

O BIM Aplicado às Grandes Escavações. Novas Formas de Comunicar o Faseamento Executivo. O Caso de Uma Estação de Metro

Ribeirinho, Luís
CENOR, Lisboa, Portugal, luis.ribeirinho@cenor.pt

Monteiro, André
BimTEC BIMTECNOLOGIAS, Porto, Portugal, andremonteiro@bimtec.pt

Baião, Carlos J. Oliveira
CENOR, Lisboa, Portugal, carlos.baiao@cenor.pt

RESUMO: No presente artigo introduz-se o processo BIM, destacando os conceitos que lhe são indissociáveis e apresentando as vantagens que lhe são inerentes, como por exemplo a capacidade de simular processos construtivos. Posteriormente, justifica-se a importância do faseamento executivo no projeto de grandes escavações, nomeadamente de escavações a céu aberto com recurso a cortinas flexíveis, acrescentando ainda de que forma o BIM pode contribuir para a sua comunicação. De seguida é apresentado um caso prático de aplicação do processo BIM a uma estação de metro com cerca de 6700 m² de área de implantação e 28 m de profundidade. Esta estação foi desenvolvida recorrendo a ambas as metodologias, CAD e BIM, permitindo, por isso, comparar resultados. Indicam-se ainda as principais dificuldades encontradas na abordagem BIM, explicando como foram ultrapassadas e dando exemplos concretos de procedimentos que se desenvolveram para dar resposta, designadamente à modelação da escavação.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Escavação a céu aberto, Faseamento Executivo, Estação de Metro.

1 INTRODUÇÃO

O presente artigo refere-se à aplicação do processo BIM (*Building Information Modeling*) a grandes escavações, explorando as vantagens gerais e particulares do mesmo neste tipo de obras.

A construção de estruturas subterrâneas tem vindo a conhecer um assinalável desenvolvimento a nível mundial. Este desenvolvimento tem sido particularmente importante nas áreas metropolitanas, onde as elevadas taxas de crescimento da população têm originado carências em redes de transportes e de outras infraestruturas de água, esgotos, gás, eletricidade e telecomunicações (Almeida e Sousa, 1998). Estas obras podem ser complexas e com características muito próprias onde, para

além da definição da estrutura de suporte, importa também definir com rigor o faseamento executivo da escavação.

Apesar de as ferramentas BIM não apresentarem ainda um grau de desenvolvimento elevado no que respeita especificamente às obras geotécnicas, já é possível desenvolver projetos completos de grandes escavações neste ambiente, tirando partido das vantagens inerentes a esta nova forma de trabalhar na indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) e em especial das ferramentas de definição de faseamento, que permitem transmitir a sequência dos trabalhos de forma mais intuitiva, facilitando assim a compreensão de quem executa com menos esforço de quem projeta.

2 O CONCEITO BIM

BIM é um processo integrado de gestão da informação das várias especialidades do projeto, construção e operação, por via do qual é possível gerar um fluxo estruturado de partilha de informação entre os diferentes intervenientes (Eastman, 2008). A informação das fases de projeto, construção e operação é integrada num modelo virtual do projeto onde a informação é diretamente associada a uma representação tridimensional do edifício/obra. O processo BIM inclui dois conceitos fundamentais indissociáveis, nomeadamente, a metodologia de utilização das ferramentas BIM e os fluxos de trabalho colaborativo para organização, transmissão e comunicação da informação gerada a partir dos modelos.

A generalidade das ferramentas de modelação BIM com maior presença no mercado partilha um conjunto de funcionalidades características, das quais se destaca a capacidade de extrair vistas, quantidades e informação diretamente a partir do modelo. A coordenação interdisciplinar entre projetos de diferentes especialidades veio beneficiar de outra funcionalidade característica de certas aplicações BIM, nomeadamente, a deteção automática de colisões entre elementos. Por outro lado, a capacidade de interligar o planeamento de atividades e o orçamento dos trabalhos com o modelo de projeto estende o leque de funcionalidades BIM ao domínio da construção e gestão de obra/empreitada. A integração de informação técnica no modelo permite ainda a sua utilização na fase de exploração, no âmbito da gestão de edifícios/infraestruturas. Individualmente, cada uma destas funcionalidades poderia justificar por si só a adoção de ferramentas BIM, no entanto, o verdadeiro potencial da metodologia reside na utilização abrangente e estruturada das várias funcionalidades num fluxo colaborativo ao longo do ciclo de vida da obra.

A modelação 3D aliada à integração de informação permite dar ao modelo diferentes tipos de utilização, para além dos indispensáveis como a criação das peças desenhadas do projeto, o que antes apenas seria possível mobilizando recursos especificamente

para o efeito. A simulação de processos construtivos com base na sequência animada das fases de construção, demolição, montagem e desmontagem é um exemplo de uma funcionalidade que poderá ser de extrema utilidade para instrução do projeto e que se torna economicamente viável para utilizadores de ferramentas BIM.

Em contraste com a metodologia tradicional, em que os vários processos de conceção, análise, desenho e documentação se encontravam fragmentados e em que o fio de ligação era o conhecimento obtido e formalizado em cada uma das atividades, a metodologia BIM permite e fomenta a utilização de uma mesma ferramenta para desenvolver várias destas atividades. Por outro lado, uma atividade pode também ser desenvolvida em várias ferramentas, com o produto, neste caso o modelo ou a informação, a ser transmitido entre plataformas. Trata-se, portanto, de um ecossistema mais aberto e mais expansivo, dominado sobretudo pela informação que é gerada em cada um das etapas. Garantir que a informação é gerada, transmitida e recebida de forma correta em cada uma das etapas é o objetivo da metodologia BIM que deverá ser absorvida de uma forma geral e abrangente por cada equipa, e específica e formalmente para cada projeto (Hardin, 2009).

3 O BIM APLICADO ÀS GRANDES ESCAVAÇÕES

3.1 A importância do faseamento executivo

No âmbito deste trabalho, consideram-se grandes escavações, aquelas que se desenvolvem em profundidade, quer seja em túnel, quer seja a céu aberto, como é o caso de poços, estações de metro, ou caves.

A abertura de um túnel num maciço previamente em equilíbrio e submetido a um estado de tensão adquirido ao longo do processo geológico traduz-se, de um ponto de vista mecânico, na remoção das tensões instaladas na superfície envolvente da abertura. Assim, à medida que a escavação do túnel progride e a respetiva frente avança, o campo de tensões no

maciço envolvente é significativamente alterado, sendo originado um movimento da frente dirigido para o interior da cavidade criada, bem como uma convergência das paredes até que um novo estado de equilíbrio seja atingido, pela mobilização parcial ou total da resistência do maciço, eventualmente complementada pela intervenção de uma estrutura de suporte.

Em geral, e particularmente em maciços terrosos, a necessidade de limitar a grandeza dos deslocamentos originados pela escavação por forma a impedir a deterioração de estruturas e infraestruturas vizinhas, ou evitar a rotura e a consequente desarticulação do maciço, obriga à instalação, tão perto quanto possível, de uma estrutura de suporte.

Esta interação entre o maciço e o suporte constitui um sistema altamente hiperestático. A grandeza e a distribuição das ações sobre o suporte não são apenas função das tensões iniciais instaladas no maciço, que determinam as alterações do estado de tensão associadas à escavação, e das características geométricas das aberturas, mas dependem também das propriedades mecânicas das diferentes formações interessadas pela obra e do processo construtivo adotado, nomeadamente no que concerne ao sistema de escavação, à velocidade de avanço, ao tipo e às características do suporte e ao momento da sua colocação (Almeida e Sousa, 1998).

No que diz respeito às escavações a céu aberto, são empregues em geral cortinas contínuas de estacas prancha de aço ou cortinas de paredes de betão armado moldadas no terreno. Estas estruturas de suporte designam-se flexíveis, pois experimentam em serviço deformações por flexão suscetíveis de condicionar a grandeza e a distribuição das pressões de terras.

O facto de as deformações da estrutura afetarem a distribuição das pressões que o maciço lhes comunica está relacionado com o efeito de arco em solos. As redistribuições de pressões por efeito de arco não dependem apenas das deformações por flexão da cortina. Com efeito, quer a grandeza dos impulsos de terras, quer a sua distribuição, são altamente dependentes das condições de apoio da cortina,

em particular da posição e da rigidez das escoras ou ancoragens a ela ligadas, bem como dos pré-esforços eventualmente instalados nestes elementos. Uma estrutura de suporte flexível e o seu maciço envolvente constituem pois um sistema altamente hiperestático (Matos Fernandes, 1990).

3.2 A importância do faseamento executivo

Tanto no caso da escavação em túnel, como no da escavação a céu aberto, os avanços são progressivos e intercalados com a colocação do suporte. O controlo desses avanços condiciona, como referido acima, o comportamento do sistema. Por este motivo, a sua definição é parte integrante do projeto. Conforme mencionado no capítulo anterior, o BIM assenta na simbiose entre representação tridimensional e informação, pelo que a informação temporal relativa à execução de cada elemento pode ser associada, tal como a definição geométrica, à respetiva representação do elemento da obra no modelo BIM. Com base nesta informação, é possível definir as fases necessárias à execução dos trabalhos e criar uma série de vistas, para cada momento, onde se evidenciam quais os elementos criados ou demolidos em cada fase, por meio de representação gráfica distinta para, por exemplo, cada tipo de operação a realizar. É ainda possível associar, a cada fase, um período temporal para representar a duração dos trabalhos e fazer variar, ao longo do tempo, a aparência dos elementos, criando, desta forma, uma animação do faseamento executivo. O grau de realismo desta animação dependerá, naturalmente do esforço despendido e da complexidade da obra, sendo necessário ponderar os benefícios e os custos. A informação temporal relativa ao faseamento é incluída no modelo BIM podendo ser utilizada ou manipulada por *software* especializado de gestão de obra, constituindo-se o modelo BIM como uma ferramenta auxiliar de visualização que poderá contribuir no controlo da empreitada.

4 A ESTAÇÃO DE METRO

No âmbito da implementação BIM na CENOR foi escolhido o projeto de uma estação de metro como projeto-piloto para formação das equipas de geotecnia e estruturas e em simultâneo para validação da aplicabilidade das ferramentas a este tipo de obras.

A área de implantação da estação, incluindo os acessos, é cerca de 6700 m². A escavação tem 130 m de comprimento, 22,6 m de largura média e 28 m de profundidade. Está ainda definido um poço de bombagem no extremo sudoeste da estação onde a escavação é 7 m mais profunda (Figura 1).

No que diz respeito à estrutura de contenção, foram projetadas paredes moldadas. Esta escolha resulta das fracas características mecânicas do terreno a escavar e do elevado nível freático que se encontrou nos ensaios realizadas. Definiu-se o encastramento das paredes de 16 m para garantir a impermeabilização do fundo da escavação, necessário face à presença de uma camada de cascalho com uma espessura de cerca de 5 m a uma profundidade média da ordem dos 34 m. A viga de coroamento do corpo principal da estação situa-se a uma profundidade média de 3,5 m, o que implica uma escavação geral, com tratamento dos taludes de escavação até ao terreno natural (Figura 2).

As paredes moldadas são executadas por painéis alternados em toda a profundidade, havendo um ligeira sobreposição entre os painéis de primeira e de segunda fase, resultante

da necessidade de garantir a continuidade da parede. As zonas de contacto dos painéis de primeira fase são demolidas para que haja uma boa ligação entre os betões de ambas as fases. No interior das paredes moldadas está prevista uma parede de forro, com 1,4 m de espessura, que será executada em conjunto com os níveis de apoio à medida do avanço da escavação.

Estão definidos 5 níveis de escoramento, dos quais quatro são metálicos e o restante é uma laje intermédia da estação com 0,70 m de espessura (Figura 3). Cada apoio da estação a materializar pelos perfis metálicos será formado por duas secções em caixão com um comportamento viga-coluna independente, sendo cada caixão constituído por dois perfis HEB500 ligados estruturalmente em todo o seu comprimento por perfis LNP 50x4 soldados nos banzos superiores e inferiores (Figura 4). Tendo em conta os esforços atuantes em cada nível, foi necessário definir contraventamento na direção de menor inércia dos perfis nos três níveis de escoramento abaixo da laje intermédia (Figura 5). A localização de cada nível foi definida tendo em conta as cotas de escavação e as juntas de betonagem da parede de forro.

A arquitetura da estação obrigou à definição de três nichos na parede sul para instalação de poços de ventilação até à superfície, tendo-se definido o escoramento de forma a não ocupar o espaço corrente do interior da estação nessas zonas, para permitir a movimentação de materiais e equipamentos entre o interior e o exterior da escavação (Figura 6).

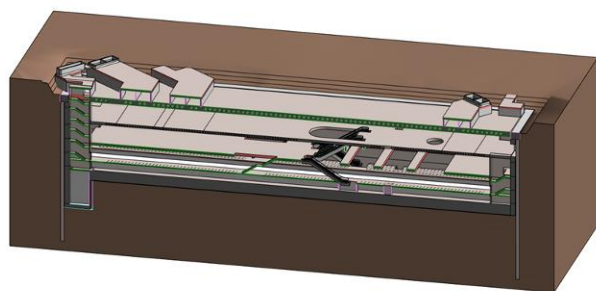


Figura 1. Vista em corte do modelo tridimensional da estação de metro.

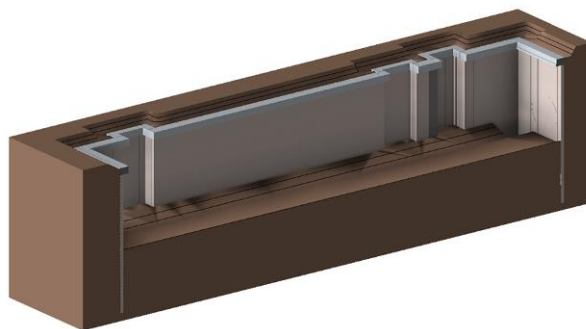


Figura 2. Paredes moldadas e viga de coroamento.

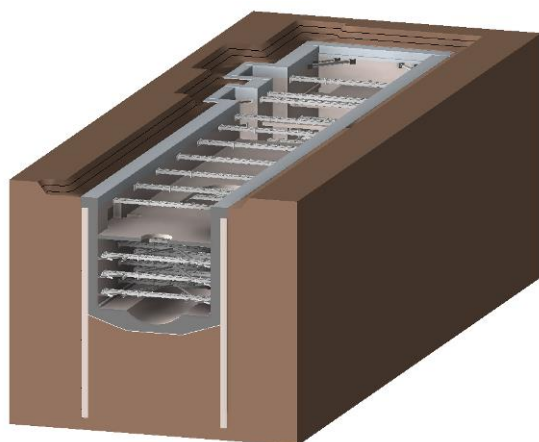


Figura 3. Níveis de escoramento.

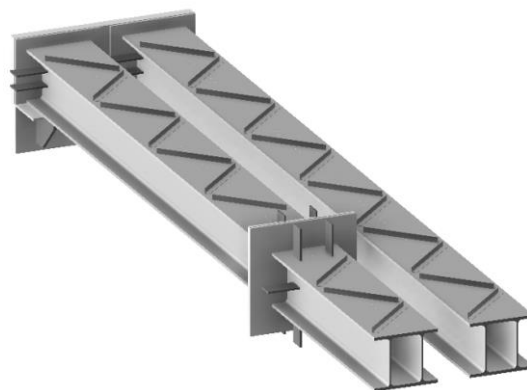


Figura 4. Perfis metálicos.

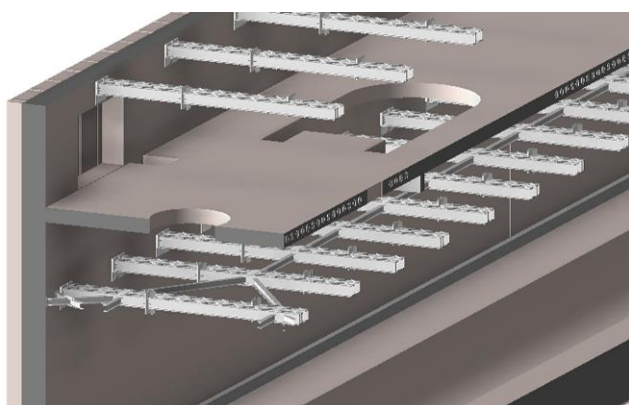


Figura 5. Contraventamento dos níveis abaixo da laje intermédia.

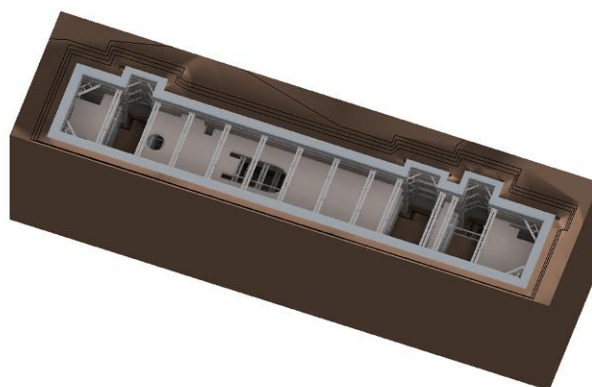


Figura 6. Aproveitamento dos nichos para permitir a movimentação de materiais e equipamentos.

Foram ainda definidos rolhões em *jet-grout* nas extremidades da estação com dois objetivos. Por um lado, durante a fase de escavação da estação, permite conter os impulsos atuantes sobre as paredes de topo ao nível das zonas de interação com o túnel, uma vez que as paredes moldadas nesta zona foram definidas sem armadura, para que pudessem ser atravessadas pela tuneladora. Por outro lado, durante a fase seguinte, confere aos terrenos no tardo das paredes de extremidade uma resistência e uma deformabilidade suficientes para assegurar um bom comportamento mecânico face às tensões e deformações induzidas pelo avanço da tuneladora, principalmente no que diz respeito ao controlo das pressões na face da escavação

5 ELEMENTOS EXTRAÍDOS

A modelação desta estação em BIM foi feita em paralelo com a produção recorrendo à metodologia tradicional, uma vez que este era um trabalho em curso e não se achou prudente comprometer a qualidade e prontidão da entrega com as eventuais vicissitudes decorrentes de uma nova metodologia ainda não experimentada pela equipa e que, à data, ainda não estava formalmente implementada na empresa. O REVIT foi o *software* adotado pela CENOR para o desenvolvimento dos seus projetos BIM. Esta escolha foi uma decisão com base nas características da empresa, das características dos projetos habitualmente desenvolvidos e também da histórica ligação ao *software* Autodesk.

Este projeto-piloto tinha três propósitos fundamentais: formar uma equipa capaz de modelar em BIM (usando REVIT); testar, na CENOR, a capacidade de desenvolvimento de projetos de grandes escavações em BIM; obter medições das principais quantidades de materiais do projeto.

Uma forma de validar o segundo propósito foi a replicação de alguns dos desenhos produzidos em CAD, selecionando-se desenhos considerados representativos de cada tipo, nomeadamente, plantas, cortes, alçados e detalhes. Em adição aos elementos produzidos de representação tradicional, foi ainda possível gerar uma animação do faseamento executivo que resultou da combinação do modelo com o planeamento. Refira-se que a extração das principais quantidades de material da forma que se pretendia obrigou à adoção de alguns processos específicos de modelação.

6 - COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS CAD E BIM

A principal vantagem de o projeto ter sido desenvolvido recorrendo a ambas as metodologias, CAD e BIM, foi permitir comparar resultados. As condições de trabalho nas duas abordagens não foram as mesmas, no entanto, isso foi tido em conta na comparação realizada. A quantidade de trabalho produzido em CAD foi maior, não só porque se produziram mais desenhos da estação, mas também porque foram definidos os seus acessos, que não foram modelados em BIM. Por outro lado, o tempo despendido em BIM reflete, em parte, o tempo necessário para adaptação a um novo *software*, o desenvolvimento de metodologias de modelação, a criação de vários objetos personalizados e o teste dos modelos, em virtude de este ser o primeiro projeto do género realizado na empresa, o que justifica não existirem ainda as bases necessárias para agilizar o processo.

Contabilizaram-se as horas gastas em CAD e em BIM. Em relação às horas gastas em CAD, admitiu-se que 50% do total teria sido gasto a desenhar os acessos à estação e que dessas horas, 5% teriam sido gastas em alterações

decorrentes da conceção. Considerou-se um valor bastante reduzido para as alterações, uma vez que os avanços e recuos da conceção foram praticamente todos absorvidos pela engenharia e pelo cálculo. Assim sendo, contabilizaram-se 473 horas em CAD. No que diz respeito às horas gastas em BIM, o total das horas registadas é de 464 horas, ou seja, da mesma ordem de grandeza das horas gastas em CAD. Contudo, 150 dessas horas foram de apoio à modelação, valor que tenderá a diminuir com a maturidade da equipa.

Uma outra vantagem do BIM que ainda não se reflete nestes números é o tempo despendido em medições. À data da publicação deste trabalho, as medições com base no trabalho CAD tradicional ainda não tinham sido efetuadas pela metodologia tradicional e, por isso, não puderam ser contabilizadas. Essas horas seriam gastas maioritariamente em CAD, uma vez que as medições em BIM estão mais automatizadas e a partir da modelação é possível criar, de forma expedita, quadros de quantidades.

Em relação à qualidade do trabalho produzido, pode afirmar-se que se produziram entregáveis com o mesmo rigor e detalhe que pautam o restante trabalho produzido pela empresa, tendo sido inclusivamente detetadas algumas incompatibilidades entre desenhos desenvolvidos pela metodologia tradicional e que não tinham sido descobertas pela equipa CAD, tendo permitido realizar algumas correções e evitando que as incompatibilidades surgissem na fase de medições ou mesmo durante a preparação de obra.

No que se refere às dificuldades relativamente à abordagem BIM, destaca-se a falta de experiência dos modeladores, a necessidade de avaliar vários cenários possíveis de modelação e o facto de as ferramentas disponíveis não estarem ainda totalmente amadurecidas. Estima-se que, no futuro, o tempo necessário para desenvolver os modelos e preparar as peças desenhadas será reduzido relativamente ao verificado neste projeto-piloto uma vez que a inexperiência dos modeladores tenderá a desaparecer à medida que a equipa for desenvolvendo mais projetos em BIM. Para além disso, é expectável o aparecimento de

novas soluções para dar resposta a requisitos de utilização específicos à medida que cada vez mais empresas forem adotando a metodologia BIM e as *softwarehouses* forem aprimorando os seus *softwares*.

No que diz respeito à necessidade de otimizar a aplicação interna da metodologia BIM, considera-se que, apesar de ter sido uma dificuldade, foi também um dos propósitos do projeto-piloto. Este projeto foi considerado piloto por ter como missão definir a estratégia a adotar nos projetos seguintes e por estabelecer os índices de performance que permitem avaliar as vantagens desta metodologia.

Salientam-se dois exemplos de casos concretos da necessidade de avaliação de vários cenários possíveis de modelação. O primeiro está relacionado com a modelação da escavação. O primeiro passo foi a importação do CAD com as curvas de nível e os pontos que definiam o terreno natural, convertendo-se de seguida essa informação numa topografia REVIT. Definida a fase zero (existente), a topografia das fases seguintes foi, inicialmente, definida à custa de uma ferramenta específica da aplicação para fasear alterações topográficas. Contudo, as ferramentas de modelação de superfícies topográficas, com as quais se definiriam as alterações ao terreno em relação à sua forma original, limitam-se à edição dos pontos que definem a topografia. Esta operação, realizada com a referida ferramenta do REVIT mostrou-se muito trabalhosa, especialmente tendo em conta que a escavação em causa se executa na vertical, o que se traduziu em

frequentes erros de triangulação. Houve então necessidade de encontrar um procedimento mais apropriado para definir as fases de escavação. Uma vez que uma das características do BIM passa pela integração da contribuição de diferente *software* para o desenvolvimento do modelo, a solução passou pela utilização do Civil 3D, um programa orientado e estruturado para a modelação de superfícies topográficas

O procedimento adotado passou pela criação das superfícies de cada fase em Civil 3D, através das quais se geraram sólidos entre cada duas superfícies, representando os volumes a movimentar em cada fase. Os sólidos gerados automaticamente pelo Civil 3D foram importados para o modelo REVIT como elementos genéricos. Neste caso, optou-se por perder a classificação do elemento como pertencendo à categoria de topografia em prol da velocidade e do rigor com que foi possível definir a geometria.

O segundo exemplo está relacionado com a escolha da ferramenta para modelação das paredes moldadas. Atendendo ao próprio nome faria sentido que fossem modeladas com a ferramenta disponível para modelação de paredes. Contudo, dada a necessidade de modelar a sobreposição dos painéis, bem como a sua individualidade, isto é, que cada painel se mantenha independente e que não se funda com os painéis adjacentes, optou-se por modelar cada painel como pilar, cuja ferramenta no REVIT apresenta um comportamento mais parecido com o que se pretende obter para os painéis das paredes moldadas.

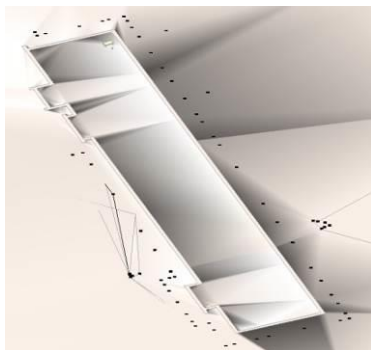


Figura 7. Modelação de superfície topográfica recorrendo à edição de pontos no Revit.

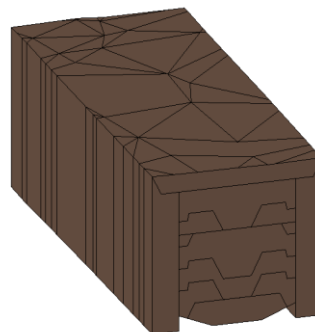


Figura 8. Elementos genéricos da topografia importada do Civil 3D.

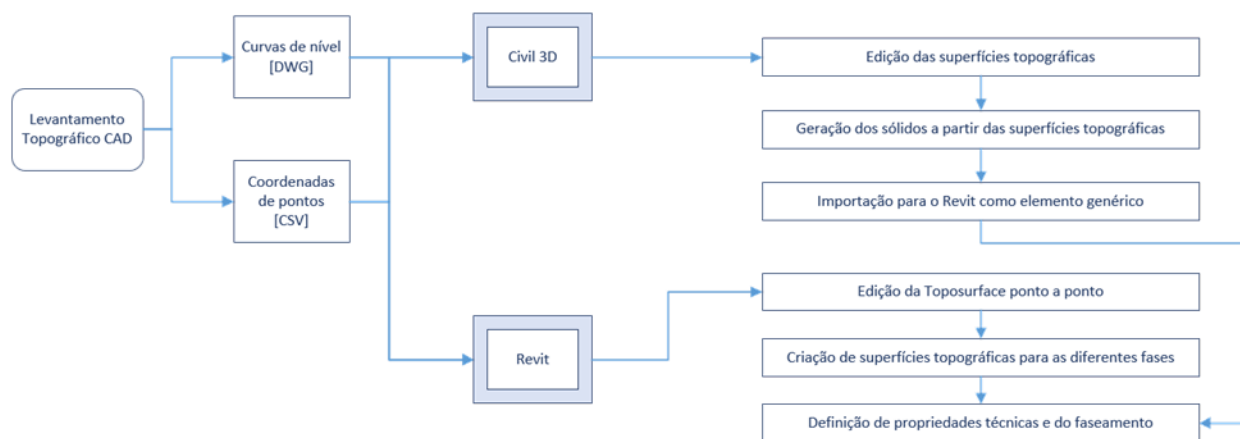


Figura 9. Procedimentos adotados para modelar o terreno.

7 -CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Os resultados do projeto apresentado no presente documento permitiram concluir que é efetivamente possível utilizar uma metodologia BIM em projetos da indústria AEC, incluindo especialidades menos frequentemente associadas ao BIM, como é o caso da geotecnia, obtendo benefícios a nível da produtividade e da comunicação e instrução do projeto. A possibilidade de planejar de uma forma mais rigorosa o faseamento da construção, a segurança com que se introduzem alterações e se detetam incoerências no modelo representa uma mais-valia significativa para o Projetista, o Empreiteiro e o Dono de Obra.

Por outro lado, o projeto-piloto aqui apresentado permite ainda desmistificar a ideia de que a inexistência de pessoal formado em ferramentas BIM inviabiliza a implementação da metodologia na empresa. Com efeito, um dos objetivos deste projeto-piloto era formar uma equipa capaz de modelar em BIM, objetivo esse que foi alcançado, como de resto se comprova pelo trabalho aqui apresentado.

Afigura-se ainda bastante importante a existência, na empresa, de pessoal com capacidade para utilizar diversas aplicações para desenvolver o modelo BIM do projeto, permitindo assim criar um fluxo de trabalho que potencie as forças de cada aplicação e que permita obter, de forma produtiva, um modelo de informação o mais funcional possível.

No que diz respeito a avanços futuros, estes

passarão decerto pela ligação dos modelos das obras geotécnicas a programas de cálculo geotécnico, nomeadamente de estabilidade, de percolação, de análise dinâmica ou de tensão-deformação. Recorde-se que, estando o faseamento construtivo definido no modelo, poderia ser possível importar também essa informação para o programa de cálculo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Eng.º Luís Rodrigues e à Arq.ª Sofia Henriques a sua colaboração na elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS

- Almeida e Sousa, J. N. V. (1998). *Túneis em maciços terrosos. Comportamento e modelação numérica*. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Eastman, C. (2008). *BIM handbook a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley and Sons Ltd. New Jersey.
- Hardin, B. (2009). *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. Wiley Publishing, Inc. Indiana.
- Matos Fernandes, M. (1990). *Estruturas de suporte de terras*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.