

5

Simulação Numérica da Técnica Pump-and-Treat

As tecnologias de remediação da poluição das águas subterrâneas têm custos sujeitos a inúmeras variáveis, não podendo ser extrapolados de um local para outro, a não ser como simples referência. O tempo de duração da aplicação da tecnologia exerce forte influência nos custos e pode variar de alguns meses a uma dezena de anos. Algumas técnicas de remediação comumente utilizadas para a remediação de poluentes de tipo hidrocarbonetos são: atenuação natural monitorada, *Pump-and-Treat* e oxidação química *in situ* (Alvarez e Illman, 2006). Os maiores custos são associados à operação de sistemas de remediação do tipo bombeamento e tratamento *Pump-and-Treat*.

Cada local contaminado é único do ponto de vista de suas características geológicas, do tipo de contaminante, da extensão da contaminação, do meio contaminado, dos impactos e dos riscos ambientais inerentes à sua localização geográfica, proximidade de áreas industriais ou núcleos urbanos, corpos hídricos, manguezais e outras áreas sensíveis, além dos prazos e níveis de descontaminação acordados com o órgão de controle ambiental. As tecnologias de remediação podem ser divididas em tecnologias *in situ* e *ex situ*, isto é, será necessária a remoção ou não de material do local original para o tratamento. Um exemplo de técnica *in situ* de inovação é a técnica de remediação mediante barreiras reativas permeáveis, a qual é amplamente estudada por Obiri, Grajales e Grzegorz (Obiri, Grajales e Grzegorz, 2014)

No Brasil, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2013) disponibiliza dados referentes ao cadastramento de áreas contaminadas. Do total de casos onde se tem

informações sobre a técnica de remediação aplicada (1781), 472 casos, ou 26% do total, é aplicada a técnica de bombeamento e tratamento *Pump-and-Treat*.

5.1.

Técnica de remediação *Pump-and-Treat*

A técnica *Pump-and-Treat* ou de bombeamento é um dos sistemas de tratamento de aquíferos mais utilizados e consiste no bombeamento das águas subterrâneas poluídas à superfície para posterior tratamento externo de remoção de contaminantes (Alvarez e Illman, 2006).

Nos EUA o método de remediação *Pump-and-Treat* vem sendo adotado desde a década desde os anos 80, e consiste em instalar poços de bombeamento de maneira otimizada e estratégica, buscando sempre a interceptação da pluma poluente de modo a conter a migração e reduzir as concentrações do contaminante nas águas subterrâneas afeitadas (EPA, 1996a)

A extração dos líquidos poluentes dentro do poço vai influenciar o nível do aquífero em seu entorno formando um cone de rebaixamento. O poço de bombeamento possui um raio de influência que deve ser considerado nos projetos de remediação. Cheng, Jay e Tsai (Cheng, Jay e Tsai, 2007) fazem um estudo dos processos de otimização desta técnica, já que num cenário real o fator econômico do projeto é fundamental para seu desenvolvimento ou não.

A Figura 42 mostra o modelo de tratamento *Pump-and-Treat* fundamentado na interceptação hidráulica da pluma poluente de através de um poço de bombeamento. Além das características físico-químicas inerentes do próprio contaminante, a eficiência do bombeamento na remoção ou atenuação da pluma, depende diretamente das condições do local onde o composto se encontra inserido como poluente (EPA, 1996a).

O sistema *Pump-and-Treat* pode vir a ser pouco eficiente em solos de baixa permeabilidade contaminados, pois o transporte dos contaminantes é muito lento e a baixa velocidade de bombeamento pode inviabilizar o processo. Nesse sentido fatores como a permeabilidade do solo, impedimentos físicos e extensão da pluma, bem como

sua profundidade, são alguns dos principais fatores que devem ser observados na caracterização do local de remediação (EPA, 1996a).

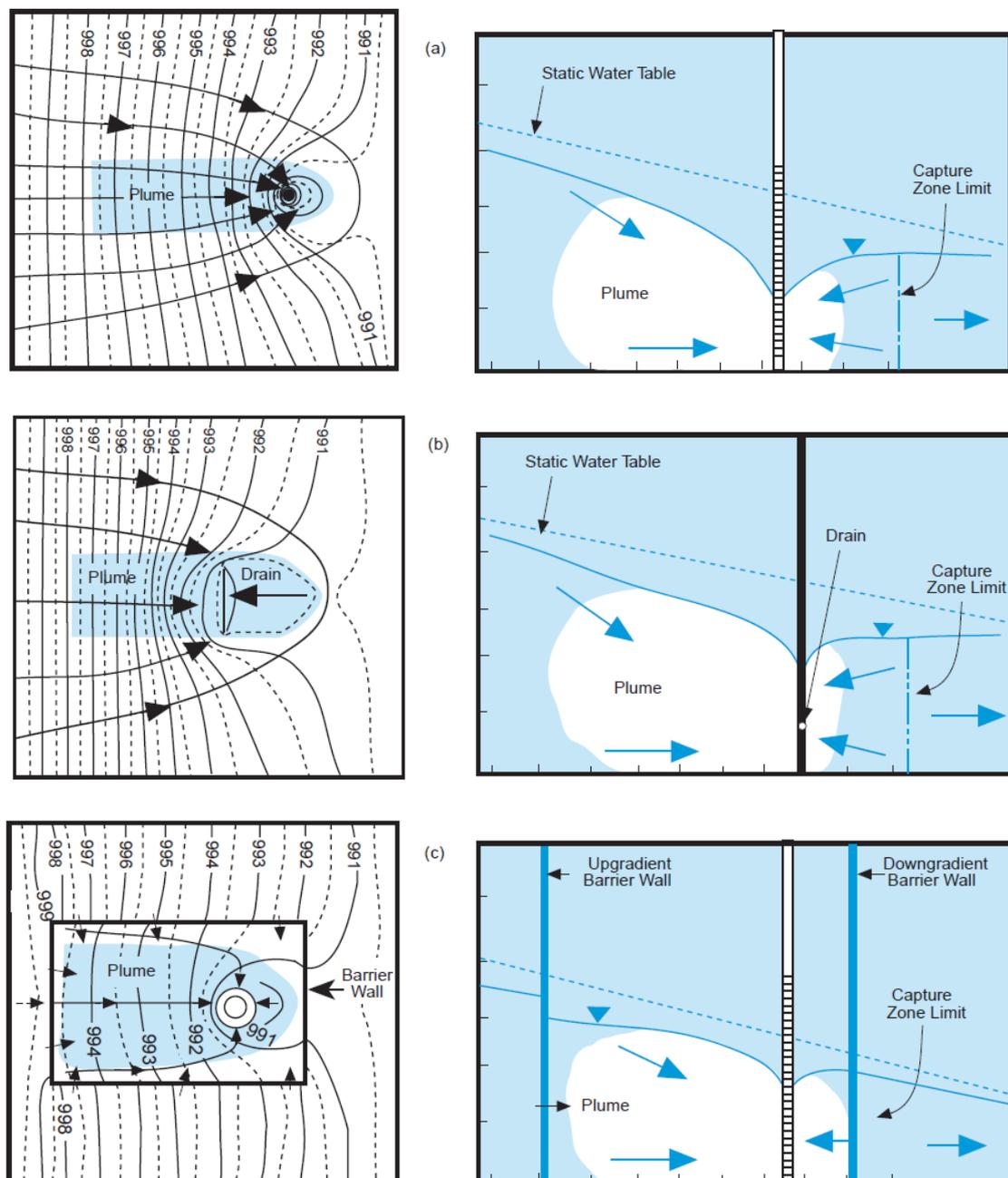


Figura 42 Modelo de tratamento Pump-and-Treat fundamentado na interceptação hidráulica da pluma poluente (EPA, 1996a)

5.1.1.

Simulação da Técnica de Remediação *Pump-and-Treat*

Como já foi descrito no modelo de fluxo transporte, o sistema simulado é constituído por um sistema composto por três camadas que representam dois aquíferos e um aquítarde. O domínio simulado tem dois poços de extração com vazões de 550 m³/dia e 400 m³/dia. Em quanto ao cenário do modelo de transporte pode-se mencionar que durante dez anos tem acontecido um vazamento regular de uma carga de combustível na zona de armazenamento do mesmo, gerando assim uma pluma poluente no aquífero livre ou freático.

Os dados fornecidos ao sistema de tratamento *Pump-and-Treat* representam as propriedades dos poços inseridos para o tratamento da poluição na área de estudo.

- **Cenário 1**

Neste cenário de remediação são simulados 9 poços de bombeamento *Pump-and-Treat* da pluma poluente. As características operacionais de cada poço são iguais, por exemplo, as taxas de bombeamento são de 20 m³/dia. A seguinte Figura 43 mostra as principais características operacionais dos poços: localização, taxa de bombeamento, tempo de operação e intervalo espacial do filtro permeável da bomba.

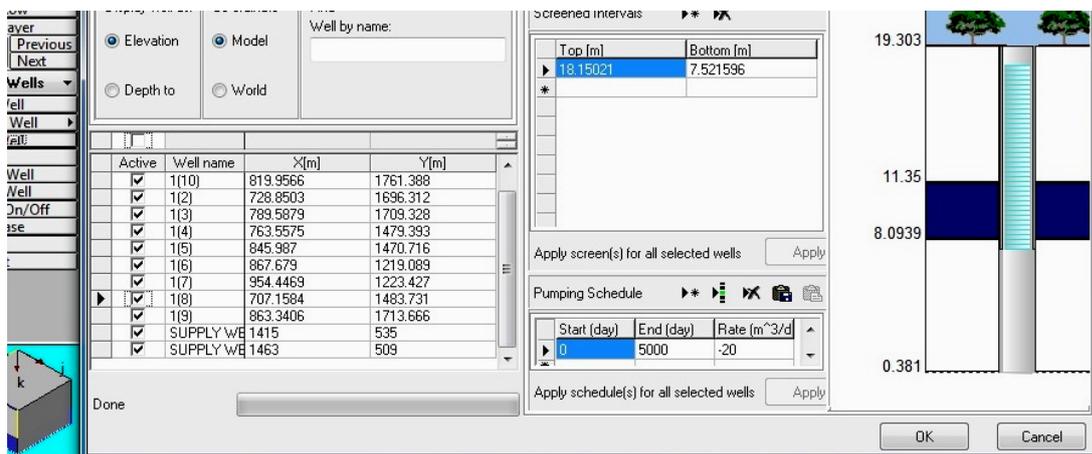


Figura 43 Características operacionais dos poços

Os poços penetram a camada composta do aquífero livre já que a profundidade do tanque de armazenamento do combustível (fonte de contaminação) fica

nessa profundidade. Na Figura 44 é possível visualizar a distribuição espacial dos poços de bombeamento simulados.

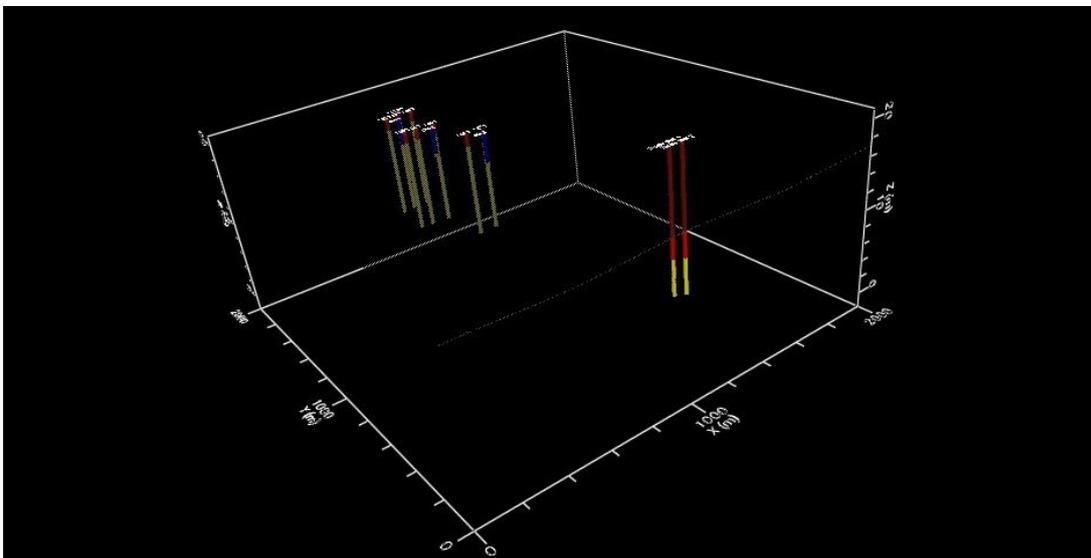


Figura 44 Distribuição 3D dos poços (cenário 1)

- **Cenário 2**

Neste segundo cenário de remediação são simulados 9 poços (6 poços superficiais que atingem o aquífero superior e 3 poços profundos que atingem o aquífero confinado) de bombeamento *Pump-and-Treat* da pluma poluente com vazões de -40 m³/dia. A distribuição espacial 3D dos poços na área de estudo é mostrada na Figura 45:

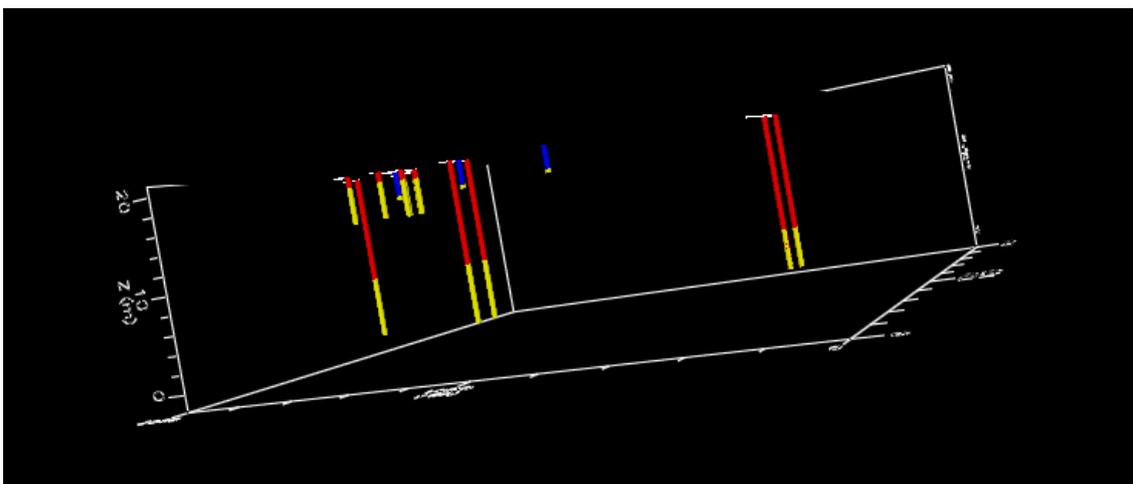


Figura 45 Distribuição 3D dos poços (cenário 2)

5.1.1.1

Resultados da Simulação

Seguidamente é apresentado a saída do modelo de simulação da remediação sub a técnica *Pump-and-Treat* (Cenários 1 e 2). Os resultados são a evolução espaciotemporal da pluma poluente para as três camadas aquíferas do modelo. O tempo de saída é 5475 dias.

- **Cenário 1**

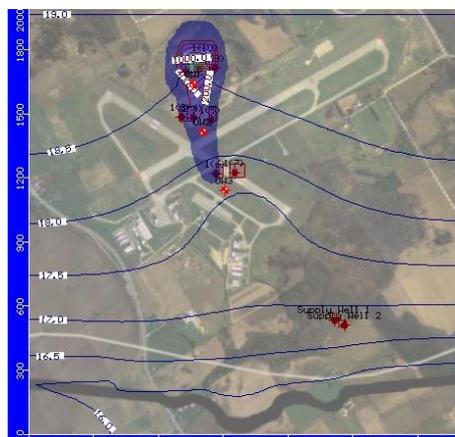


Figura 46 Concentração (camada 1)

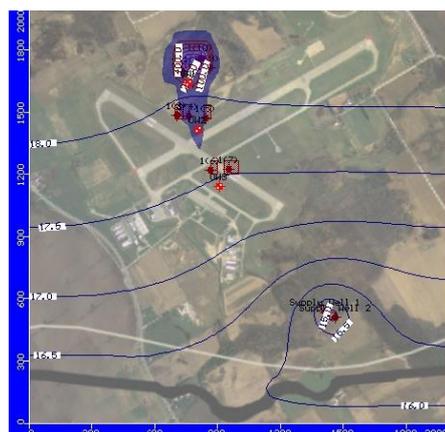


Figura 47 Concentração (camada 2)



Figura 48 Concentração (camada 3)

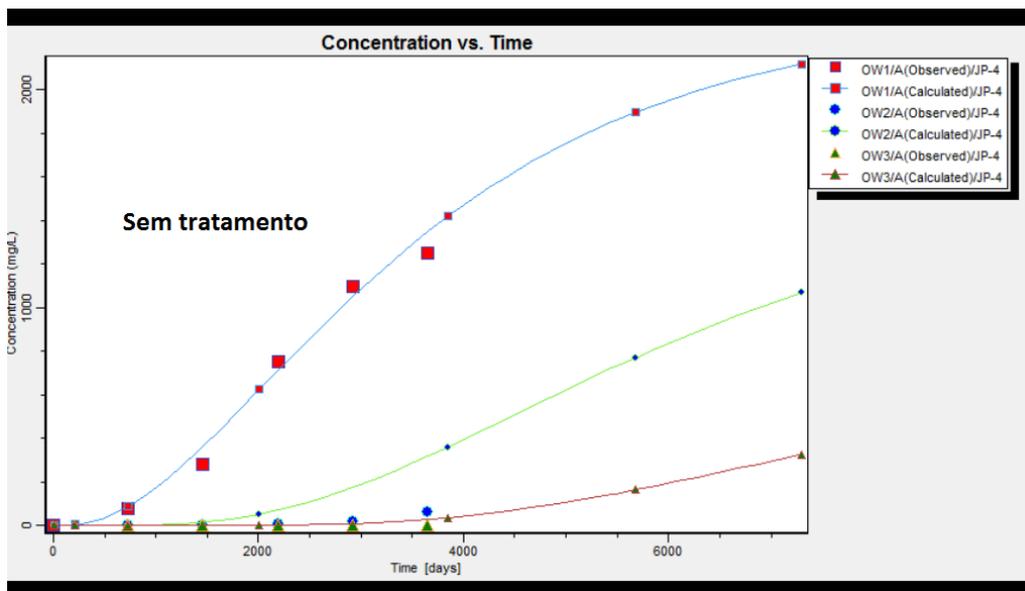


Figura 49 Concentração antes do tratamento

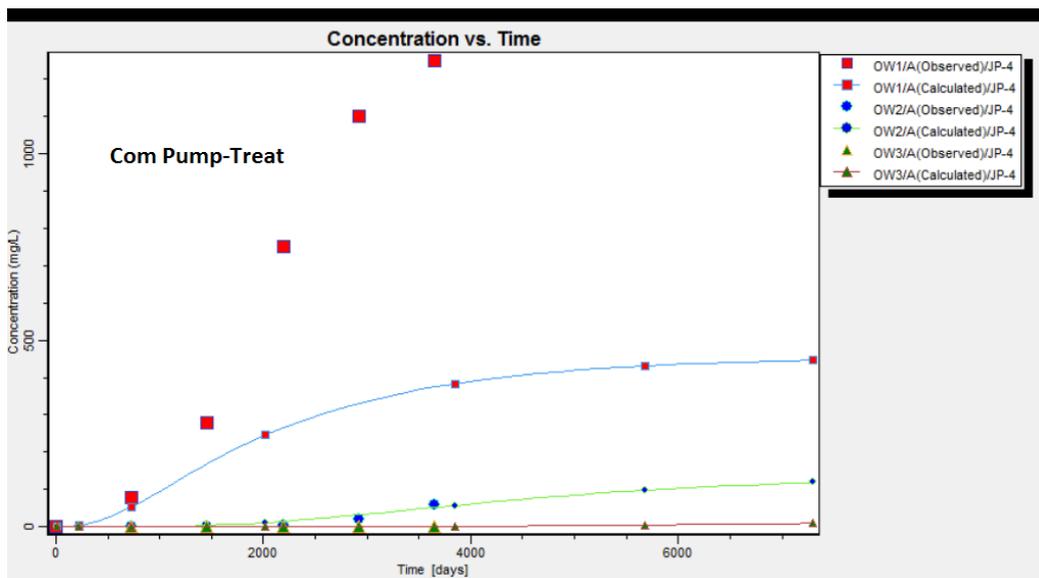


Figura 50 Concentração depois do tratamento

- **Cenário 2**

Seguidamente são apresentados nas Figuras 51, 52 e 53 os resultados da evolução espaciotemporal da pluma poluente para as três camadas aquíferas do modelo. O tempo de saída é 5475 dias. Finalmente a Figura 54 mostra as concentrações registradas pelos piezômetros OW1,OW2 e OW3 depois da técnica do tratamento estabelecida pelo cenário 2.

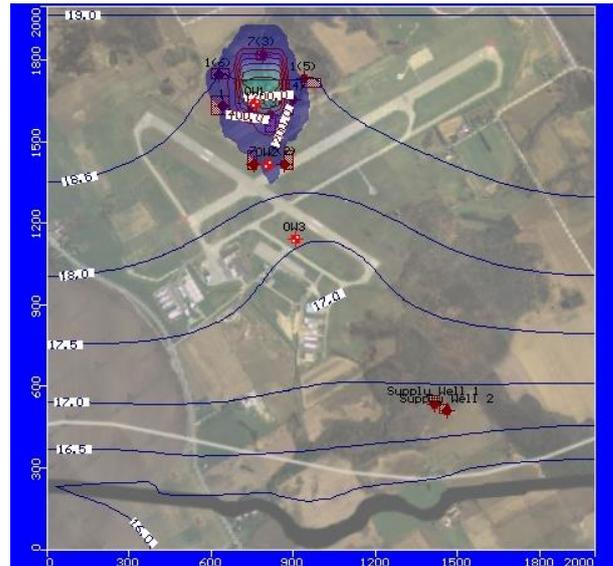


Figura 51 Concentração (camada 1)



Figura 52 Concentração (camada 2)



Figura 53 Concentração (camada 3)

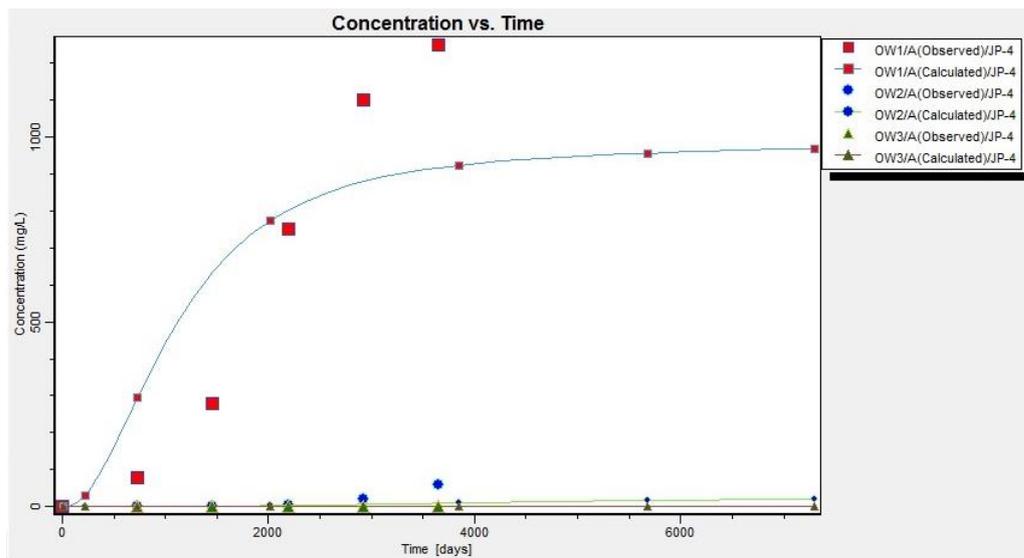


Figura 54 Concentração depois do tratamento (cenário 2)