

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS E INTEGRAÇÃO EM BIM

Simona Fontul

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal / Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal, E-mail:simona@lnec.pt

Paula Couto

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, E-mail:pcouto@lnec

RESUMO: A avaliação sistemática da condição estrutural de pavimentos é essencial para os gestores de infraestruturas. Este trabalho pretende apresentar duas vertentes ligadas à avaliação de pavimentos: por um lado, a integração em BIM de dados recolhidos durante a avaliação funcional e estrutural de pavimentos e da sua classificação e, por outro lado, o novo método de classificação estrutural de pavimentos aeroportuários, recentemente em vigor. A avaliação estrutural de pavimentos aeroportuários mudou recentemente o sistema de classificação dos pavimentos requerida pela ICAO (International Civil Aviation Organization) para ACR/PCR (Aircraft Classification Rating / Pavement Classification Rating), sendo atualmente baseado num sistema de avaliação mecanicista. Esta mudança requer uma avaliação estrutural dos pavimentos existentes. A avaliação é geralmente realizada através de ensaios de carga não destrutivos com o defletómetro de impacto e medição de espessuras com o Georadar. O presente trabalho apresenta três exemplos de integração de dados de caracterização funcional e estrutural de aeroportos em *Building Information Modelling* (BIM), incluindo um exemplo de aplicação do novo método de avaliação. As principais vantagens e limitações associadas ao processo de avaliação e representação em BIM são referidas neste trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Estrutural, Pavimentos Aeroportuários, ACR/PCR, BIM.

1. Introdução

As infraestruturas de transportes encontram-se, na atualidade, sujeitas a um aumento cada vez maior do tráfego, quer se trate de rodovias, ferrovias ou aeroportos, devendo a sua manutenção e reabilitação ser realizada de forma eficaz e eficiente. Assim, a monitorização da capacidade estrutural e funcional das infraestruturas de transportes, usando ensaios não destrutivos, deve ser realizada de forma sistemática, e é importante que as campanhas de prospeção sejam aproveitadas para planejar as intervenções futuras a realizar (FALCÃO SILVA et al., 2020; FONTUL, 2019).

No âmbito das infraestruturas aeroportuárias, os seus pavimentos desempenham um papel crítico, sendo fundamentais para a operação segura e eficiente dos aeroportos. Eles suportam não apenas o peso das aeronaves durante as descolagens e aterragens, mas também o tráfego de veículos de apoio, como caminhões de carga e autocarros de passageiros. Portanto, a qualidade e a manutenção destes pavimentos são essenciais para garantir a segurança das operações aéreas.

O *Building Information Modelling* (BIM) é uma metodologia relativamente recente e inovadora, que se afigura como uma ferramenta da maior importância e com grande potencial quando aplicada ao estudo de infraestruturas de transporte novas ou a reabilitar. Neste artigo, são apresentados três casos de estudo de

aplicação de BIM na monitorização e avaliação de pavimentos aeroportuários existentes, nos quais foi estudada a integração da componente estrutural na modelação. Desta forma, é possível obter um modelo tridimensional que contenha informação sobre a condição estrutural resultante de inspeções contínuas efetuadas.

2. Pavimentos Aeroportuários

A caracterização do estado dos pavimentos aeroportuários é uma tarefa essencial para a gestão da segurança, operação e manutenção das infraestruturas aeroportuárias. A monitorização adequada de pavimentos durante o seu ciclo de vida é uma tarefa desafiante. Uma inspeção adequada pode levar a uma melhor compreensão das necessidades atuais e do estado de desempenho estrutural dos pavimentos. Por outro lado, uma avaliação detalhada dos danos nos pavimentos fornece informação fiável para evitar perdas económicas desnecessárias e garante a segurança e o conforto para o transporte de pessoas e bens (FONTUL, 2019).

Os pavimentos aeroportuários são projetados para suportar cargas de aeronaves, resistir a condições climáticas e proporcionar uma superfície de rolamento suave e durável. Existem três tipos principais de pavimentos aeroportuários: pavimentos flexíveis, rígidos e semirrígidos. Os pavimentos aeroportuários em Portugal são na maioria dos casos flexíveis nas pistas e caminhos de circulação, e rígidos nas plataformas de estacionamento. Existem ainda, alguns casos de pavimentos semirrígidos, constituídos por um reforço em misturas betuminosas de pavimentos rígidos existentes.

A deterioração em pavimentos é inevitável e o aumento de operações têm vindo a acelerar o seu processo nas infraestruturas existentes. Esta deterioração gradual é ainda acelerada por vários fenómenos, tais como, introdução de aviões de grande porte, efeitos de fadiga, técnicas de construção defeituosas, materiais de qualidade inferior, condições climáticas, entre outros. Por estas razões, os pavimentos requerem uma manutenção atempada e adequada com base nos resultados de campanhas sistemáticas de avaliação das características funcionais e estruturais.

3. Metodologia BIM

A metodologia BIM é um processo inovador utilizado no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) que envolve a criação e gestão de representações digitais das características físicas e funcionais de um empreendimento. No essencial, o BIM é uma abordagem colaborativa que permite a integração de informações ao longo de todo o ciclo de vida de um empreendimento, desde o planeamento e projeto até à construção, operação e manutenção. Os principais componentes e características da metodologia BIM são:

- Modelação digital tridimensional (modelo 3D);
- Informação integrada (objetos do modelo com características técnicas, tempos, custos, etc.);
- Colaboração e coordenação (ambiente digital colaborativo entre todos os intervenientes);
- Ciclo de vida do empreendimento (gestão e atualização da informação em todo o ciclo de vida);
- Simulação e análise (testes virtuais para antecipar problemas e melhorar o desempenho);
- Sustentabilidade e eficiência (permite otimizar recursos, reduzir desperdícios e encurtar prazos).

Esta metodologia apresenta mudanças significativas face à abordagem tradicional de conceção, construção e manutenção de infraestruturas, sendo a sua função básica a colaboração entre os diferentes intervenientes nas diferentes fases do ciclo de vida de uma infraestrutura, e destina-se a adicionar, extrair, atualizar ou alterar dados em cada uma das etapas, conforme necessário ao longo do processo (EASTMAN et al., 2008).

No âmbito das infraestruturas aeroportuárias, pretende-se avaliar a aplicabilidade prática da metodologia BIM no armazenamento e visualização de informação estrutural e funcional relativa aos pavimentos aeroportuários. Esta metodologia pode ser implementada nos sistemas de gestão de pavimentos aeroportuários, possibilitando

o registo das suas características físicas e geométricas, a inserção automática dos resultados das campanhas de monitorização, bem como os dados sobre as intervenções realizadas no pavimento (LOPES, 2017).

A metodologia BIM tem o potencial de transformar significativamente a gestão de pavimentos aeroportuários em várias dimensões, como por exemplo, na integração de dados, na visualização, no planeamento, na manutenção preditiva, na colaboração entre equipas, na análise de custo-benefício e nas práticas sustentáveis. Estes benefícios, para além de aumentarem a eficiência operacional, também garantem a segurança e a durabilidade das infraestruturas aeroportuárias.

No primeiro caso de estudo foi usado um módulo exclusivo para documentação e análise estrutural, disponível no *software* BIM utilizado, cujas principais características são: i) componentes paramétricos estruturais; ii) detalhe estrutural; iii) modelação multimaterial; e iv) visualização e modelação em 3D (LOPES et al., 2018). No segundo caso de estudo registaram-se os dados de monitorização dos pavimentos, recolhidos a partir do Radar de Prospeção, nas intervenções realizadas ao longo de vida útil da infraestrutura, permitindo a visualização das variações de espessura das camadas do caminho de circulação (VERA CRUZ, 2022). No terceiro caso de estudo, foram inseridos no modelo os critérios de avaliação estrutural ACN/PCN e ACR/PCR, de maneira a permitir o acompanhamento da evolução do estado das diversas camadas do pavimento, permitindo a visualização tridimensional da informação, o que facilita a interpretação da estrutura no espaço e permite analisar todas as camadas que compõem o pavimento em profundidade (LIMA et al., 2024).

4. Casos de Estudos

4.1 Caso de Estudo 1 – Aeroporto Nacional – avaliação funcional e estrutural

O primeiro caso de estudo consiste na análise de uma pista aeroportuária de um aeroporto nacional, relativo à sua avaliação funcional e estrutural. O aeroporto tem uma área total de pavimentos flexíveis de 139000m² e as suas áreas operacionais, que estão representadas na Figura 1, são divididas em 3 grupos: pista A-B (Runway A-B), caminhos de circulação C e D (Taxiways C & D) e plataforma de estacionamento (Apron platform). A pista aeroportuária tem ainda um comprimento total de 1700m e uma largura de 60m. e foi sujeita a uma expansão e reforço em 2001 e um reforço adicional em 2012.

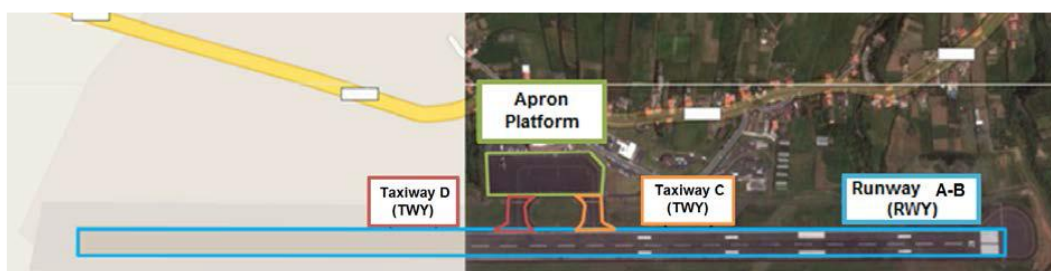


Figura 1. Planta das áreas operacionais

A estrutura do pavimento apresentado é constituída pelos seguintes tipos de materiais:

- Camada sub-base de materiais granulares, de cerca de 15 cm de espessura;
- Camada base de semipenetração betuminosa, de cerca de 8 cm de espessura;
- Camadas de betão betuminoso, de cerca de 20 cm de espessura.

A análise do caso de estudo começou por estudar as seguintes campanhas de avaliação realizadas ao longo do tempo: inspeção visual (1998, 2010, 2012, 2013 e 2015); avaliação funcional: medição do coeficiente de atrito e da profundidade de textura (2012, 2013 e 2015) e avaliação estrutural: ensaios de carga com Defletómetro de Impacto e sondagens à rotação (1998, 2010 e 2012).

A inspeção visual dos pavimentos deteta eventuais anomalias visíveis na sua superfície, devendo ser realizada antes do início das campanhas de avaliação funcional ou estrutural. Nas inspeções visuais realizadas, foram observadas algumas patologias de degradações mais frequentes ao longo da pista, tais como, a presença de água na superfície, manchas em zonas de acumulação de água e a presença de matéria vegetal. Este tipo de campanhas não foi introduzido no BIM, pois tratou-se de um ensaio feito em zonas específicas da pista. No entanto, isto poderia ser realizado com o uso do *Laser Scanner*, que permite o levantamento das características do pavimento, podendo ser um desenvolvimento futuro para aplicação em BIM.

Nas campanhas de avaliação funcional procedeu-se à medição do coeficiente de atrito, que se baseia nas características geométricas e pela qualidade da combinação microtextura-macrotextura, sendo relevante para a segurança dos aviões. Foi ainda medida a profundidade de textura, usando o método da “mancha de areia” (U.S. Dep. of Trans., 1997), sendo fundamental por permitir a evacuação da água da superfície e manter o contacto entre a roda e a superfície em condições críticas. Nas campanhas de avaliação estrutural foram realizados ensaios de carga com defletómetro de impacto, que são ensaios não destrutivos para avaliar as propriedades dos materiais do pavimento, a fim de detetar as diferenças ou discontinuidades entre eles (MEIER, 1995). A análise dos resultados permitiu dividir os pavimentos em zonas de comportamento estrutural homogéneo, nas quais foram realizadas sondagens à rotação, e depois, através da retroanálise foi estabelecido o modelo de comportamento estrutural de cada uma das zonas de comportamento homogéneo. A título de exemplo, apresentam-se os módulos de elasticidade de algumas camadas para as campanhas de 2012 na Tabela 1.

Tabela 1. Módulos de elasticidade das camadas

Zona	Localização (m)	B. Betuminoso	M. Granular	Fundação
		E (MPa)	E (MPa)	E (MPa)
1	0 - 750	1600	220	60
2	750 - 1050	1500	120	50
3	1050 - 1600	1400	140	70

O pavimento foi ainda classificado segundo o sistema ACN/PCN (*Aircraft Classification Number/Pavement Classification Number*). De acordo com este método, é possível exprimir o efeito de solicitação produzida por um dado avião num valor numérico ACN e a capacidade de carga de um pavimento num valor numérico PCN (ICAO, 2009; FAA, 2014). Os valores de PCN para cada uma das zonas definidas da pista são apresentadas, para cada campanha, na Tabela 2.

Tabela 2. Valores do PCN

Zona	1998	2010	2012
1	18/F/C/X/T	17/F/C/X/T	42/F/C/X/T
2	16/F/C/X/T	23/F/C/X/T	41/F/C/X/T
3	23/F/C/X/T	23/F/C/X/T	37/F/C/X/T

Após a análise do caso de estudo, as características obtidas podem ser registadas na modelação em BIM da pista, que foi realizada adicionando cada uma das zonas definidas, com os seus objetos e propriedades estruturais correspondentes. Os limiares da pista (*threshold*) foram também modelados, como uma referência à orientação da pista, observados na Figura 2.

Um dos recursos do *software* BIM utilizado é a possibilidade de representar graficamente determinados parâmetros por cor, adicionando um esquema de cores (*Color Scheme*) a cada parâmetro, para a visualização de dados do objeto, conforme ilustrado na Figura 3. Estas informações podem ser adicionadas a uma área ou objeto específico do modelo.

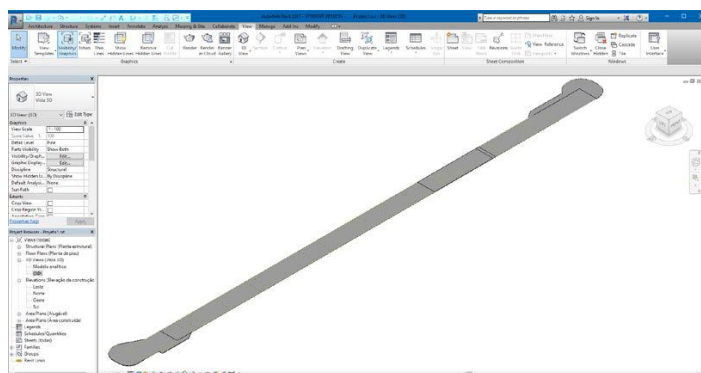


Figura 2. Representação tridimensional do modelo da pista

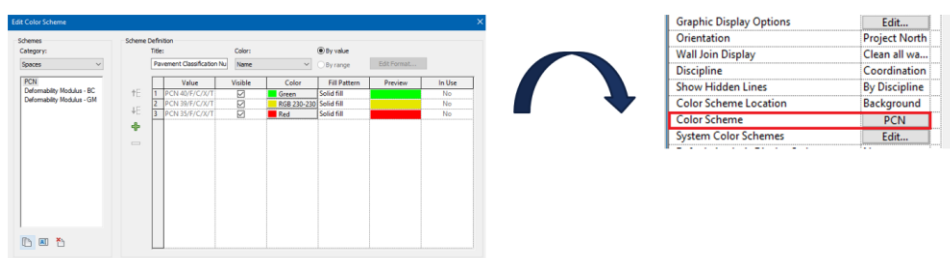


Figura 3. Propriedades de parâmetros

A título de exemplo, observam-se alguns parâmetros associados às características funcionais e estruturais dos pavimentos na Figura 4 e na Figura 5, respetivamente.

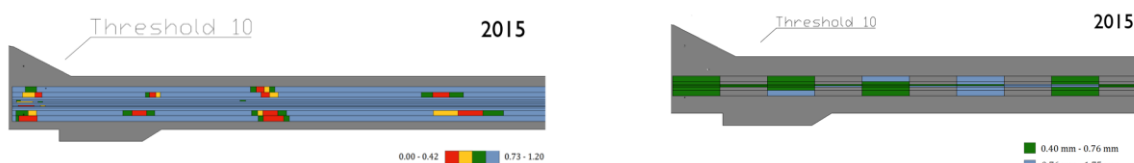


Figura 4. Representação em BIM de características funcionais: coeficiente de atrito (à esquerda) e profundidade de textura (à direita)

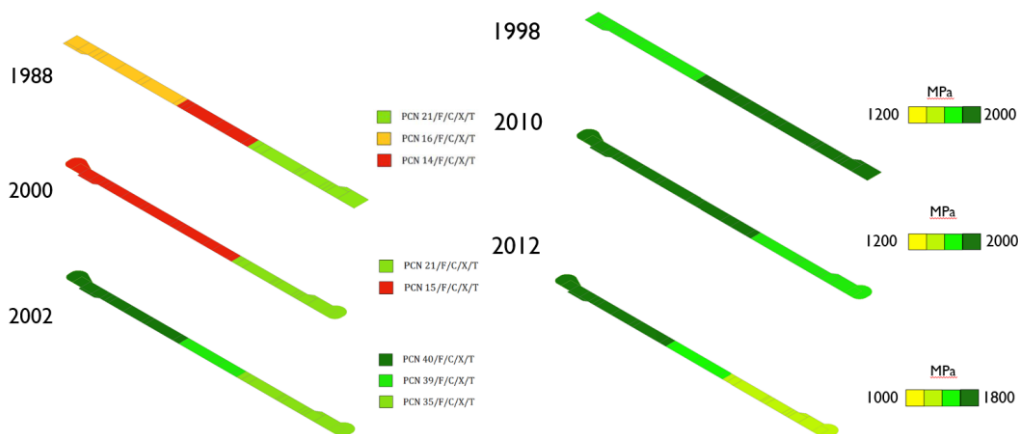


Figura 5. Representação em BIM de características estruturais ao longo das campanhas de avaliação: PCN (à esquerda) e módulo de elasticidade das misturas betuminosas (à direita)

4.2 Caso de Estudo 2 – Aeroporto Nacional – medição de espessura com Georadar

No setor das infraestruturas de transportes, o conhecimento do tipo de estrutura, dos materiais e da espessura das camadas que constituem o pavimento aeroportuário é essencial para a avaliação e monitorização da

11.º Congresso Rodoferroviário Português – <http://11crp.crp.pt>

capacidade de carga e para detetar defeitos. Neste contexto, o Georadar (*Ground Penetrating Radar – GPR*) é particularmente útil, pois é capaz de fornecer informação de forma contínua, sendo possível gerir e guardar essa informação em modelos digitais BIM. Neste trabalho foram analisados os dados fornecidos pelo GPR, em particular as espessuras das camadas betuminosa e granular do pavimento flexível de um caminho de circulação de um aeroporto nacional. De seguida, foi construído um modelo digital do caminho de circulação em estudo, onde foi inserida a informação resultante da monitorização com GPR.

A utilização da metodologia BIM pretende contribuir para integração de informação em sistemas de gestão de infraestruturas aeroportuárias, e também rodoviárias, possibilitando o registo das suas características físicas e geométricas, bem como dos dados de monitorização dos pavimentos, recolhidos a partir do Georadar, e as intervenções realizadas ao longo de vida útil da infraestrutura (VERA CRUZ, 2022). Assim, o modelo digital tridimensional do caminho de circulação desenvolvido permitiu uma melhor visualização das variações das espessuras das duas camadas estudadas, por intermédio de plantas e cortes. A introdução da legenda de cores no modelo BIM oferece uma vista evidente das zonas do caminho de circulação que apresentam alterações de espessura relativamente à espessura de projeto (tanto para mais ou para menos). Assim, foi possível observar que, no presente caso de estudo, as variações de espessura estavam localizadas predominantemente nas bermas e na zona central do caminho de circulação, conforme apresentado na Figura 6.

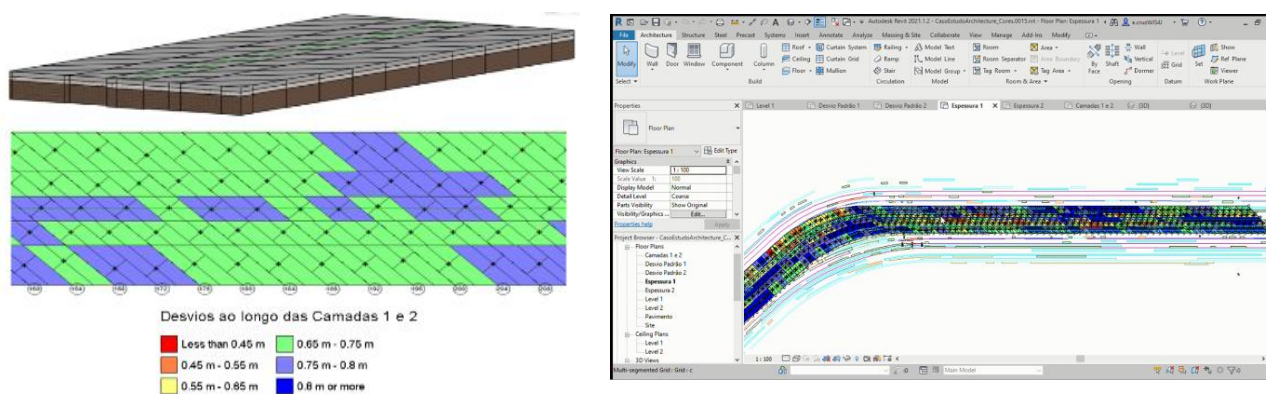


Figura 6. Modelo BIM e representação da variação de espessura (à esquerda) e visualização em BIM do desvio padrão das espessuras das camadas betuminosas ao longo do caminho de circulação (à direita).

Algumas das dificuldades encontradas foram relativas à aplicação e definição de camadas betuminosas, granulares e de fundação e ainda, a divisão do pavimento transversalmente em 5 seções, por forma a integrar os resultados medidos com GPR nos diferentes alinhamentos.

4.3 Caso de Estudo 3 – Aeroporto Internacional – avaliação estrutural e classificação ACR/PCR

O terceiro caso de estudo consiste na análise dos pavimentos de um aeroporto internacional em fase de construção, localizado fora de Portugal, sendo os resultados obtidos relativos a pavimentos novos. O aeroporto em questão tem duas pistas e diversos caminhos de circulação, com pavimentos rígidos e semirrígidos, tendo sido analisado um troço de 600m correspondente a uma das pistas do aeroporto, constituída por um pavimento do tipo semirrígido. A pista em questão tem 45 m de largura, sendo constituída por um total de 5 camadas em profundidade, três delas em misturas betuminosas, com funções de desgaste e regularização, uma camada em agregado britado de granulometria extensa tratado com cimento (AGEC), com funções de base, caracterizada pela sua elevada resistência e módulo de elasticidade, e finalmente, uma camada de brita solo-cimento (BSC), com funções de sub-base, que se encontra localizada no topo do solo de fundação (LIMA et al., 2024).

A avaliação estrutural do pavimento foi feita através da realização de ensaios de carga, com defletómetro de impacto pesado (*Heavy Falling Weight – HWD*), com uma força de pico de 240 kN, em cinco alinhamento longitudinais paralelos, um dos quais coincidente com o eixo da pista, e os restantes distanciados do centro de 3m e 10m, à direita e à esquerda do eixo da pista. A distância entre pontos de ensaio foi de 100 m nos três alinhamentos centrais (desfasados de 50 metros) e de 200 m nos restantes alinhamentos (LIMA et al., 2024).

Com base nas deflexões e na estrutura do pavimento, foram estabelecidas zonas de comportamento estrutural homogéneo, sendo em cada uma delas escolhido o ponto representativo, através de uma análise estatística dos resultados (FONTUL, 2004). De seguida, foram estabelecidos os modelos de comportamento estrutural, com base em retroanálise e recorrendo a um programa de cálculo linear elástico (BISAR 3.0) e calculado o valor do PCN (FAA, 2014).

No que diz respeito ao PCR (FAA, 2022), o mesmo foi calculado recorrendo ao programa de calculo automático criado pela *Federal Aviation Administration* (FAA), o FAARFIELD 2.1.1. Através da definição das diversas camadas de pavimento e das suas características, nomeadamente os módulos calculados anteriormente para cada camada, o *software* em questão devolve o valor de PCR correspondente, para um tráfego definido previamente na interface do programa (BRILL, 2020).

Na Figura 7 são apresentadas vistas 3D da pista modelada, uma vista superior geral do troço e um pormenor de corte duma zona de transição com mudança de espessuras de camadas do pavimento da pista.

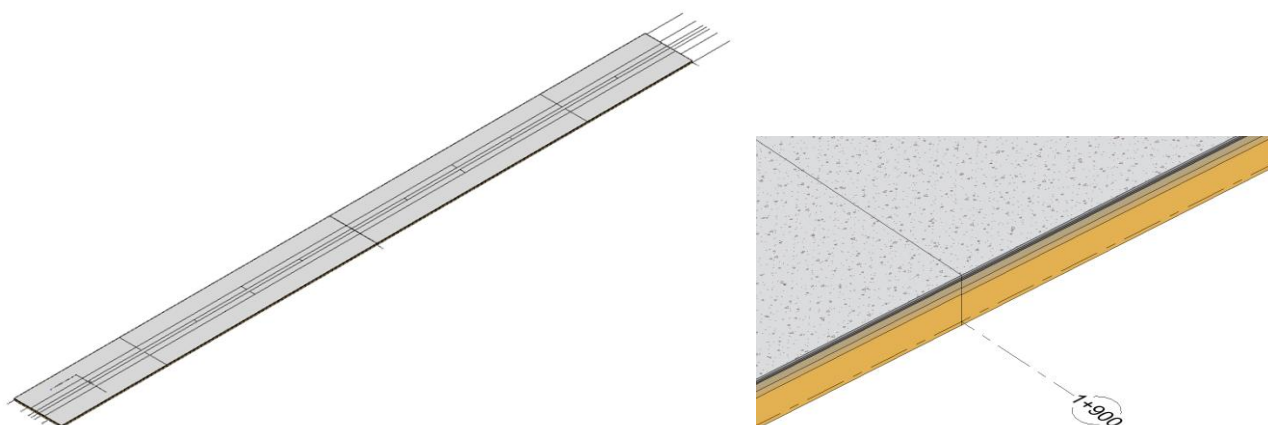


Figura 7. Vista superior (à esquerda) e pormenor de corte (à direita) do troço modelado

No modelo BIM foram integrados, nas diferentes partes das camadas modeladas, os seguintes parâmetros / grandezas físicas: i) PCR; ii) Coeficiente de Poisson; iii) Zona de comportamento estrutural homogéneo; iv) Deflexão medida D1; e v) Módulo de elasticidade proveniente da retroanálise.

O troço de pista modelada encontra-se dividida nas duas zonas correspondentes aos comportamentos estruturais distintos, estando a primeira zona de comportamento estrutural compreendida entre os 1600m e os 1900m de comprimento de pista, e a segunda compreendida entre os 1900m e os 2200m. Estas duas zonas são visíveis nas Figuras 8 e 9 através dos valores de Deflexão D1 medidos.

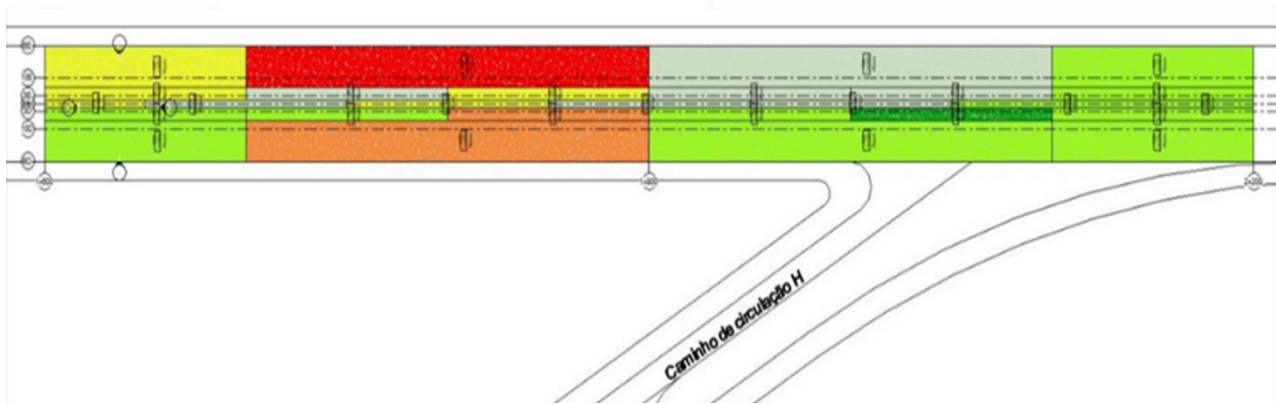


Figura 8. Extensão total do troço modelado

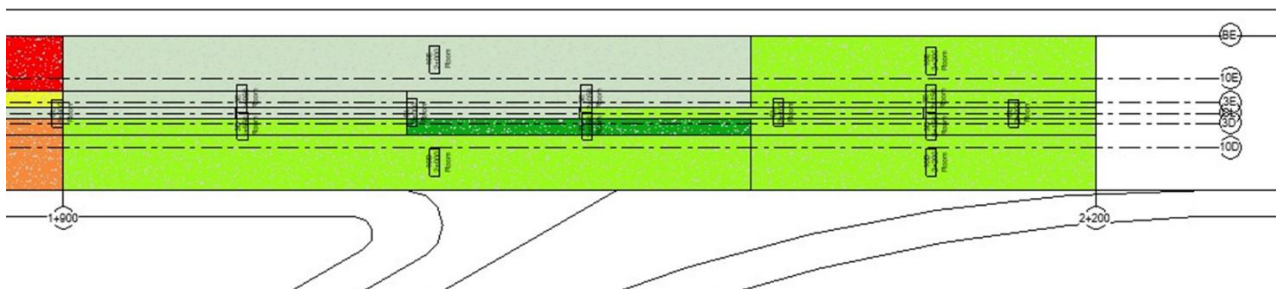


Figura 9. Pormenor do troço modelado e escala de cores

5. Conclusões

Os pavimentos aeroportuários desempenham um papel vital na operação dos aeroportos. A escolha do tipo de pavimento, a avaliação regular e a manutenção adequada são essenciais para garantir a segurança e a eficiência das operações. A integração com tecnologias como o BIM representa um avanço significativo na gestão dessas infraestruturas, proporcionando uma abordagem mais precisa e eficiente.

Além das características estruturais, é possível integrar em modelo BIM outros parâmetros avaliados em pavimentos, como é o caso das características funcionais e inspeção visual. Como desenvolvimento futuro, seria útil dar uso do *Laser Scanner* durante as campanhas de inspeção visual, a fim de integrar a informação dos seus resultados num ambiente BIM. Seria também interessante explorar outros níveis BIM, como executar uma modelação concetual em tempo real, planeamento de custos, simulações das fases de projeto e processos relativos à manutenção da infraestrutura ao longo do seu ciclo de vida.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem os estudos desenvolvidos por Jorge Lopes, Ermes Vera Cruz e João Pedro Lima no âmbito das suas dissertações de mestrado. S. Fontul agradece financiamento recebido do projeto STRADAR (TED2021-130183BI00), financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 e “European Union NextGenerationEU/PRTR”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRILL, D.R.: *ACR/PCR Overview*. Presented in REDAC Subcommittee on Airports, March 2020.
- DAVIS, J.L. & ANNAN, A.P.: *Ground-Penetrating Radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy*. Geophysical Prospecting, 1989.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K.: *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- FAA: *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCN*, AC No: 150/5335-5C Advisory Circular, Federal Aviation Administration, 2014.
- FAA: *Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCR*, AC No: 150/5335-5D Advisory Circular, Federal Aviation Administration, 2022.
- FALCÃO SILVA, Maria João; COUTO, Paula; FONTUL, Simona: *Aplicação de BIM em Infraestruturas de Transportes*. ptBIM 2020 - 3.º Congresso Português de Building Information Modelling, Porto, FEUP, 26 e 27 novembro e 4 dezembro de 2020. DOI: 10.24840/978-972-752-272-9_0323-0330
- FONTUL, Simona: *Structural Evaluation of Flexible Pavements using Non-Destructive Tests*. Tese de Doutoramento desenvolvida no LNEC e apresentada para a obtenção do Grau de Doutor pela Universidade de Coimbra. Lisboa, novembro de 2004.
- FONTUL, Simona: *Avaliação Estrutural de Pavimentos Rodoviário e Aeroportuário*. Curso realizado no âmbito do Convénio de Cooperação entre o LEA e o LNEC, Luanda, 2019.
- FONTUL, Simona & COUTO, Paula: *Airport Pavements Assessment with GPR. Monitoring and Visualization in BIM*. IWAGPR2023 - 12th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar, Lisbon, Portugal, 5-7 July 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/IWAGPR57138.2023.10329018
- ICAO: *Annex 14 - Aerodrome Reference Code*, Convention on International Civil Aviation, p. 320, 2009.
- LIMA, João Pedro; FONTUL, Simona; COUTO, Paula; LIMA, Rodrigo (2024): *Avaliação da capacidade de carga de pavimentos aeroportuários - Modelação e digitalização em BIM*. ptBIM 2024 - 5.º Congresso Português de Building Information Modelling. Lisboa, IST, 8 a 10 de maio de 2024. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.8>
- LOPES, Jorge: *Evaluation of airport infrastructures. Proposal for data integration in BIM*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, NOVA SCHOOL of Science e Technology (NOVA-FCT). Lisboa, 2017.
- LOPES, Jorge; FONTUL, Simona; FALCÃO SILVA, Maria João; COUTO, Paula: *Avaliação de infraestruturas aeroportuárias. Proposta para integração de dados em BIM*. 2.º Congresso Português de Building Information Modelling (ptBIM2018). Lisboa, Instituto Superior Técnico, 17 e 18 de maio de 2018.
- MEIER, R. W.: *Backcalculation of Flexible Pavement Moduli from Falling Weight Deflectometer Data Using Artificial Neural Networks*. Vicksburg, U.S. Army Corps of Engineers, 1995.
- U.S. Department of Transportation: *Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces*. Circular 150/5320-12C, Washington, D.C., 1997.
- VERA CRUZ, Ermes: *Avaliação de Pavimentos Aeroportuários com Radar de Prospeção – Monitorização e Visualização em BIM*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, NOVA SCHOOL of Science e Technology (NOVA-FCT), Lisboa, 2022.