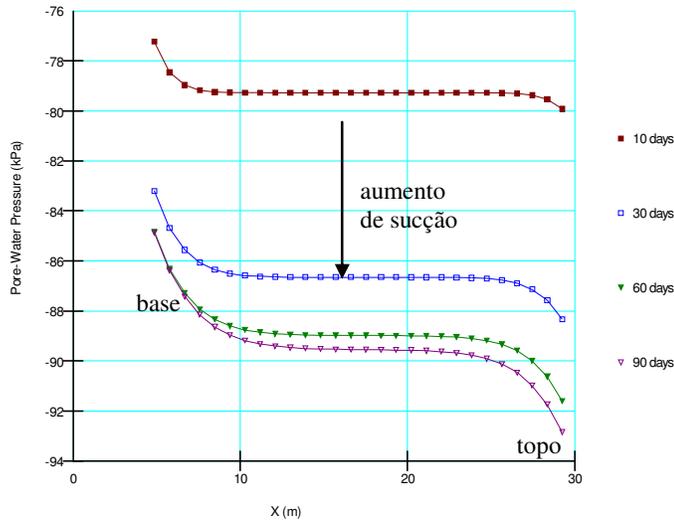


Figura 6.15 Sucção na interface RIP/SP sem infiltração na superfície.

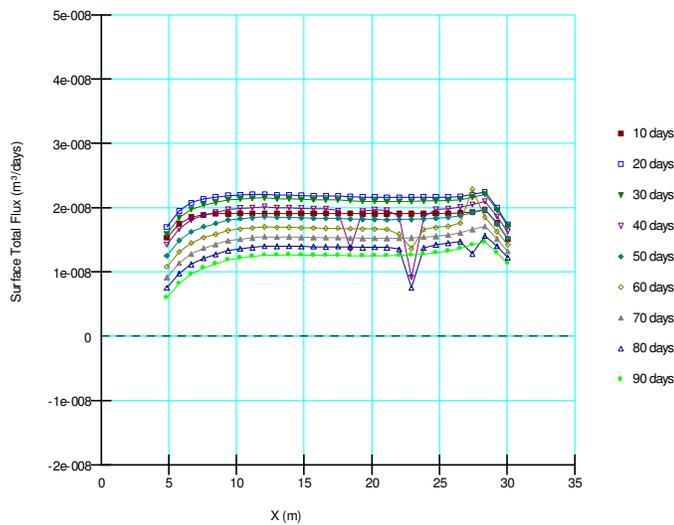


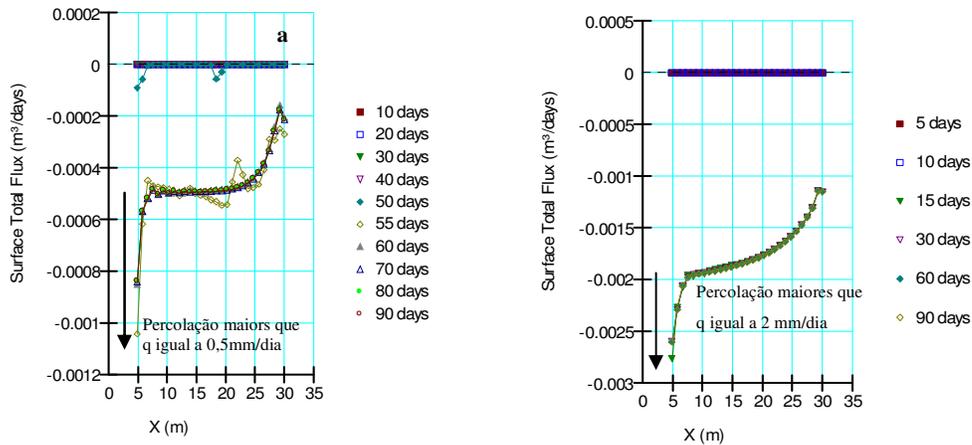
Figura 6.16 Fluxo ascendente de água pela interface RIP/SP.

6.4.2.2.

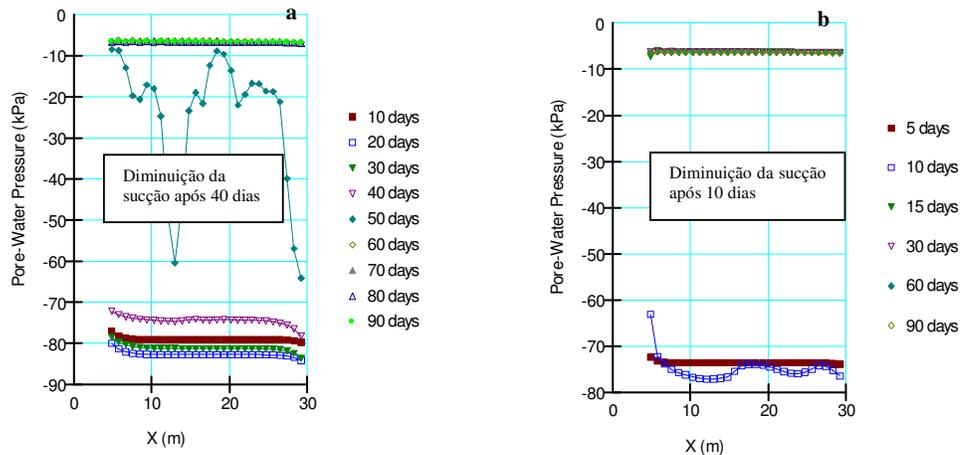
Simulação 2: material SP para taxas de infiltração (q) de 0,5 e 2,05 mm/dia em 90 dias

Para a taxa de infiltração de 0,5 mm/dia se registram percolações pela interface RIP/SP a partir de 55 dias, com 2,05 mm/dia a partir de 15 dias, isso indica que para um aumento da taxa de infiltração, as percolações aparecem num período de tempo menor (Figuras 6.17).

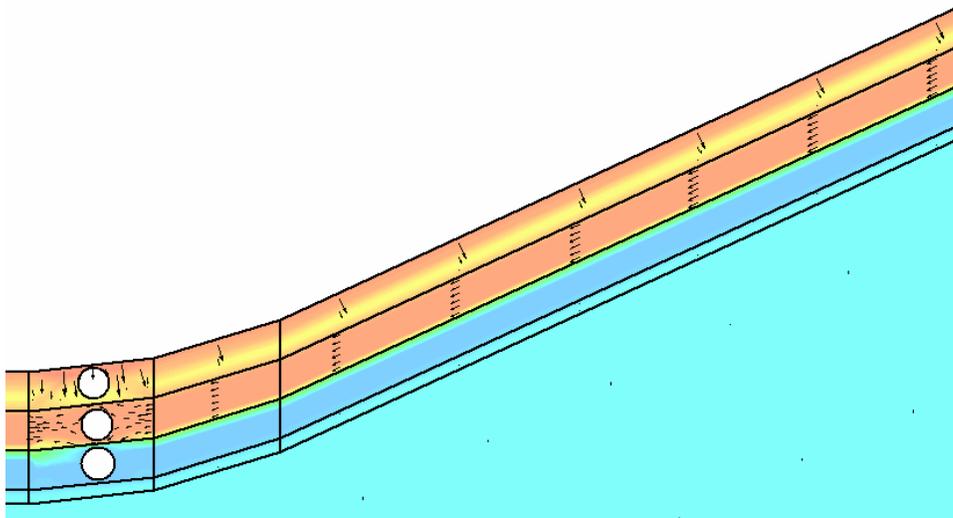
As percolações elevadas de água pela interface RIP/SP ocorrem com valores maiores à taxa de infiltração (q) e se localizam na base do talude (Figura 6.17). A diminuição progressiva da sucção confirma o aumento da umidade induzida pela percolação (Figuras 6.18). Na Figura 6.19 se mostra, mediante vetores de fluxo, o funcionamento da barreira capilar para 30 dias e de taxa de infiltração 0,5 mm/dia.



Figuras 6.17 Percolação da água pela interface RIP/SP. (a) 0,5mm/dia (b) 2,05 mm/dia



Figuras 6.18 Sucção na interfase do RIP/SP. (a) 0,5mm/dia (b) 2,205 mm/dia



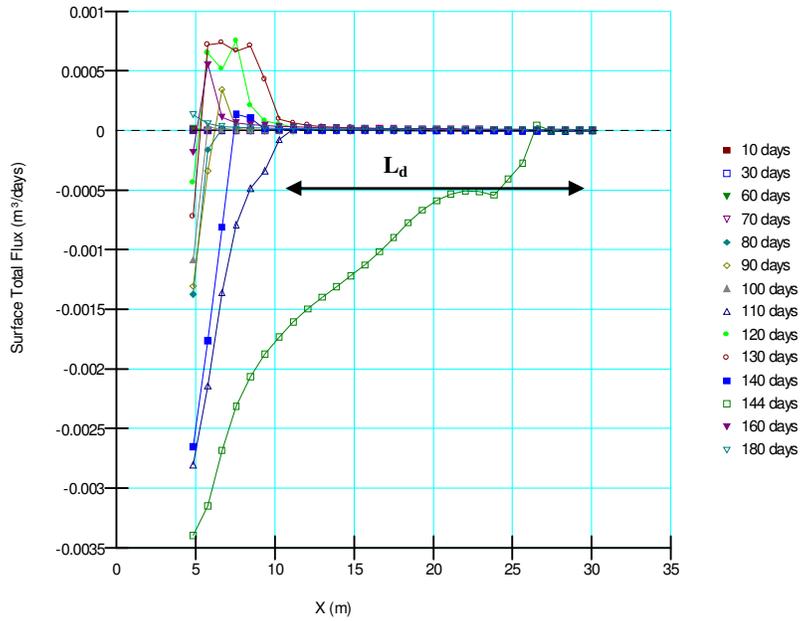
Figuras 6.19 Barreira capilar com material SP no tempo de 30 dias ($q = 0,5 \text{ mm/dia}$).

6.4.2.3.

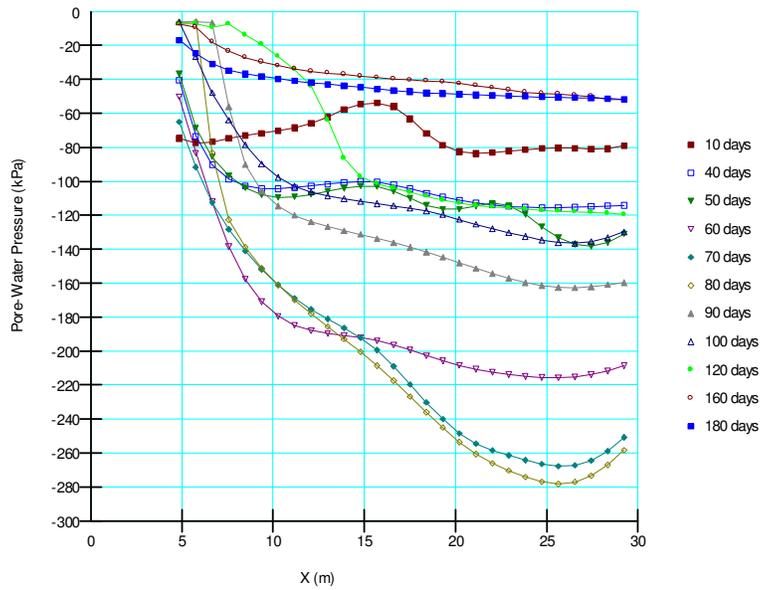
Simulação 3: material SP para condições ambientais em 180 dias

Nesta simulação são considerados os dados de chuva e evapotranspiração que correspondem ao item 6.3.3. Na Figura 6.20, a curva fluxo para tempo de 144 dias, indica uma elevada percolação pela interface RIP/SP no topo do talude, a partir da posição $X=26\text{m}$; isso está vinculado diretamente à zona de máximas chuvas dos dados climáticos (Figura 6.4). Para o resto do tempo as percolações pela interface RIP/SP se localizam na base do talude, a partir da posição $X=10\text{m}$. Os valores de sucção baixa na interface RIP/SP se localizam na base do talude (Figura 6.21), o que confirma a percolação de água nessa zona.

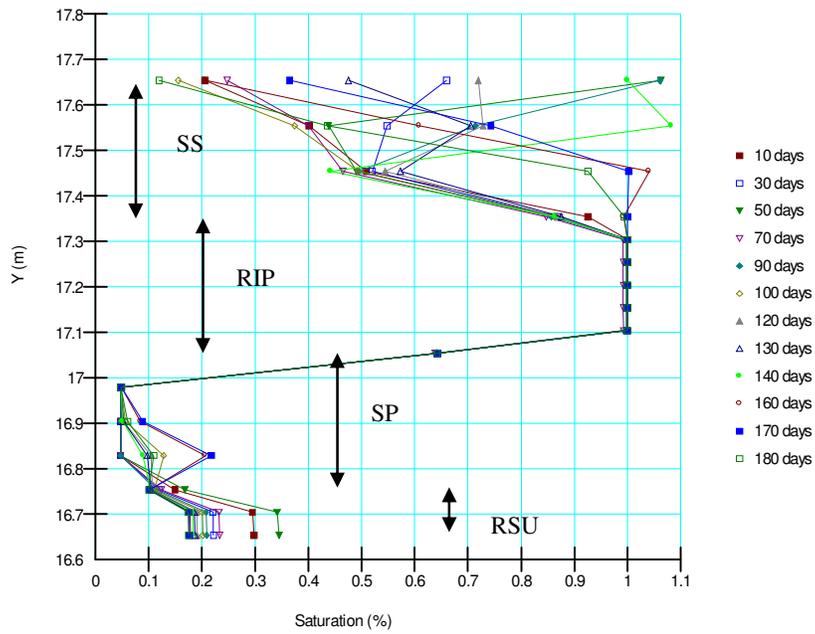
Uma espessura de 20 cm da parte central da camada de RIP teve uma saturação próxima a 100% ao longo dos 180 dias. Nessa região o RIP praticamente manteve uma saturação constante. A variação do grau de saturação foi maior na camada superficial pela dinâmica climática (chuva e evapotranspiração variável). A saturação da base do talude é mais acentuada em relação ao topo pela acumulação do volume de água por gravidade (Figura 6.22 e 6.23).



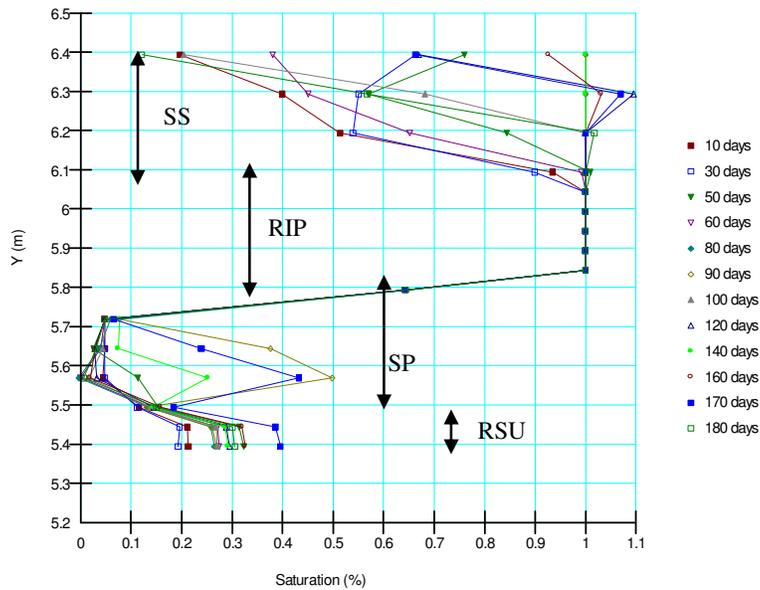
Figuras 6.20 Percolação da água pela interface RIP/SP pela posição horizontal X.



Figuras 6.21 Sucção na interfase do RIP/SP pela posição horizontal X.



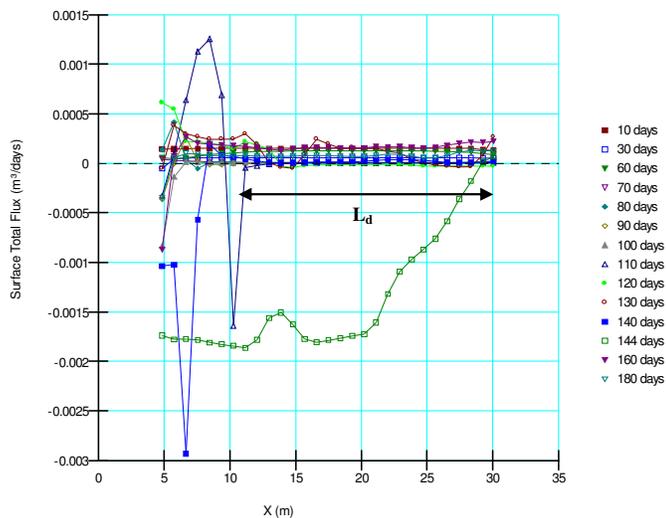
Figuras 6.22 Perfil de saturação da cobertura na posição X=29m (topo do talude).



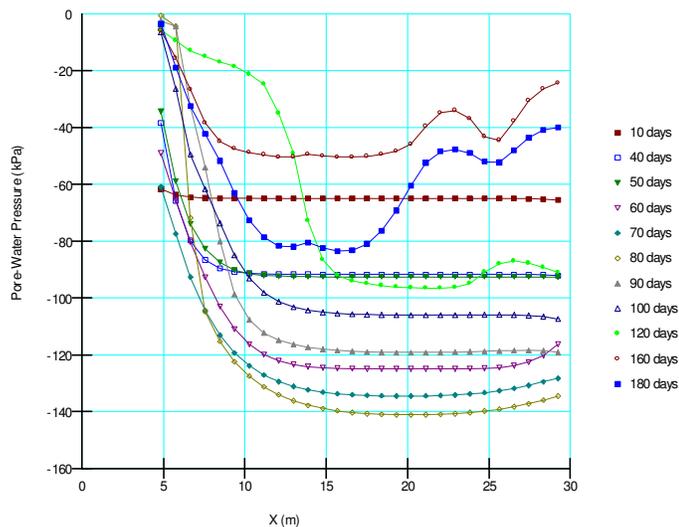
Figuras 6.23 Perfil de saturação da cobertura na posição X=5m (base do talude).

6.4.2.4. Simulação 4: material RDC para condições ambientais em 180 dias

Na Figura 6.24, a curva do tempo de 144 dias (tempo vinculado com chuvas máximas da Figura 6.4), indica uma percolação elevada pela interface RIP/SP no topo do talude, a partir da posição $X=28\text{m}$. No resto do tempo as percolações pela interface RIP/SP se localizam na base do talude, a partir da posição $X=12\text{m}$. Os valores de sucção baixa na interface RIP/RDC se localizam na base do talude (Figura 6.25), o que confirma a percolação de água nessa zona.



Figuras 6.24 Percolação da água pela interface RIP/RDC.



Figuras 6.25 Sucção na interfase do RIP/RDC pela posição horizontal X.

6.4.3. Comparação das simulações

6.4.3.1. Simulações da análise 1

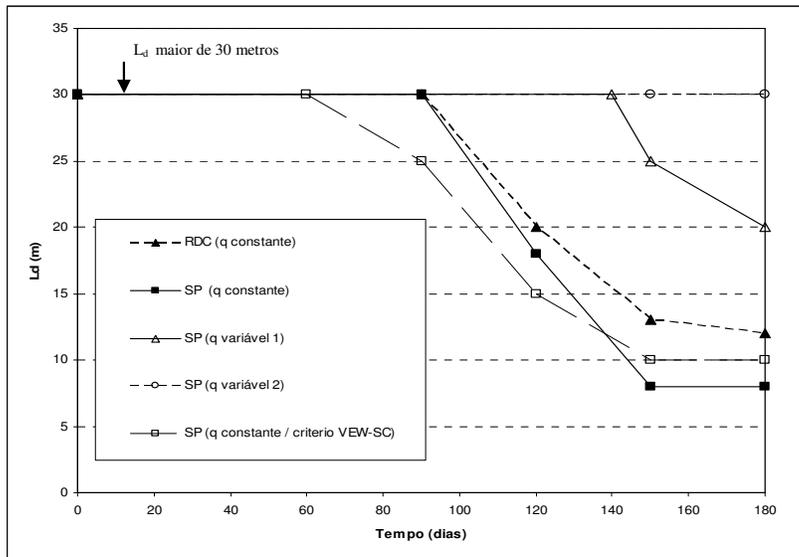
Na Figura 6.26 apresentam-se as comparações das quatro simulações utilizando a largura de desvio máxima (Ld) definida por Ross (1990) como o ponto onde a percolação no material grosso iguala a taxa de infiltração. As percolações no material grosso foram monitoradas pelas simulações numéricas no programa VADOSE/W 2007. A seguir se indicam-se as simulações a serem comparadas:

- simulação 2 : material SP, infiltração constante de 10^{-9} m/s;
- simulação 3: material SP, infiltração variável 1, simulando três meses sem chuva (ver Figura 6.10);
- simulação 4: material SP, infiltração variável 2, simulando uma evapotranspiração constante de $0,5 \cdot 10^{-9}$ m/s por um tempo de três meses (ver Figura 6.11) e
- simulação 5: material RDC, infiltração constante de 10^{-9} m/s.

Outros critérios usados para estimar o Ld mediante simulações numéricas foram usados por diferentes autores. Por exemplo, Bussi re et al. (2003) e Cifuentes et al. (2006) consideram ao VEW como crit rio para a ruptura capilar. K mf et al. (2003) utilizaram o crit rio da suc o cr tica (SC) definida pela interse o entre a taxa de infiltra o e a permeabilidade n o saturada do material grosso. Na Figura 6.26, a modo de compara o, inclui-se tamb m esses crit rios. Para o material SP o VEW e a SC s o iguais a 7 kPa, pelo que se apresentam na Figura 6.26 com o nome de “crit rio VEW-SC”.

Na simula o 4 (q vari vel 2), a barreira capilar funcionou para todo o tempo analisado (180 dias), isso  , que a percol o de  gua na camada grossa foi menor que a taxa de infiltra o. Isso indica que a taxa de infiltra o negativa (evapora o) favorece ao sistema de barreira capilar. As demais simula es apresentaram uma ruptura da barreira capilar para um determinado tempo menor que os 180 dias. A localiza o da ruptura da barreira tamb m depende do tempo, para tempos mais prolongados o Ld   pequeno. A curva do crit rio de VEW-SC

fica sobre a curva de L_d para infiltração constante do material SP, o que indica que é mais conservadora. Para um mesmo tempo, o material RDC registra tempos maiores de ruptura da barreira capilar, em relação ao material SP.



Figuras 6.26 comparação das simulações da análise 1.

Na Figura 6.27 é apresentada uma saída gráfica do programa VADOSE/W onde aprecia-se a distribuição da sucção ao longo do topo da camada SP para diferentes tempos. Dessa maneira, gera-se a curva para o critério VEW-SC de 7kPa. Para o material de RDC não foi possível aplicar o mesmo critério, por que este tem uma sucção maior ao VEW. Aplicando o critério empregado por Kämpf et al. (2003) se encontra uma sucção crítica de 6kPa, que não é alcançada na faixa de tempo de 180 dias mostrada na Figura 6.28.

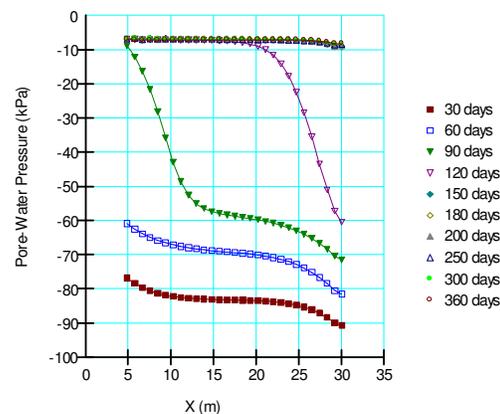


Figura 6.27 Variação das sucções no topo da camada SP para infiltração constante de 10^{-9} m/s.

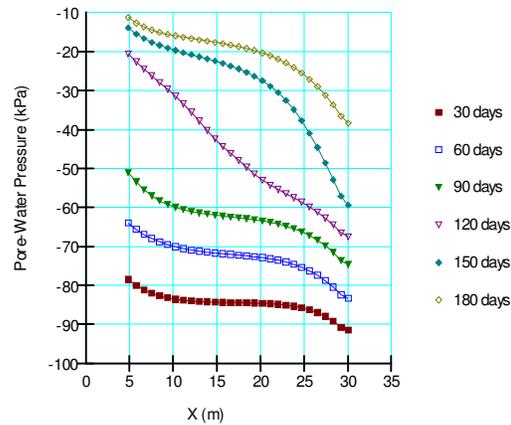


Figura 6.28 Variação das sucções no topo da camada RDC para infiltração constante de 10^{-9} m/s.

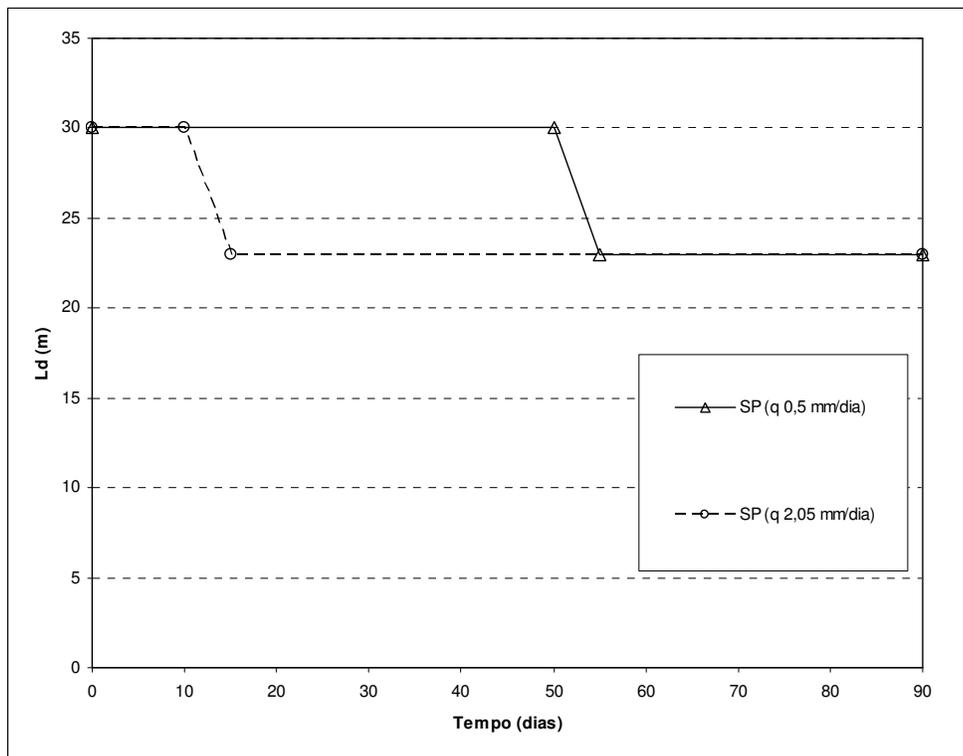
6.4.3.2. Simulações da análise 2

Nesta análise realizam-se comparações com diferentes taxas de infiltrações, e para diferentes materiais (SP e RDC) com as mesmas condições ambientais:

- simulação 2 (a) : material SP, infiltração constante de 0,5 mm/dia;
- simulação 2 (b): material SP, infiltração constante de 2,05 mm/dia;
- simulação 3 : material SP, com as condições ambientais de chuva e evapotranspiração da Figura 6.4. e
- simulação 4: material RDC, de maneira similar da simulação 3.

Para o primeiro caso, Figura 6.29, o incremento da taxa de infiltração reduz o tempo de ocorrência da ruptura capilar numa mesma localização (L_d). Após a ruptura da barreira capilar a L_d apresenta um valor constante ao longo do tempo.

No segundo caso, as condições ambientais (chuva e evapotranspiração) induzem uma variação dinâmica das percolações na interface solo fino/grosso. Pode-se diferenciar zonas de baixas infiltrações localizadas no topo do talude e de altas percolações na base, com isso, estimam-se os valores de L_d para RDC de 18 metros e para SP de 20 metros, Figura 6.20 e 6.24. A barreira capilar teve uma ruptura no tempo de chuva máxima (144 dias na Figura 6.4) para as duas camadas grossas estudadas.



Figuras 6.29 Comparação das simulações variando a taxa de infiltração.