



LABORATÓRIO DE CÁLCULO E DESENHO EM LAVRA DE MINAS - LCDLaMi CAMPO EXPERIMENTAL DE LAVRA DE MINAS (CELaMi)

A ÁREA DA LAVRA DE MINAS NO DEM

Uma das áreas tradicionais da Engenharia de Minas é denominada de **Lavra de Minas**.

Esta denominação é oriunda da Unidade Curricular (UC) **Arte de Minas**, já existente no **Curso de Engenharia de Minas**, formalmente constituído na **Academia Politécnica do Porto** pela Carta de Lei de 21 de julho de 1885.

Nesta área da **Engenharia de Minas** abordam-se inúmeros conceitos associados aos processos de extração dos recursos naturais minerais. Os **Métodos de Exploração** a céu aberto e subterrâneos, temática central da **Lavra de Minas**, são constituídos por variadíssimos assuntos que vão desde a análise da geometria dos jazigos minerais, estudos de distribuição de teores dos minérios, comportamento geomecânico das rochas, planeamento mineiro, escavação de poços, rampas e galerias, metodologias de cálculo e de dimensionamento de diagramas de fogo para desmonte de rocha, técnicas de sustimento, minimização da diluição, sistemas de remoção (carga e transporte), ventilação, esgoto de água, fornecimento de energias, questões legais de higiene e segurança, entre muitas outras.

Atualmente, nesta área da **Lavra de Minas**, no **Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente** da FEUP (**Licenciatura em Ciências de Engenharia, Engenharia de Minas e Geo-Ambiente - LCEEMG + Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente - MEMG**), existem 4 UC's principais:

- **Desmonte de Maciços e Sistemas de Carga e Transporte na LCEEMG;**
- **Lavra e Obras Subterrâneas e Exploração de Massas Minerais no MEMG.**

Ao longo de muitos anos, no DEM, foram realizadas Teses de Doutoramento e Mestrado na área da **Lavra de Minas**, mas seguramente em número muito inferior ao desejado muito por causa da falta de infraestruturas de apoio à investigação e desenvolvimento nesta área. Desde 2010 que um grande esforço tem sido despendido no “fortalecimento” da investigação no DEM nesta área, nomeadamente com a realização de inúmeras Dissertações de Mestrado (Anexo), estando nesta data 5 Estudantes de Doutoramento a frequentar o Programa Doutoral em Engenharia de Minas e Geo-Recursos – PDEMGR – envolvidos em temas de Tese na área da **Lavra de Minas** (Anexo), perspetivando para muito breve a presença no PDEMGR de mais um Estudante a investigar nesta área.

CARÊNCIAS IDENTIFICADAS NA ÁREA DA LAVRA DE MINAS NO DEM

A reorganização a decorrer desta área do **Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente** tem identificado três tipos principais de carências:

1 - Uma primeira carência relaciona-se com a falta de recursos para a prática de simulação em escala controlada de trabalhos didáticos e académicos necessários para a compreensão/conceptualização da prática da Lavra.

2 – Uma segunda carência relaciona-se com a necessidade de criação de um espaço, em ambiente de exploração mineira, onde os Estudantes possam desenvolver trabalhos à escala real, em condições de segurança e sem perturbar atividades industriais produtivas que possam estar a ocorrer na sua proximidade.

3 - Associada às duas carências referidas, não é possível ignorar uma outra que diz respeito à falta de recursos humanos Docentes a que esta área tem estado votada, dificultando o seu desenvolvimento e a transmissão de saberes entre sucessivas gerações de Docentes, primordial para a existência de “Escola”.

UMA FORMA DE SUPERAR A CARÊNCIA 1

Quanto à primeira carência referida, corrobora-a a última Avaliação do **Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente** da FEUP, que lhe conferiu a Certificação EUR-ACE. A equipa de avaliadores em reunião com Docentes, apontou a necessidade de se vir a incluir nas UC's da área da **Lavra de Minas** o recurso a ferramentas de cálculo e desenho para apoio ao projeto nas várias vertentes da exploração mineira, nomeadamente para modelação informática 3D de jazigos minerais e estruturas mineiras de acesso e desmonte, cálculo de volumes *in situ* e de escavação, gestão de atividades cíclicas, minimização da diluição, otimização de cortas, dimensionamento e otimização de pegas de fogo, controlo de vibrações e análise de calibres material desmontado com explosivos, etc.

Para a superação desta carência, afigura-se fundamental a criação de um centro de processamento informático que possa albergar diversos *softwares* dedicados, disponibilizando postos de trabalho e meios de apoio ao cálculo e desenho em **Lavra de Minas**.

Este centro está já em funcionamento e denominar-se, **Laboratório de Cálculo e Desenho em Lavra de Minas (LCDLaMi)**.

O DEM pode já contar com a inestimável colaboração de várias empresas do setor mineiro para a criação deste **LCDLaMi**:



As Empresas **Sojitz Beralt Tin & Wolfram, S.A.**, exploradora da Mina da Panasqueira e **Moura, Silva & Filhos, S. A.**, Empresa do setor da produção de explosivos industriais, já doaram ao **LCDLaMi**, computadores com placa gráfica e processador adequados, para nele se instalar diverso *software* para apoio ao cálculo e desenho em **Lavra de Minas**.

A instalação destas máquinas já ocorreu em espaço escolhido no DEM para o efeito.

Não sendo este o espaço ideal, é o possível, dada a exiguidade dos espaços disponíveis no DEM.



O **LCDLaMi** já pode contar com uma excelente colaboração da Empresa **ORICA, Portugal S.A.**, também especializada na área da produção de explosivos industriais, que para além de disponibilizar *software* de cálculo e otimização de pegas de fogo, doou um sistema de planeamento, programação e simulação de tempos de detonação em pegas de fogo, já em uso em ambiente de Aulas com os Estudantes do Curso.

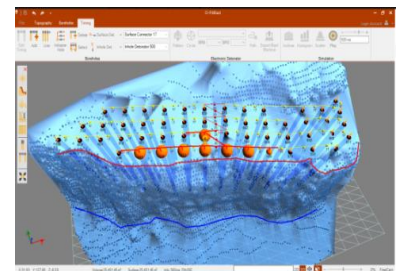


Com a colaboração de outras empresas que desejem "apadrinhar" este **LCDLaMi**, prevemos instalar mais postos de trabalho bem como uma bancada para desenvolvimento de trabalhos que envolvam *hardware* específico.

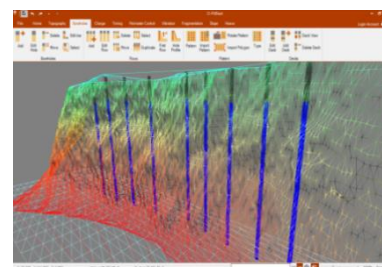


e pedreiras).

Uma feliz coincidência trouxe ao Porto, e à FEUP, a recém-criada Empresa **O-PITBLAST, Lda**, vocacionada para o fornecimento de serviços técnicos e soluções para a otimização de desmonte de rocha em pequenas, médias e grandes empresas que operam na indústria extrativa (minas



Esta Empresa está a desenvolver e a colocar no terreno, uma ferramenta inovadora - **Plataforma O-PITBLAST** - sobre a qual assentam processos de planeamento, controlo e otimização de desmontes de rocha.



A FEUP estabeleceu um Protocolo de Colaboração com a **O-PITBLAST, Lda**, sendo que, ao abrigo do mesmo, esta Empresa ofereceu 30 licenças do *software* em desenvolvimento para ensino em UC's da área da **Lavra de Minas do Curso de Engenharia de Minas e Geoambiente da FEUP**.

Há mesmo condições para que Técnicos desta Empresa participem como formadores em ações letivas e para acolher Estudantes, em regime de estágio, tendo em vista a realização de Dissertações de Mestrado e Doutoramento em ambiente empresarial. Algumas Dissertações de Mestrado em Ambiente Empresarial tiveram já lugar através de Acordos entre a FEUP e a **O-PITBLAST, Lda**.

O **LCDLaMi** já pode contar com a oferta, por parte da Empresa **Maxampor, S.A.**, de diverso material/artefactos inerte da área dos explosivos industriais passíveis de serem usados em contexto de Aulas práticas, nomeadamente para o treino de implementação de sistemas de ligação com temporização diversa.



aberto.

Ainda no âmbito da primeira carência assinalada, o DEM, adquiriu licenças anuais do *software* **MAPTEK – VULCAN** para que este possa ser usado em ambiente de ensino e mesmo para a execução imediata de uma Dissertação de Mestrado. Trata-se de um *software* de modelação 3D de jazigos minerais para auxílio ao planeamento e otimização de exploração subterrâneas e a céu-

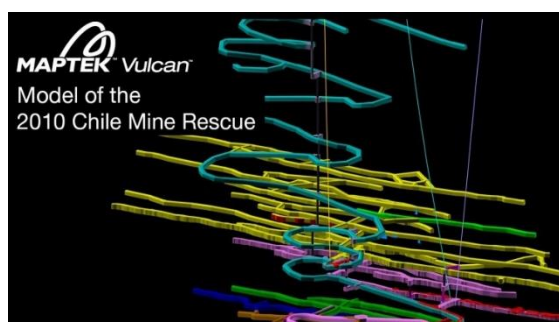
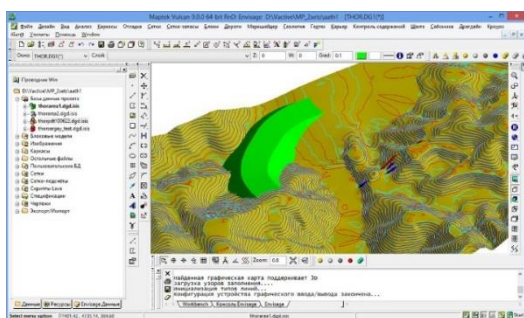


Imagem do ambiente em **MAPTEK VULCAN** (imagem do Site da MAPTEK)

A utilização deste tipo de *softwares* em Aula afigura-se, no presente, fundamental para a melhoria do ensino e da aprendizagem em inúmeras UC's do **Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente** da FEUP. Essa utilização abre caminho a processos de conceptualização, pela prática, de imensos princípios e soluções técnicas otimizadas no âmbito da **Lavra de Minas**.

Ao mesmo tempo, surge como meio excelente de apoio à investigação e desenvolvimento nesta área, permitindo abrir caminho para processos de descoberta temática que poderão ser alvo de trabalhos de Dissertações Mestrado e de Teses de Doutoramento.

No **LCDLaMi** encontra-se também já instalada a peça de *software* **WipFrag** da **WipWare** destinada a processos de análise de imagem para a obtenção de curvas granulométricas de pilhas de material desmontado em pedreiras.



Esta ferramenta é fundamental para a otimização de desmontes de rocha e representa uma mais-valia para o processo de aprendizagem da extração mineira a céu-aberto.

UMA FORMA DE SUPERAR A CARÊNCIA 2

Solusel - Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda,



Ao abrigo de um Protocolo de Colaboração estabelecido entre a FEUP e a Solusel - Sociedade Lusitana de

Obras e Empreitadas, Lda, proprietária da Pedreira da Quinta do Moinho (Pedreira da Madalena) em Canidelo, Vila Nova de Gaia, em bancada restrita desta pedreira devidamente preparada para o efeito, implementou-se em 2017 um **Campo Experimental em Lavra de Minas (CELaMi)** onde é possível implementar atividades relacionadas com a aquisição de dados, planeamento, controlo e otimização de desmontes com recurso a explosivos.

Como exemplo de algumas possibilidades abertas com a criação do **CELaMi**, destacamos:

- Observação e obtenção de dados sobre famílias de diáclases e fraturas tendo em vista o estudo estatístico da estabilidade de taludes, recorrendo a *software* próprio existente no DEM (ex. Stereonet);
- Estudos tendo em vista a Classificação BGD – Básic Geotechnical Description dos maciços rochosos;
- Determinações da dureza do maciço rochoso recorrendo ao denominado martelo de Schmidt (já adquirido);
- Uso de perfilómetro laser (ex. Quarryman ALS) para obtenção de dados tendo em vista construir modelos digitais do terreno (já adquirido);
- Determinação de inclinações de furos para introdução de explosivos - uso de Boretrack;
- Avaliação de afastamentos críticos;
- Colheita de imagens em pilhas de materiais desmontados com diversas composições granulométricas tendo em vista o uso do *software* WipFrag;
- Aprendizagem de determinação da velocidade de detonação;
- Prática de instalação de sismógrafos para determinação de vibrações em torno de desmontes com explosivos;
- Prática de carregamento de furos com explosivos (recorrendo a cargas/detonadores etc inertes) e estabelecimento de ligações com temporização segundo vários métodos;
- Discussão in situ de questões de segurança em ambiente de bancada para desmonte de rocha recorrendo ao uso de explosivos;
- Dependendo da disponibilidade de empresas fornecedoras de equipamento de perfuração, promover ensaios de perfuração para determinação de velocidades de avanço, tempos de operações unitárias do ciclo de perfuração, observação do desgaste dos aços de perfuração, etc;

O **CELaMi** faz parte integrante do **LCDLaMi**.



Foi já possível contar com a colaboração da **Sociedade Atlas Copco Portugal, Lda** para a realização de furos em bancada no **CELaMi** criando deste modo dois diagramas de fogo distintos que servem para a prática de diversas atividades relacionadas com o desmonte de rocha com explosivos.





Eye2Map

terreno.

O DEM já pode contar com a colaboração da Empresa **Eye2Map SOLUÇÕES GEOGRÁFICAS PARA AMBIENTE E ENGENHARIA**, uma startup em incubação na **Agencia Espacial Europeia (ESA BIC)**, com a realização de um levantamento de imagens aéreas da Pedreira por VANT, tendo em vista a construção de um modelo 3D digital do



UMA FORMA DE SUPERAR A CARÊNCIA 3

No DEM, ao longo do tempo, sempre existiu um Docente responsável pelo leccionamento e coordenação das UC's da área da **Lavra de Minas**.

Este Docente quase sempre lecionou sozinho.

Quase todos estes Docente chegaram à aposentação sem que o seu testemunho de investigação, experiência pedagógica e didática acumuladas, fosse transmitido aos novos Docentes que passaram a ser responsáveis pelas UC's desta área.

Assim, tornou-se difícil "criar escola" que preservasse o conhecimento e lhe acrescentasse a novidade e a atualização que está sempre a acontecer.

Fica aqui assinalado o facto de se afigurar estratégico, para o desenvolvimento da área da **Lavra de Minas** no DEM, no intervalo de tempo de 3, 4 anos, a contratação de Docente com perfil adequado para o aprofundamento e desenvolvimento das diversas novas temáticas que estão neste momento a ser incorporadas nos Planos de Estudo das diversas UC's da área.

CONCLUSÃO

Este Projeto, de criação do **LCDLaMi** e do **CELaMi**, é proposto pelos signatários, através do DEM, pelo Diretor do **Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente** (em 2016) e pelo Coordenador das UC's da área da **Lavra de Minas** deste mesmo Curso e pelo Professor Auxiliar Convidado destas UC's, que garantem a gestão e manutenção deste Laboratório e Campo Experimental, com todas as suas valências disponíveis para o ensino e a investigação.

FEUP - Departamento de Engenharia de Minas, fevereiro de 2016

Atualizado em julho de 2020

Soeiro de Carvalho
Diretor do Curso (2016)
Professor Associado

Alexandre Leite
Coordenador das UC's
Professor Associado

José Cardoso Guedes
Professor Auxiliar Convidado



Departamento de
Engenharia de Minas

Dissertações de Mestrado na Área da Lavra de Minas

1. 2011 – **“Ferramenta informática de apoio ao dimensionamento de pegas de fogo em bancadas a céu aberto”**, Dissertação de Mestrado de João Antunes Sampaio Rodrigues; - Prémio AP3E 2011.
2. 2012 – **“Ferramenta Informática de Apoio ao Planeamento de Escavação de Túneis”**, Dissertação de Mestrado de Bruno Manuel Amaral da Costa;
3. 2012 – **“Erosão Costeira e Produção de Blocos para Obras de Proteção com Enrocamento”**, Dissertação de Mestrado de Bernardo Filipe Costa Guimarães;
4. 2012 – **“Otimização do Desmonte numa mina a céu aberto com aplicação de Air Decks”**, Dissertação de Mestrado de Pedro Miguel Martins Cavadas;
5. 2013 – **“Desarrollo de una herramienta de diseño de voladuras en túneles”**, Dissertação de Mestrado de Francisco Sena Leite;
6. 2014 – **“Utilitário de apoio à estimação de parâmetros na escavação de túneis”**, Dissertação de Mestrado de Alberto Jorge Fernandes da Silva;
7. 2014 - **“Methodology for characterising the efficacy of blasting in open-pit mines; Video and image analysis”**, Dissertação de Mestrado de Khwima Yauma Mwafulirwa.
8. 2015 – **“Análise reflexiva do setor dos minerais de construção em Portugal”**, Dissertação de Mestrado de Diogo Nuno Moreira da Silva Gonçalves Martins;
9. 2016 – **“Metodologia para análise de vibrações provocadas por desmontes com recurso a explosivos”**, Dissertação de Mestrado de José Pedro Moreira Andrade Gomes – Prémio AP3E 2015.
10. 2016 – **“ Otimização de parâmetros geométricos em diagramas de fogo para desmonte de rocha a céu-aberto”**, Dissertação de Mestrado de Pedro Alcides dos Santos Reis.
11. 2017 - **“Remining and Restructure of a Tailing Deposit - Technical Feasibility”**, Dissertação de Mestrado de Andreas Tuhafeni Salom.
12. 2017 – **“Seism-O: Desenvolvimento de uma aplicação para análise de vibrações em desmonte de rocha”**, Dissertação de Mestrado de Raquel Carvalhinha Alves Sobral.
13. 2017 - **“Panasqueira - Projeto Mineiro atípico. Contributo técnico-económico da alteração do Diagrama de Fogo”**, Dissertação de Mestrado de Manuel de Sousa Pacheco.
14. 2017 - **“A análise de Curvas Granulométricas de material desmontado na deteção indireta de anomalias de operações de perfuração”**, Dissertação de Mestrado Tiago André Moreira Gonçalves.
15. 2018 - **“Potencialidades do Campo Experimental em Lavra de Minas da FEUP”**. Dissertação de Mestrado de Luís Barroco Lopes da Silva Martins.
16. 2018 - **“Proposta de Algoritmo de Otimização da Inclinação de furos em Desmonte a Céu Aberto”**, Dissertação de Mestrado de Francisco Eduardo Almeida da Silva. Realizada em Ambiente Empresarial.
17. 2018 - **“Resíduos da Extração e Transformação de Mármore – O Problema e Contributos para a Solução”**, Dissertação de Mestrado de Tiago de Campos Quirino dos Santos Ferreira. Com a colaboração da Universidade de Évora.
18. 2018 - **“Caraterização e Propostas de Otimização de Perfuração na Mina da Panasqueira”**, Dissertação de Mestrado de António Luís Oliveira Rodrigues. Realizada em Ambiente Empresarial.
19. 2019 - **“Análise e controlo de interações entre operações unitárias mineiras”**, Dissertação de Mestrado Diogo Filipe Pereira Queiroz. Realizada em Ambiente Empresarial.

20. 2019 - **“Caracterização e Otimização do Método de Desmonte Up-Hole & Fill na Mina de Neves-Corvo”**, Dissertação de Mestrado de Miguel Ângelo Loureiro Gomes. Realizada em Ambiente Empresarial.
21. 2019 - **“Análise Crítica de Ciclos de Operações de Produção em Mina Subterrânea”**, Dissertação de Mestrado de Pedro Elói Barros.
22. 2020 - **“Modelação integrada e otimização de operações de desmonte e processamento de recursos minerais”**. Dissertação de Mestrado de Auã Kiahla Palmares Araújo Oliveira. Realizada em Ambiente Empresarial.

Teses de Doutorado na Área da Lavra de Minas

1. 1964 – **“Métodos de exploração por desabamento”**, Tese de Doutorado de José António Simões Cortez;
2. 1986 – **“Transportes mineiros: efeitos peculiares da disciplina de fecho do relevo”**, Tese de Doutorado de Henrique Sérgio Botelho de Miranda;
3. 1990 – **“Lavra a Céu Aberto e Equipamentos Principais”**, Tese de Doutorado de Rui Torres da Silva Couto;
4. 1998 – **“Transformação de um Objeto da Indústria Extrativa em Sistema. Algumas consequências”**, Tese de Doutorado de Alexandre Júlio Machado Leite;
5. 2005 – **“Em torno da dinâmica não-linear de sistemas discretos de carga e transporte”**, Tese de Doutorado de João Paulo Meixedo dos Santos Silva;
6. 2018 - **“Desenvolvimento de um simulador de desmonte de rochas a céu aberto com recurso a explosivos”**. Tese de Doutorado a decorrer de Vinicius Gouveia de Miranda (em desenvolvimento).
7. 2018 – **“Desenvolvimento de equipamento para avaliação de desvios de furos de produção em desmonte de rochas não magnéticas”**, Tese de Doutorado a decorrer de Gean Frank Faustino da Silva (em desenvolvimento).
8. 2019 - **“Desenvolvimento de um código de detonação não-ideal e sua Aplicação às fenomenologias associadas ao desmonte de rocha com Explosivos”**, Tese de Doutorado a decorrer de Paulo José Costa Couceiro Junior.
9. 2020 – **“Modelo Multi-Disciplinar para a seleção e otimização da utilização de ferramentas de perfuração na Indústria Mineira”**, Tese de Doutorado de Júlio Martins Vieira.
10. 2020 - **“Pedreira da Madalena – Objeto Mutante da Indústria Extrativa”**, Tese de Doutorado de José Cardoso Guedes.