

MESTRADO

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

**AFETAÇÃO DE SALAS PARA REALIZAÇÃO DE PROVAS DE AVALIAÇÃO:
UMA APLICAÇÃO NO ISEG**

ANA ISABEL FONSECA DUARTE

OUTUBRO-2018

MESTRADO

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

**AFETAÇÃO DE SALAS PARA REALIZAÇÃO DE PROVAS DE AVALIAÇÃO:
UMA APLICAÇÃO NO ISEG**

ANA ISABEL FONSECA DUARTE

ORIENTAÇÃO:

**PROFESSORA DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE MOURÃO
PROFESSORA DOUTORA LEONOR ALMEIDA LEITE SANTIAGO PINTO**

OUTUBRO-2018

Agradecimentos

Gostaria de, em primeiro lugar, agradecer às minhas orientadoras, Professora Doutora Cândida Mourão e Professora Doutora Leonor Pinto, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade, dedicação e ajuda incansável demonstrada ao longo deste trabalho de projeto.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer à Ana Filipa Loureiro, da Secretaria das Licenciaturas do ISEG, e ao Tiago Duarte, ex-aluno de Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, por me terem disponibilizado todos os dados necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

Quero agradecer também aos meus amigos, pela paciência demonstrada nos momentos de maior tensão.

Ao Carlos, por toda a compreensão, apoio e incentivo no cumprimento dos meus objetivos.

À minha irmã, por estar sempre disponível, por me dar força e motivação, acreditando sempre nas minhas capacidades.

Ao meu avô, pela sua preocupação e ajuda, em especial nestes anos passados no ISEG.

À restante família, por serem uma presença e fonte de motivação constante.

Por fim, um agradecimento muito especial aos grandes pilares da minha vida, os meus pais, que tiveram um papel crucial no meu desenvolvimento pessoal e em todas as minhas conquistas. Pela vossa dedicação e apoio incondicional, o meu muito obrigada.

Resumo

O presente trabalho de projeto, visa a criação de uma plataforma que permita à Secretaria das Licenciaturas do ISEG a afetação automática de salas para a realização de provas de avaliação de unidades curriculares (UC). Atualmente, este processo é efetuado de forma manual por funcionários desta secretaria, o que, face às dimensões das instâncias, o torna bastante moroso. Assim, a plataforma, tendo por base uma heurística, permitirá reduzir significativamente o tempo de execução desse processo.

Esta ferramenta tem como objetivo a minimização da distância entre salas afetadas sucessivamente à mesma prova de avaliação, bem como do número de lugares vazios na primeira sala afeta a cada prova, excluindo os casos de salas grandes e de provas de avaliação com muitos alunos inscritos.

Adicionalmente, desenvolve-se um modelo de programação linear inteira (PLI), cujo objetivo é minimizar o número total de salas afetadas, bem como a distância entre salas afetadas à mesma prova.

Em ambos os casos, é necessário ter em conta a capacidade e disponibilidade de cada sala, bem como a imposição de não afetar a mesma sala a mais do que uma prova, no mesmo período do mesmo dia de uma época de avaliação.

A plataforma foi desenvolvida em Excel *Visual Basic for Applications* (VBA) e o modelo de PLI implementado em *OpenSolver*.

As metodologias foram testadas e comparadas considerando diferentes cenários, nos quais se varia o número e capacidade das salas disponíveis, bem como o número de alunos inscritos por prova.

Desta forma, concluiu-se que em ambos os métodos o número total de salas afetadas é bastante semelhante, contrariamente ao que acontece com a distância total entre salas afetadas, pois o valor obtido é bastante menor quando aplicado o modelo de PLI. Estas comparações nas instâncias de menores dimensões, permitiram validar a utilização da heurística para a geração de soluções admissíveis de forma automática, como se pretendia.

Palavras-chave: Afetação de salas a provas de avaliação; Heurísticas; Programação Linear Inteira.

Abstract

The aim of this work is to create a platform that allows the Undergraduate Office of ISEG to automatically assign rooms to evaluation tests. Currently, this process is carried out manually by employees of this office what, due to the dimensions of the instances, is quite time consuming. The platform leads to a significant reduction in the execution time of this process.

The purpose of this tool is to minimize the distance between rooms consecutively assigned to the same evaluation test, as well as the number of empty seats in the first room allocated to each test, excluding the cases of large rooms and of evaluation tests with many enrolled students.

Additionally, an integer linear programming model (ILP) is developed with the objective of minimizing the total number of assigned rooms, as well as the distance between rooms allocated to the same test.

In both cases the capacity and availability of each room must be taken into account, as well as the fact that each room cannot be assigned more than once, in the same period of the same day of an evaluation period.

The platform was developed in Excel *Visual Basic for Applications* (VBA) and the ILP model was implemented using the *OpenSolver* software.

The methodologies were tested and compared considering different scenarios, in which the number and capacity of the available rooms varies, as well as the number of students enrolled per test.

As a conclusion, it is observed that the total number of assigned rooms is quite similar in both methods, contrary to what happens with the total distance between allocated rooms, since the result obtained is much lower when the ILP model is applied. In instances of smaller dimensions, comparison results allow us to validate the use of the heuristics for automatically generating feasible solutions, as intended.

Keywords: Allocation of rooms to evaluation tests; Heuristics; Integer Linear Programming.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice	IV
Lista de Figuras	V
Lista de Tabelas	VI
Siglas e Acrónimos	VII
1. Introdução	1
2. Definição e Enquadramento do Caso de Estudo	3
2.1 A Instituição ISEG	3
2.2 Caso de Estudo	5
3. Revisão de Literatura	7
4. Metodologia	10
4.1 Heurística Construtiva	10
4.2 Modelo de Programação Linear Inteira	19
5. Resultados	22
6. Plataforma de Afetação	26
7. Conclusão	29
Referências	31
Anexos	32
Anexo 1 – Numeração das salas dos diferentes edifícios	32
Anexo 2 – Ficheiros de <i>input</i> para o programa	33
Anexo 3 – Manual de utilização da plataforma	36

Lista de Figuras

Figura 1: Folha Ocupacao do ficheiro listaOcupacaoSalas com ocupação de salas	27
Figura 2: Matriz com disponibilidade de salas	28
Figura 3: Folha Capacidade das Salas ISEG do ficheiro Capacidade Salas ISEG_v10_15_11_2017	33
Figura 4: Folha 1ºSemEN do ficheiro Escalonamento18e19	33
Figura 5: Folha Cruzamento do ficheiro ExportAllEnrolments_1Sem_2017-2018.....	34
Figura 6: Folha UC Opt do ficheiro Licenciaturas 2018-2019_v10.....	34
Figura 7: Folha Ocupacao do ficheiro listaOcupacaoSalas.....	35
Figura 8: Folha Mapa de Salas do ficheiro Plataforma de Afetacao	35
Figura 9: Folha Info do ficheiro UCInfoSiglas	35
Figura 10: Menu inicial do programa.....	36
Figura 11: Output do programa	36
Figura 12: Formulário para inserção de dados sobre a época de avaliação	37
Figura 13: Formulário com opções da “Época”	37
Figura 14: Formulário para inserir o número de salas a afetar	38
Figura 15: Formulário para inserção da(s) sala(s) a afetar a prova(s) de avaliação de UC	38
Figura 16: Mensagem após conclusão da afetação	39

Lista de Tabelas

Tabela 1: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 0	12
Tabela 2: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 2	12
Tabela 3: Numeração e posição relativa das salas do edifício F2 – piso 1	12
Tabela 4: Matriz HaEscada	13
Tabela 5: Salas disponíveis para afetação e as duas salas mais perto.....	17
Tabela 6: Tabela com exemplo das iterações da heurística de afetação	18
Tabela 7: Comparação entre o Modelo PLI desenvolvido neste trabalho e o Modelo desenvolvido por Müller	21
Tabela 8: Afetações obtidas para o Exemplo 2	22
Tabela 9: Salas disponíveis para afetação e capacidades respetivas	23
Tabela 10: Afetações obtidas para o Cenário I.....	24
Tabela 11: Afetações obtidas para o Cenário II.....	25
Tabela 12: Tabela de ficheiros de input.....	26
Tabela 13: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso -1	32
Tabela 14: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 0	32
Tabela 15: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 1	32
Tabela 16: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 2	32
Tabela 17: Numeração e posição relativa das salas do edifício F2 – piso 1	32
Tabela 18: Numeração e posição relativa das salas do edifício F2 – piso 2	32

Siglas e Acrónimos

FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia
FO	Função Objetivo
HC	<i>Hill Climbing</i>
IICL	Instituto Industrial e Comercial de Lisboa
ISC	Instituto Superior de Comércio
ISCEF	Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras
ISEG	Instituto Superior de Economia e Gestão
MBA	Master's degree in Business Administration
PLI	Programação Linear Inteira
UC	Unidade(s) Curricular(es)
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

1. Introdução

Cada vez mais, nos tempos atuais, faz sentido recorrer ao uso de tecnologia para minimizar o tempo e complexidade dos processos, automatizando-os, tanto quanto possível.

Na Secretaria das Licenciaturas do ISEG – Lisbon School of Economics and Management, Universidade de Lisboa, até à conclusão deste trabalho de projeto, a afetação de salas para a realização de provas de avaliação era efetuada manualmente.

Antes do ano letivo de 2016/17, o escalonamento das provas de avaliação, por parte da secretaria, era também um processo manual. Nesse ano letivo, Tiago Duarte (Duarte 2017) desenvolveu uma plataforma que automatizou este escalonamento de provas para uma época de avaliação.

O presente trabalho surge assim na continuidade do anteriormente mencionado, e visa a criação de um programa que automatize a afetação de salas às diferentes provas escalonadas.

Atualmente o procedimento utilizado nesta afetação é difícil de descrever. Este, não se encontra claramente definido, sendo a escolha das salas a afetar à prova de avaliação de cada UC (Unidade Curricular) feita por funcionários da secretaria, com longa experiência, e que não recorrem a um procedimento *standard*. De facto, apenas inicialmente é tido em conta que, em cada período de cada dia, as primeiras provas a que são afetas salas são as que têm maior número de alunos inscritos, afetando-lhes as salas com maior capacidade.

Assim, este projeto visa o desenvolvimento de um procedimento automatizado – uma plataforma – para a afetação das salas às diferentes provas de avaliação de cada dia de cada época de avaliação. Para tal, desenvolve-se uma heurística que, para além de efetuar esta afetação tendo em conta as necessidades de cada prova, minimiza a distância entre as salas escolhidas sucessivamente para uma mesma prova, bem como, o número de lugares vazios nas salas.

Esta plataforma é desenvolvida com recurso à ferramenta do Excel *Visual Basic for Applications* (VBA).

Adicionalmente, com o objetivo de minimizar o número total de salas afetas, bem como a distância entre salas afetas à mesma prova, desenvolve-se um

modelo de Programação Linear Inteira (PLI), com implementação em *OpenSolver*. Este modelo é também utilizado para validar as soluções geradas pela heurística.

No que respeita aos objetivos deste trabalho, é possível afirmar que foram atingidos, uma vez que o processo de afetação de salas foi automatizado, através da criação da plataforma, diminuindo significativamente o tempo necessário para este processo. Para além disso, os resultados obtidos no que respeita à distância entre salas afetadas e número de salas afetadas é bastante satisfatório.

Relativamente à sua estrutura, o trabalho divide-se em sete capítulos. No capítulo 2, é efetuado um enquadramento da instituição onde o trabalho de projeto é desenvolvido, sendo também definido o caso de estudo. De seguida, no capítulo 3, faz-se uma breve revisão de literatura focando o problema em estudo, e, no capítulo 4, desenvolve-se a metodologia, incluindo a heurística e o modelo de PLI, propostos para a resolução do problema. No capítulo 5, são analisados os resultados para as instâncias testadas e, no capítulo 6, apresenta-se a plataforma desenvolvida. Por fim, no capítulo 7, encontram-se as principais conclusões e propostas de melhorias futuras.

2. Definição e Enquadramento do Caso de Estudo

Neste capítulo efetua-se um breve enquadramento sobre a instituição onde o trabalho de projeto é desenvolvido, abordando assuntos como a sua História, Missão, Visão e Valores, Campus e Cursos e Unidades de Investigação. Conclui-se com uma descrição do caso de estudo.

2.1 A Instituição ISEG

Breve História

O ISEG - Instituto Superior de Economia e Gestão pertence à Universidade de Lisboa, e é a mais antiga escola portuguesa de Economia e Gestão, contando com mais de 100 anos de existência (ISEG 2018).

A sua origem remonta ao ano de 1759, com a criação da Aula do Comércio, tendo sido o primeiro estabelecimento de ensino oficial no mundo a lecionar contabilidade de uma forma técnico-profissional (Revista da Câmara dos Técnicos Oficiais de Contas 2003).

Cerca de 100 anos depois, a Aula do Comércio é anexada ao Liceu de Lisboa, surgindo a Escola de Comércio, mais tarde integrada no Instituto Industrial de Lisboa, e designando-se, a partir desse momento, por Instituto Industrial e Comercial de Lisboa (IICL).

Em 1911, o IICL dá origem ao Instituto Superior Técnico e ao Instituto Superior de Comércio (ISC), mais tarde Instituto Superior de Economia e Gestão (ISEG), depois de ter passado pelos nomes de Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras (ISCEF), e de Instituto Superior de Economia, por esta ordem. A alteração da designação para ISCEF ocorre quando o ISC e três outras escolas técnicas superiores (a atual Faculdade de Medicina Veterinária, o Instituto Superior de Agronomia e o Instituto Superior Técnico) formam a Universidade Técnica de Lisboa (UTL), à qual se juntaram, posteriormente, o atual Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, a Faculdade de Motricidade Humana e a Faculdade de Arquitetura.

Em 2013, resultado da fusão entre a Universidade Técnica de Lisboa e a Universidade de Lisboa, o ISEG passa a integrar uma das melhores universidades portuguesas nos *rankings* internacionais, sendo também uma das que recebe mais alunos estrangeiros, a Universidade de Lisboa.

Missão, Visão e Valores

A missão do ISEG é a “criação, transmissão e valorização social e económica do conhecimento e da cultura nos domínios das ciências económicas, financeiras e empresariais” (ISEG 2018), no âmbito dos seus valores que incluem a “diversidade e pluralidade; a garantia de liberdade intelectual e científica; o respeito pela ética e responsabilidade social e a avaliação interna e externa e melhoria contínua” (ISEG 2018). Como visão “afirma-se como uma das melhores escolas de economia e gestão em Portugal, com elevada reputação internacional, reconhecido pela qualidade dos seus graduados, pela investigação realizada e pelo impacto das suas atividades na comunidade envolvente” (ISEG 2018).

É no intuito de contribuir para uma maior agilização na realização desta missão, que o presente trabalho de projeto se insere, concorrendo para uma maior eficácia na gestão de salas afetas à realização de provas de avaliação.

Campus

O ISEG é constituído por um conjunto de diversos edifícios, tendo cada um uma finalidade específica.

Maioritariamente destinados a alunos de licenciatura, existem os edifícios Francesinhas 1 e Francesinhas 2. Nestes edifícios encontram-se, fundamentalmente, salas de aula e anfiteatros. Para além disso, existem também algumas salas de estudo, sala de informática, secretarias, gabinetes de apoio a estudantes, associação de estudantes (AEISEG), bares e uma cantina.

Por outro lado, destinado maioritariamente a alunos de um nível de formação académica superior (pós-graduação, mestrado, MBA, doutoramento ou formação executiva) encontra-se o edifício Quelhas 6. Este edifício, além de salas de aula, inclui também centros de investigação e alguns serviços, como secretarias, gabinete de marketing e relações externas, gabinetes da presidência, gabinetes de docentes, entre outros.

Também a biblioteca representa uma das grandes infraestruturas que os alunos têm ao seu dispor. Nesta, além do vasto leque de obras na área das ciências económicas e empresariais, os alunos podem consultar bases bibliográficas e de informação estatística. Adicionalmente, disponibilizam-se, no seu interior, vários espaços de estudo e leitura.

São também parte constituinte do ISEG os edifícios Quelhas 2, Quelhas 4 e Bento Jesus Caraça, que incorporam, essencialmente, gabinetes de docentes e serviços.

Cursos e Unidades de Investigação

No ano letivo de 2018/2019 são lecionadas neste instituto, sete licenciaturas, sendo duas delas em inglês e uma em parceria com a Faculdade de Motricidade Humana. São também lecionados 23 mestrados (cinco em língua inglesa), um MBA e diversos doutoramentos e pós-graduações. No ISEG existem ainda unidades de prestação de serviços e de investigação, acreditadas pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), incorporando investigadores a desenvolver trabalhos nas principais áreas científicas desta escola, nomeadamente, o REM (*Research in Economics and Mathematics*) – que agrupa o CEMAPRE (Centro de Matemática Aplicada à Previsão e Decisão Económica) e a UECE (Unidade de Estudos sobre Complexidade e Economia) –, o ADVANCE (Centro de Investigação Avançada em Gestão), entre outros. A credibilidade e mérito destas unidades de investigação têm sido corroborados pelas avaliações da FCT.

2.2 Caso de Estudo

No ISEG, tal como é usual em escolas de ensino superior, a avaliação dos estudantes de licenciatura incorpora épocas específicas, a meio ou no final dos semestres letivos. Neste trabalho pretende-se, como referido, afetar salas para a realização de provas de avaliação das diferentes UC escalonadas para cada período de cada dia de uma época de avaliação. Para tal, é necessário que esteja previamente definido o período (data e hora) em que as provas terão lugar, utilizando-se como base o escalonamento efetuado pelo programa desenvolvido por (Duarte 2017).

Refira-se ainda que há provas de avaliação com especificidades distintas que terão que ser tidas em conta. A título indicativo, certas provas poderão ou não exigir computadores consoante a época de avaliação e a UC em causa.

Adicionalmente, as salas a afetar, com capacidades limitadas e previamente conhecidas, devem respeitar as necessidades de cada prova de avaliação, como, por exemplo, ser suficientes para o número de alunos inscritos.

Assim, todas as salas de aula dos edifícios Francesinhas 1 e Francesinhas 2 (incluindo Anfiteatros), o Piso 0 da Biblioteca e o Salão Nobre, podem ser utilizados nesta afetação, desde que estejam disponíveis e satisfaçam as necessidades da prova a que forem afetas. Entre as restrições, há que impor que cada sala não seja atribuída a mais de uma prova em cada período de cada dia de uma época.

A afetação em foco assenta em dois objetivos:

1. Minimizar a distância entre salas afetas à mesma prova;
2. Otimizar a ocupação das salas afetas.

No capítulo seguinte o problema em estudo é enquadrado, sendo para tal referidos os principais trabalhos encontrados na literatura.

3. Revisão de Literatura

A calendarização de provas de avaliação (*Examination Timetabling*) tem sido alvo de bastante investigação por parte dos investigadores operacionais. Contudo, o seu foco tem incidido, maioritariamente, sobre a afetação de períodos de tempo a provas de avaliação, carecendo a decisão da(s) sala(s) onde estas se devem realizar de alguma investigação.

(Müller 2016) define calendarização de provas de avaliação como sendo:

“Individual meetings (examinations) that are to be assigned in time and space in a way that allows all the participants (students and instructors) to attend all the meetings that they require.”

Relativamente a este assunto, (Kristiansen e Stidsen 2013) oferecem uma compilação das técnicas mais utilizadas até então.

No que respeita à automatização deste tipo de processos, (Duarte 2017), desenvolveu, no âmbito do mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, o trabalho de projeto intitulado “*Escalonamento de Provas de Avaliação: Uma aplicação*” (Duarte 2017). Neste, pretende-se automatizar a calendarização de provas de avaliação dos alunos de licenciatura do ISEG, no que respeita ao período e dia em que cada uma se realiza. Para tal, é apresentada uma formulação do problema em Programação Linear Inteira e desenvolvida uma heurística. A implementação desta heurística em Excel VBA resultou numa plataforma, que permite a qualquer funcionário da secretaria, gerar o calendário de cada época de avaliação, utilizando a heurística desenvolvida.

No seguimento deste trabalho, surge então o corrente tema, com o objetivo de automatizar a afetação de salas para realização de provas de avaliação. Para tal, é desenvolvida uma heurística que tem como *input* o escalonamento gerado pela plataforma construída em (Duarte 2017).

Focando a afetação de salas, podem ser referidos os artigos de (Fizzano e Swanson 2000), (Beyrouthy, et al. 2009) ou de (Lindahl, et al. 2017), embora num contexto de horários escolares e não em termos de calendário de exames.

(Fizzano e Swanson 2000), os primeiros a explorar este tema, tinham como objetivo afetar um conjunto de salas a UC, minimizando o número de salas afetadas. Para a formulação desse problema, consideraram como principal

restrição o facto de não ser possível afetar a mesma sala a duas UC no mesmo período, do mesmo dia da semana.

Mais tarde, (Beyrouthy, et al. 2009) desenvolvem um algoritmo de pesquisa onde, considerando as restrições relacionadas com *timetabling*, avaliam a taxa de utilização das salas de aula (percentagem de tempo em que estão ocupadas), determinando o número de UC que podem ser planeadas, tendo em conta as características de cada sala.

(Lindahl, et al. 2017) apresentam um modelo de programação inteira mista para minimizar o número de salas atribuídas, considerando como única restrição, no que respeita à afetação de salas, a existência de salas suficientes para alocar todas as UC.

Contudo, visto que nos artigos acima mencionados, o objetivo é afetar salas a UC e não a provas de avaliação, achou-se pertinente desenvolver uma nova metodologia para o problema em estudo.

Relativamente à calendarização de provas de avaliação, também (Qu, et al. 2008) oferecem uma compilação das técnicas mais utilizadas até então, bem como das restrições consideradas na maioria das formulações, introduzindo mais de 150 referências. Entre as mais referidas destacam-se metodologias envolvendo coloração de grafos, técnicas baseadas em programação por restrições, técnicas de pesquisa local e meta heurísticas (*tabu search*, *simulated annealing* e algoritmos genéticos).

Visando o mesmo assunto, (Müller 2009) propõe um algoritmo heurístico, adaptado em (Müller 2016), onde também se assinalam as diferenças em termos de formulação.

Focando o tema em estudo neste trabalho, e visto que as referências neste âmbito são escassas, optou-se por analisar de forma mais aprofundada a metodologia utilizada por (Müller 2016), uma vez que é aquela que mais se aproxima do interesse deste estudo.

(Müller 2016) formula o problema da calendarização de provas de avaliação em Programação Linear Inteira (PLI), definindo restrições fortes (não podem ser violadas) e restrições fracas (que originam uma penalidade ao serem violadas). Adicionalmente, desenvolve um algoritmo heurístico que afeta os exames a períodos do dia e a salas, tendo em conta as restrições e objetivos identificados. Este algoritmo é constituído por três fases, sendo que da primeira resulta uma

solução admissível para o problema (i. e., todos os exames são afetos a um período do dia em que vão ocorrer e têm afeto o número necessário de salas). Nas duas restantes fases, de pesquisa local, procura-se melhorar o valor da função objetivo.

Mais concretamente, na primeira fase, no que respeita à afetação de salas, é aplicado um algoritmo de tipo *Iterative Forward Search* (IFS) no qual, em cada iteração, é selecionado um exame sem sala afeta e, posteriormente, uma sala para ser afeta a este exame, até ser obtida uma solução admissível.

Encontrada esta solução admissível, aplica-se, na segunda fase, um algoritmo de tipo *Hill Climbing* (HC) de forma a encontrar um ótimo local. Em cada iteração é proposta uma alteração na afetação pela seleção aleatória de uma vizinhança específica da solução atual. Tratando-se de um algoritmo de tipo HC, esta alteração só é aceite se não piorar o valor da função objetivo nem violar nenhuma das restrições fortes.

Por último, quando já não for possível melhorar o valor da função objetivo com o HC, aplica-se um algoritmo de tipo *Great Deluge* (GD), na terceira fase. Este algoritmo, também de pesquisa local, utiliza um limite (B), correspondente a $1,05 \times S_{best}$ (onde S_{best} representa o valor da função objetivo (FO) da melhor solução encontrada), e uma nova solução é aceite apenas quando o seu valor não for superior a B. O valor de B diminui após cada iteração, segundo uma taxa de arrefecimento (*cooling rate*), efetuando-se a pesquisa enquanto B for superior ao limite inferior, definido por $0,95^k \times S_{best}$ (onde k é um contador do número de vezes em que o limite inferior é atingido), sendo também fixado um número máximo de iterações. Quando o limite inferior é atingido, B é igualado a $1,05^k \times S_{best}$. A pesquisa termina quando o tempo limite definido é atingido, sendo retornada a melhor solução encontrada.

No capítulo 4 apresentam-se detalhadamente as diferenças entre o modelo desenvolvido neste trabalho e o de (Müller 2016). Como se verá, optou-se por propor uma metodologia diferente da apresentada por este autor, que é, sem dúvida, o artigo focando um tema mais semelhante com o em estudo. Tal facto foi motivado pelo objetivo final de desenvolver uma plataforma de simples utilização pela secretaria. Assim, é proposta uma heurística que, versando apenas uma parte do problema de (Müller 2016), o da afetação de salas, é também mais simples que as desenvolvidas por este autor.

4. Metodologia

A plataforma resultante deste trabalho de projeto, tem como base uma heurística construtiva desenvolvida e programada em VBA. Nesta afetam-se salas às diferentes provas de avaliação, em cada período de cada dia de uma época de avaliação, tendo como objetivo a minimização da distância entre as salas utilizadas para uma mesma prova que são escolhidas consecutivamente, bem como, a minimização dos lugares vazios nas salas afetadas.

Adicionalmente, propõe-se um modelo em PLI, que se implementa em *OpenSolver* (ferramenta do Excel), e que visa a minimização do número total de salas utilizadas, bem como da distância total entre as salas afetadas a uma mesma prova. Dadas as dimensões dos problemas em estudo, o modelo é utilizado para a validação da heurística desenvolvida, sendo implementado apenas em instâncias de menor dimensão.

Refira-se que, sendo distintos os objetivos das duas abordagens, para validação dos resultados calcula-se, como se verá, o valor da solução obtida pela heurística recorrendo à função objetivo do modelo de PLI.

4.1 Heurística Construtiva

Como referido, até à elaboração deste trabalho de projeto, a afetação de salas para a realização de provas de avaliação, em cada época de avaliação, é efetuada manualmente por funcionários da Secretaria das Licenciaturas. Estes, para cada período de cada dia, começam por afetar as maiores salas às provas de avaliação das UC com maior número de alunos inscritos, percorrendo, de seguida, todos os períodos dos diferentes dias da época de avaliação e as respetivas provas de avaliação sem salas atribuídas.

Este processo é bastante moroso e não consegue ser sistematicamente descrito, pois os funcionários da secretaria, fruto da experiência, incluem informação nem sempre explícita. A complexidade do problema está também relacionada com a dimensão das instâncias associadas. Refira-se que, por exemplo, a época normal de avaliação do primeiro semestre do ano letivo 2018/2019 decorrerá em 15 dias, com quatro períodos por dia, estando disponíveis 42 salas com diferentes capacidades, e envolvendo 100 provas e um total de aproximadamente 8900 inscrições.

Neste projeto optou-se por desenvolver uma heurística capaz de produzir soluções similares às obtidas pela secretaria, mas em pouco tempo computacional.

O procedimento utilizado, que tenta de certa forma imitar o manual, pode resumir-se em cinco passos genéricos, que são repetidos em cada período de cada dia de uma época de avaliação. Neste procedimento, descrito no Algoritmo “Afeta Salas”, detalhado de seguida, $NANA(UC)$ representa o número de alunos inscritos na prova da unidade curricular UC, ainda não afetos a uma sala.

Algoritmo – Afeta Salas

// Inicialização

1. Enquanto existirem salas grandes (com pelo menos 50 lugares) e UC grandes (com pelo menos 90 alunos inscritos) sem sala grande afeta, afetar uma sala grande à prova de avaliação da UC grande com mais alunos inscritos;

Calcular $NANA(UC)$ para todas as UC;

Se $NANA(UC) = 0, \forall UC$ FIM.

$k \leftarrow 1$; //contador do número de iterações

// Iteração k

2. Escolher a UC com maior número de alunos inscritos por afetar, ou seja, para a qual $NANA(UC)$ é máximo; seja UCE a UC escolhida;
3. // Afetar uma sala a UCE

- a. Se existir pelo menos uma sala com capacidade superior ou igual a $NANA(UCE)$, escolher, de entre estas, a de menor capacidade;

- b. Caso contrário, ou seja, se todas as salas têm capacidade inferior a $NANA(UCE)$, afetar à prova de UCE a sala maior;

Atualizar $NANA(UCE)$;

4. Enquanto $NANA(UCE) > 0$ // Afetar as restantes salas a UCE
Se não existem salas disponíveis, FIM (neste caso é dado um alerta, pois não foi identificada uma solução para o problema, e o processo termina, tendo que ser analisado o problema pelo funcionário, de forma não automatizada)

Caso contrário, escolher a sala cuja distância à última sala afeta é mínima

Atualizar $NANA(UC)$;

5. Se $\exists UC: NANA(UC) > 0$

$k \leftarrow k + 1$ e voltar ao ponto 2

Caso contrário, FIM.

Sendo, por vezes, as salas afetas com base na distância que as separa (passo 4.), foi elaborado um mapa de salas, para cada piso, de cada edifício.

Como é hábito no ISEG, os edifícios Francesinhas 1 e Francesinhas 2 são referenciados como F1 e F2, respetivamente. Adicionalmente, AF# refere-se à sala Anfiteatro número # (assumindo valores de 1 a 4 e de 21 a 24), SN representa o Salão Nobre e B0 a sala do piso 0 da biblioteca que é utilizada para a realização de provas. As salas foram então numeradas como se apresenta no Anexo 1 (Tabela 13 a Tabela 18), sendo de seguida ilustrados apenas os casos do edifício F1, piso 0 (Tabela 1) e piso 2 (Tabela 2), e do piso 1 do edifício F2 (Tabela 3).

Biblioteca (28)	Escada (15)	Secretaria	Escada (13)	Escada (11)	001 (9)	003 (7)	Escada (5)	005 (3)	007 (1)
					002 (10)	004 (8)	006 (6)	008 (4)	010 (2)

Tabela 1: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 0

AF 21 (15)	Escada (13)	Átrio	Escada (5)	AF 23 (3)
202 (16)	AF 22 (14)		214 (6)	AF 24 (4)

Tabela 2: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 2

101 (11)	103 (9)	105 (7)	107 (5)	109 (3)
102 (12)	Escada (10)	104 (8)	106 (6)	108 (4)

Tabela 3: Numeração e posição relativa das salas do edifício F2 – piso 1

Para o cálculo da distância entre cada par de salas (*input* do programa) foi também desenvolvida uma heurística, que se apresenta de seguida.

Cálculo de Distâncias entre Salas

Para a criação da matriz de distâncias (simétrica) entre quaisquer duas salas, criou-se inicialmente uma listagem das salas existentes. Para tal considerou-se que o Salão Nobre (SN) se localiza no edifício Quelhas (Q) e a Biblioteca (B0) em F1. Relativamente aos anfiteatros AF3 e AF4, embora fisicamente se encontrem no edifício F2, tendo em consideração a distância entre salas, faz mais sentido que na metodologia se considerem localizados no edifício F1.

De seguida, atribuiu-se uma numeração a cada sala com base na sua localização, a qual foi denominada de posição relativa (entre parêntesis nas tabelas Tabela 1 a Tabela 3). Por simplificação, as escadas foram também numeradas de forma idêntica, coincidindo assim a sua designação com a numeração da sua posição relativa.

Assim, para a posição relativa das salas/escadas localizadas de um lado de um corredor foram atribuídos números ímpares e para a das salas/escadas localizadas do outro lado do mesmo corredor foram atribuídos números pares.

Uma vez que para o cálculo da distância entre salas que se localizam em pisos diferentes, é necessário ter em consideração as escadas existentes, criou-se ainda uma matriz booleana, HaEscada. Esta contém, em linha, os pisos (-1 até 2) e, em coluna, as escadas (5, 11, 13 e 15 em F1 e 10 em F2). O cruzamento de uma linha com uma coluna é numerado com 1 caso a escada exista nesse piso e com 0 no caso contrário.

Piso \ Escada	5	11	13	15	10
-1	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	0	1
2	1	0	1	0	1

Tabela 4: Matriz HaEscada

O processo utilizado para o cálculo das distâncias pode então resumir-se como se apresenta no Algoritmo “Calcula Distâncias”.

Algoritmo – Calcula Distâncias

1. A distância de qualquer sala ao Salão Nobre (SN) é 100;
2. Distância entre duas salas, S1 e S2 que se localizam no mesmo edifício:

- a. Se S1 e S2 se localizam no mesmo piso, a distância é obtida pelo valor absoluto da diferença entre as respectivas posições relativas;
- b. Se S1 e S2 se localizam em pisos diferentes, a distância é calculada pressupondo a utilização de cada uma das escadas que entre elas efetue ligação, sendo selecionada a que minimiza essa distância. Se o valor mínimo for obtido por mais do que uma escada, é selecionada aquela cuja posição relativa é menor.

Assim, para cada uma das escadas com ligação entre os pisos de S1 e de S2 (identificadas em HaEscada), determinar a soma das três parcelas:

- i. Módulo da diferença entre as posições relativas da escada em análise e de S1;
- ii. Módulo da diferença entre as posições relativas da escada em análise e de S2;
- iii. Produto do módulo da diferença dos pisos de S1 e de S2, por 10;

A distância entre S1 e S2 será a menor das somas calculadas;

3. A distância entre duas salas, S1 e S2, que se localizam em edifícios distintos (sendo S1 a sala localizada em F1 e S2 a sala localizada em F2):

- a. Se S1 se localiza no piso 0 de F1, a distância é obtida através da soma de quatro parcelas:
 - i. Módulo da diferença entre a posição relativa de S1 e 11 (posição da escada localizada em frente à porta de saída de F1);
 - ii. Módulo da diferença entre a posição relativa de S2 e 10 (posição da escada de F2);

- iii. 10, por mudar de edifício;
 - iv. Produto do módulo do piso de S2 por 10.
- b. Se S1 se localiza num piso de F1, diferente do piso 0, a distância entre S1 e S2 é calculada pressupondo a utilização de cada uma das escadas que ligue S1 ao piso 0 de F1, sendo selecionada a que minimiza essa distância. Se o valor mínimo for obtido por mais do que uma escada, é selecionada aquela cuja posição relativa é menor.

Assim, a distância entre S1 e S2 é dada pela soma de:

- i. Módulo da diferença entre a posição relativa de S2 e 10 (posição da escada de F2);
- ii. 10, por mudar de edifício;
- iii. Produto do módulo do piso de S1 por 10;
- iv. Produto do piso de S2 por 10;

De seguida, para cada uma das escadas com ligação entre o piso 0 de F1 e o piso de S1 (identificadas em HaEscada), determinar a menor das somas:

- v. Módulo da diferença entre as posições relativas de S1 e da escada em análise;
- vi. Módulo da diferença entre as posições relativas da escada em análise e da escada 11;

A distância entre S1 e S2 será a menor das somas (i. a vi.) calculadas.

De forma a clarificar o procedimento para o cálculo das distâncias, exemplifica-se, de seguida, cada situação.

Exemplo 1:

Caso 2.a. Distância entre duas salas localizadas no mesmo piso do mesmo edifício.

Seja S1 a sala 001 e S2 a sala 010, ambas localizadas no piso 0 de F1.

A distância entre S1 e S2 é dada por $|9 - 2| = 7$.

Caso 2.b. Distância entre duas salas localizadas em pisos diferentes do mesmo edifício.

Seja S1 a sala 001, localizada no piso 0, e S2 a sala 214, localizada no piso 2, ambas em F1. Calcula-se a distância entre S1 e S2 pressupondo a utilização alternativa de cada uma das escadas (5 ou 13) que efetua a ligação entre elas, e escolhendo o menor valor:

- Considerando a utilização da escada 5, a distância entre S1 e S2 é dada por $|5 - 9| + |5 - 6| + (|0 - 2| \times 10) = 25$.
- Considerando a utilização da escada 13, a distância entre S1 e S2 é dada por $|13 - 9| + |13 - 6| + (|0 - 2| \times 10) = 31$.

Logo, a distância entre S1=001 (F1) e S2=214 (F1) é 25.

Caso 3.a. Distância entre duas salas de edifícios diferentes, estando S1 localizada no piso 0 de F1 e S2 em F2.

Seja S1 a sala 007, localizada no piso 0 de F1, e S2 a sala 107, localizada no piso 1 de F2. A distância entre S1 e S2 é dada por: $|1 - 11| + 10 + 1 \times 10 + |5 - 10| = 35$.

Caso 3.b. Distância entre duas salas de edifícios diferentes, estando S1 localizada no piso 1 de F1 e S2 em F2.

Seja S1 a sala 103, localizada no piso 1 de F1, e S2 a sala 107, localizada no piso 1 de F2. A distância entre S1 e S2 é dada pelo menor valor de entre os seguintes:

- Considerando a utilização da escada 5, a distância entre S1 e S2 é: $|5 - 10| + |15 - 5| + |5 - 11| + 10 + 10 \times 1 + 10 \times 1 = 51$.
- Considerando a utilização da escada 13, a distância entre S1 e S2 é: $|5 - 10| + |15 - 13| + |13 - 11| + 10 + 10 \times 1 + 10 \times 1 = 39$.

Logo, a distância entre S1=103 (F1) e S2=107 (F2) é 39.

O exemplo seguinte pretende ilustrar o funcionamento da heurística construtiva desenvolvida para a afetação de salas.

Exemplo 2: Heurística “Afeta Salas”

Considere-se um turno de um dia de uma época de avaliação, em que ocorrem as provas de avaliação de quatro unidades curriculares (NUCs=4), UC1, UC2, UC3 e UC4, com um número de alunos inscritos de 57, 90, 30 e 50, respetivamente. As nove salas disponíveis (NSalas=9) para afetação e as respetivas capacidades (Cap.), tais como as duas salas a menor distância, apresentam-se na Tabela 5. Como se verifica, há um total de 227 alunos inscritos (SomaInscritos=227) e as salas disponíveis têm capacidade para 292 alunos (SomaSalas=292).

De forma a simplificar a explicação do algoritmo de afetação resumem-se, em forma de tabela, as suas iterações (Tabela 6).

Sala	Cap.	Duas salas + perto (1ª, 2ª)	Sala	Cap.	Duas salas + perto (1ª, 2ª)
AF1 (F1)	25	AF3, AF4	101 (F1)	30	102 (F1), 001 (F1)
AF3 (F1)	60	AF4, AF1	102 (F1)	27	101 (F1), 001 (F1)
AF4 (F1)	60	AF3, AF1	103 (F2)	20	107 (F2), 001 (F1)
001 (F1)	27	006 (F1), AF1	107 (F2)	20	103 (F2), 001 (F1)
006 (F1)	23	001 (F1), 005 (F1)			

Tabela 5: Salas disponíveis para afetação e as duas salas mais perto

Interpretando a Tabela 6, observa-se que, começa por ser afeta a sala AF3 (sala grande com capacidade superior a 50), à prova de avaliação da UC2 (UC grande com mais de 90 alunos inscritos), ficando por alocar 30 dos alunos inscritos nesta prova.

De seguida, seleciona-se a prova de avaliação da UC1, pois é a que tem o maior número de alunos inscritos por afetar, e afeta-se a sala AF4, na qual é possível alocar todos os alunos inscritos.

Posteriormente, volta a selecionar-se a prova de avaliação da UC com o maior número de alunos inscritos ainda não afetos (UC4), e afeta-se a sala onde é possível alocar um maior número de alunos (sala 101), ficando por alocar 20 alunos. Seguidamente, de forma a alocar todos os estudantes, seleciona-se a sala mais próxima da sala já afeta, ou seja, seleciona-se a sala 102.

O processo repete-se enquanto existem alunos inscritos em provas de avaliação de UC por afetar a uma sala.

Iteração	UC	NANA(UC)	UCE	Sala	NANA(UC) - Cap.	Sala afeta	Sala mais perto	NANA(UCE)
-	UC2	90	UC2	AF3	90-60=30	AF3	-	30
1	UC1	57	UC1	AF1	57-25=32	AF4	-	0
	UC2	30		AF4	57-60=-3			
	UC3	30		001	57-27=30			
	UC4	50		006	57-23=34			
				101	57-30=27			
				102	57-27=30			
				103	57-20=37			
				107	57-20=37			
2	UC2	30	UC4	AF1	50-25=25	101	102	20
	UC3	30		001	50-27=23			
	UC4	50		006	50-23=27			
				101	50-30=20			
				102	50-27=23			
				103	50-20=30			
				107	50-20=30			
				102	20-27=-7			
3	UC2	30	UC2	AF1	30-25=5	001	006	3
	UC3	30		001	30-27=3			
				006	30-23=7			
				103	30-20=10			
				107	30-20=10			
				006	3-23=-20			
4	UC3	30	UC3	AF1	30-25=5	AF1	103	5
				103	30-20=10			
				107	30-20=10			
				103	5-20=-15			

Tabela 6: Tabela com exemplo das iterações da heurística de afetação

Os resultados da heurística proposta neste ponto são validados pela resolução do modelo de PLI que se detalha no ponto seguinte.

4.2 Modelo de Programação Linear Inteira

O problema identificado no capítulo anterior pode ser formulado como um problema de Programação Linear Inteira (PLI).

Para tal define-se:

- U conjunto de UC a afetar,
- S conjunto de salas disponíveis para afetação,
- s, k índices utilizados para representar uma sala ($s, k \in S$),
- u índice que representa uma UC ($u \in U$),
- C_s capacidade da sala $s \in S$,
- d_{sk} distância entre a sala $s \in S$ e a sala $k \in S$,
- I_u número de alunos inscritos na UC $u \in U$,

e as variáveis:

- $x_{su} = \begin{cases} 1 & \text{se a sala } s \text{ é afeta à prova da UC } u \\ 0 & \text{c. c.} \end{cases} \quad s \in S; u \in U,$
- $y_{sk} = \begin{cases} 1 & \text{se as salas } s \text{ e } k \text{ são afetas à prova da mesma UC} \\ 0 & \text{c. c.} \end{cases} \quad s, k \in S (s \neq k).$

O modelo para afetação das salas (MAS), num período de um dia da época de avaliação, pode então ser escrito como se segue.

(MAS)

$$\text{Min } Z = \sum_{u \in U} \sum_{s \in S} x_{su} + \sum_{s \in S \setminus \{k\}} \sum_{k \in S} d_{sk} y_{sk} \quad (1)$$

s.a:

$$\sum_{u \in U} x_{su} \leq 1 \quad s \in S \quad (2)$$

$$\sum_{s \in S} C_s x_{su} \geq I_u \quad u \in U \quad (3)$$

$$x_{su} + x_{ku} \leq 1 + y_{sk} \quad s, k \in S (s \neq k); u \in U \quad (4)$$

$$x_{su} \in \{0, 1\} \quad s \in S; u \in U \quad (5)$$

$$y_{sk} \in \{0, 1\} \quad s, k \in S (s \neq k) \quad (6)$$

A função objetivo (1) visa a minimização da distância entre salas afetas à mesma prova e do número de salas afetas. As restrições (2) garantem que cada sala é afeta a não mais de uma prova; (3) impõem que à prova de avaliação de

cada UC sejam afetas salas com capacidade suficiente para alocar os alunos inscritos nessa prova; (4) identificam as salas afetas à mesma prova de avaliação, viabilizando a contabilização das respetivas distâncias na função objetivo; e as variáveis são definidas como binárias em (5) e (6).

De forma a validar os resultados obtidos através da heurística, o modelo de PLI foi implementado em *OpenSolver*, utilizando alguns turnos de uma época de exames. Os resultados destas instâncias são comparados com os da heurística, no capítulo 5.

Comparação com o modelo de Müller

Comparando o modelo formulado em (Müller 2016), doravante denominado por (MM), no que respeita à afetação de salas de aula para realização de provas de avaliação, com o modelo desenvolvido neste trabalho (MAS), verifica-se que o primeiro é bastante mais complexo, no sentido em que considera um maior número de restrições. Contudo, as restrições incluídas no modelo apresentado consideram-se suficientes para o caso prático em estudo.

Adicionalmente, (Müller 2016) categoriza as restrições como fortes ou fracas, sendo que restrições fortes não podem ser violadas em circunstância alguma, enquanto as restrições fracas geram uma penalização sempre que violadas, piorando o valor da função objetivo. No modelo deste projeto todas as restrições incluídas são consideradas fortes.

Entre as restrições comuns a ambos os modelos, estão as que garantem que, em cada período, uma sala não é afeta a mais do que uma prova e só é afeta se estiver disponível. São também comuns aos dois modelos as restrições que garantem que as salas afetas a cada prova de avaliação têm capacidade suficiente para alocar todos os alunos nela inscritos.

Embora ambas as formulações considerem distâncias entre salas afetas à mesma prova de avaliação, as abordagens utilizadas são distintas. De facto, enquanto no modelo (MAS) são escritas restrições para identificar as salas afetas à mesma prova de avaliação, viabilizando a contabilização das respetivas distâncias na função objetivo, no modelo (MM) é atribuída uma penalização por afetar à mesma prova de avaliação, salas que não se situem perto umas das outras. Esta penalização é igual à média das distâncias entre as salas afetas.

Relativamente às restrições consideradas apenas em (MM), encontram-se como restrições fortes as que compatibilizam o tipo de sala com as especificidades exigidas por certas provas de avaliação de UC.

Adicionalmente, (Müller 2016) também restringe o número de salas afetadas a uma mesma prova de avaliação, fixando um determinado valor máximo, facto que não se considera relevante no presente trabalho.

Como restrições fracas, que são penalizadas na função objetivo, (Müller 2016) identifica:

- Afetação de determinadas salas a provas de avaliação específicas;
- Mais do que uma sala à mesma prova de avaliação;
- Salas cuja capacidade seja “demasiado” grande quando comparada com o número de alunos inscritos na prova de avaliação;
- Se a prova de avaliação for específica para uma determinada turma, é desejável que esta ocorra na sala onde a UC é lecionada, caso contrário é usada uma penalidade igual à distância média entre a sala onde a UC é lecionada e a(s) sala(s) onde vai decorrer a prova de avaliação.

A Tabela 7 resume as principais diferenças entre os modelos.

		(MAS)	(MM)
Restrições fortes	Cada sala é afeta a não mais de uma prova por período	X	X
	As salas afetadas a cada prova têm capacidade suficiente para alojar todos os alunos nela inscritos	X	X
	Só são afetadas salas disponíveis	X	X
	Afetação de salas com características específicas para a prova de avaliação de certas UC		X
	O número de salas afetadas a uma mesma prova de avaliação não excede determinado valor		X
Restrições fracas	Penalização por afetar determinadas salas a provas de avaliação em particular		X
	Penalização por afetar mais do que uma sala à mesma prova de avaliação		X
	Penalização por afetar salas cuja capacidade seja demasiado grande quando comparada com o número de alunos inscritos na prova de avaliação		X
	Se a prova de avaliação for específica para uma determinada turma, é desejável que esta ocorra na sala onde a UC é lecionada		X

Tabela 7: Comparação entre o Modelo PLI desenvolvido neste trabalho e o Modelo desenvolvido por Müller

5. Resultados

A heurística desenvolvida bem como o modelo de PLI foram testados para um turno de um dia de uma época de avaliação, com base nos três casos seguintes. Assim, considerou-se o Exemplo 2 (apresentado no capítulo anterior) e dois cenários distintos para o mesmo período: no primeiro (Cenário I) assumiu-se que o número total de alunos inscritos nas provas de avaliação das UC (704) era bastante semelhante à capacidade das salas de aula disponíveis para afetação (756) e, no segundo (Cenário II), considerou-se um número total de alunos inscritos (275) bastante inferior à capacidade das mesmas salas (756). Desta forma, pretende comparar-se a solução obtida por cada um dos métodos no que respeita ao número de salas afetas, à soma das distâncias entre as salas afetas à mesma prova de avaliação e ao número de lugares vazios nas salas afetas.

Para o Exemplo 2, os resultados das duas metodologias referidas (heurística e modelo de PLI) apresentam-se na Tabela 8.

UC (nº inscritos)	Solução			
	da Heurística		do Modelo	
	Salas afetas	Lugares vazios	Salas afetas	Lugares vazios
UC1 (57)	AF4 (F1)	3	101 (F1); 102 (F1)	0
UC2 (90)	AF3 (F1) 001 (F1); 006 (F1)	20	AF3 (F1) AF4 (F1)	30
UC3 (30)	AF1 (F1); 103 (F2)	15	103 (F2); 107 (F2)	10
UC4 (50)	101 (F1); 102 (F1)	7	001 (F1); 006 (F1)	0
Nº salas afetas	8		8	
Distância entre salas	66		14	
Nº lugares vazios nas salas afetas	45		40	

Tabela 8: Afetações obtidas para o Exemplo 2

Na Tabela 8 observa-se que o número de salas afetas por cada um dos métodos é igual (8). No entanto, no que respeita à distância total entre as salas afetas à prova de avaliação da mesma UC, o modelo de PLI apresenta um valor bastante menor. Tal justifica-se pelo facto de enquanto no modelo se minimiza a distância entre salas afetas à mesma prova (valor igual a 14), na heurística se minimiza apenas a distância entre cada duas salas afetas sucessivamente à mesma prova, resultando num valor superior para a distância total entre as salas afetas (igual a 66). Em relação ao número de lugares vazios nas salas afetas, os

valores obtidos por ambos os métodos são semelhantes (45 ou 40), pois na heurística apenas se considera a minimização do número de lugares vazios na primeira sala afeta (excluindo as salas afetas no passo de inicialização).

Os Cenários I e II diferem apenas no número de alunos inscritos nas diversas UC. Assim, consideraram-se as provas de avaliação a realizar às 9h do dia 09/01/2019, isto é, no primeiro turno do 5º dia da Época Normal de Avaliação do 1º semestre, do ano letivo 2018/2019. As provas de avaliação das UC a decorrer nesse período são M1+M1-E, EMINT+ESPAN+GI e AM1.

Adicionalmente, assumiu-se que nem todas as salas de aula estavam disponíveis nesse período do dia, tendo sido consideradas apenas as salas que constam da Tabela 9, onde se indicam também as respetivas capacidades (Cap.).

Sala	Cap.	Sala	Cap.	Sala	Cap.	Sala	Cap.	Sala	Cap.
SN (Q)	90	B0 (F1)	70	001 (F1)	27	102 (F1)	27	105 (F2)	20
AF1 (F1)	25	AF21 (F1)	25	002 (F1)	16	103 (F1)	30	106 (F2)	22
AF2 (F1)	25	AF22 (F1)	25	003 (F1)	27	104 (F1)	27	107 (F2)	20
AF3 (F1)	50	AF23 (F1)	25	004 (F1)	16	103 (F2)	20	108 (F2)	22
AF4 (F1)	50	AF24 (F1)	25	101 (F1)	30	104 (F2)	22	109 (F2)	20

Tabela 9: Salas disponíveis para afetação e capacidades respetivas

No Cenário I o número de alunos inscritos nas UC M1+M1-E, EMINT+ESPAN+GI e AM1 é, respetivamente, 543, 105 e 56, o que corresponde ao caso real. As afetações resultantes da aplicação das duas metodologias referidas (heurística e modelo de PLI) para este caso apresentam-se na Tabela 10.

UC (nº inscritos)	Solução			
	da Heurística		do Modelo	
	Salas afetas	Lugares vazios	Salas afetas	Lugares vazios
M1+M1-E (543)	SN (Q) AF1 (F1); AF2 (F1) AF4(F1) B0 (F1) 001 (F1); 002 (F1) 003 (F1); 004 (F1) 101 (F1); 102 (F1) 103 (F1); 104 (F1) AF21 (F1); AF22 (F1) 103 (F2); 104 (F2)	9	SN (Q); AF3 (F1) AF1 (F1); AF2 (F1) AF4 (F1) B0 (F1) 001 (F1); 002 (F1) 003 (F1) 101 (F1); 102 (F1) 103 (F1); 104 (F1) AF21 (F1); AF22 (F1)	1
EMINT+ESPAN1+GI (105)	AF3 (F1) AF23 (F1); AF24 (F1) 105 (F2)	15	104 (F2) 106 (F2); 107 (F2) 108 (F2) 105 (F2)	1
AM1 (56)	106 (F2); 107 (F2) 108 (F2)	8	004 (F1) AF23 (F1); AF24 (F1)	10
Nº salas afetas	24		23	
Distância entre salas	4581		3333	
Nº lugares vazios nas salas afetas	32		12	

Tabela 10: Afetações obtidas para o Cenário I

De forma semelhante ao que acontece no Exemplo I, na Tabela 10 observa-se que o número de salas afetas por cada um dos métodos é bastante semelhante (24 ou 23). No entanto, a distância total entre as salas afetas à mesma prova de avaliação obtida pelo modelo de PLI tem o valor de 3333, enquanto a distância obtida pela heurística apresenta um valor de 4581. Em relação ao número de lugares vazios nas salas afetas, o valor apresentado é também menor no modelo de PLI (12, ao invés de 32 na Heurística).

De seguida, para as provas de avaliação das mesmas UC, considerou-se um número de alunos inferior – Cenário II –, mais concretamente, assumiu-se que o número de inscritos nas provas de M1+M1-E é 200, nas de EMINT+ESPAN1+GI é 50 e na de AM1 é 25.

Os resultados para as duas metodologias apresentam-se na Tabela 11.

UC (nº inscritos)	Solução			
	da Heurística		do Modelo	
	Salas afetas	Lugares vazios	Salas afetas	Lugares vazios
M1+M1-E (200)	SN (Q) B0 (F1) 001 (F1); 002 (F1)	3	AF3 (F1); AF4 (F1) B0 (F1) 103 (F1)	0
EMINT+ESPAN1+GI (50)	AF4 (F1)	0	SN (Q)	40
AM1 (25)	AF24 (F1)	0	AF22 (F1)	0
Nº salas afetas	6		6	
Distância entre salas	338		135	
Nº lugares vazios nas salas afetas	3		40	

Tabela 11: Afetações obtidas para o Cenário II

Observa-se novamente que o modelo de PLI apresenta melhores resultados no que respeita à distância total entre salas afetas à mesma prova de avaliação. Contudo, contrariamente ao verificado nos testes anteriores, o número de lugares vazios nas salas afetas é menor nas afetações obtidas pela heurística.

Conclui-se desta forma, que os resultados obtidos pela heurística podem ser considerados muito aceitáveis, pois, embora o modelo de PLI origine, como esperado, soluções melhores, a heurística permite a automatização do processo de afetação para a época de avaliação, principal objetivo deste trabalho. Refira-se ainda que a automatização completa do processo de afetação não seria possível apenas com o recurso ao modelo de PLI. Para tal seria necessário escrever de forma automática o modelo, considerando dimensões variáveis, o que sai fora do âmbito deste trabalho.

Adicionalmente, a implementação da heurística em VBA vem trazer à secretaria um aumento da sua eficiência, pois um processo que até aqui era moroso a executar, com a utilização desta plataforma demora poucos minutos (nas instâncias testadas nunca se excedeu 1 minuto e, para a época de avaliação completa, nunca se excederam 4 minutos).

6. Plataforma de Afetação

A plataforma para afetação automática das salas para realização de provas de avaliação, desenvolvida em Excel VBA, tem como *input* os dados em folhas de ficheiros de Excel que se especificam na Tabela 12. O Anexo 2 contém exemplos das diferentes folhas.

Nome do Ficheiro	Nome da Folha	Tipo de Dados	Necessária atualização?
Capacidade Salas ISEG_versao_dia_mes_ano (Exemplo: Capacidade Salas ISEG_v10_15_11_2017)	Capacidade das Salas ISEG (Figura 3/Anexo 2)	Capacidade de cada sala	Não
EscalonamentoAno1eAno2 (Exemplo: Escalonamento18e19)	SemestreºSemÉpoca (Exemplo: 1ºSemEN) (Figura 4/Anexo 2)	Calendarização da época de avaliação	Sim
ExportAllEnrolments_Semestre_AnoLetivo (Exemplo: ExportAllEnrolments_1Sem_2017-2018)	Cruzamento (Figura 5/Anexo 2)	Nº de alunos inscritos na prova de avaliação de cada UC no semestre equivalente do ano anterior	Sim
Licenciaturas AnoLetivo_versão (Exemplo: Licenciaturas 2018-2019_v10)	UC Opt (Figura 6/ Anexo 2)	UC optativas lecionadas no ano letivo	Sim
listaOcupacaoSalas	Ocupacao (Figura 7/Anexo 2)	Ocupação de cada sala em cada período do dia	Sim
Plataforma de Afetacao	Mapa de Salas (Figura 8/Anexo 2)	Matriz de distâncias entre cada par de salas e escadas	Não
UCInfoSiglas	Info (Figura 9/Anexo 2)	Sigla e designação de cada UC, semestre e cursos(s) em que é lecionada	Sim

Tabela 12: Tabela de ficheiros de input

Para que a informação relativa à disponibilidade das salas de aula pudesse ser tida em conta pela plataforma, foi necessário efetuar algumas transformações. Estas encontram-se descritas de seguida.

listaOcupacaoSalas

O ficheiro listaOcupacaoSalas contém uma listagem das salas ocupadas durante o ano, detalhado por data e hora. Assim, de modo a avaliar a disponibilidade de cada sala, em cada período do dia da época de avaliação, cria-se um procedimento que seleciona apenas os registos correspondentes às datas da época de avaliação e os escreve numa folha à parte.

	A	B	C	D	E
1	Edifício	Sala	Dia	Hora Início	Hora Fim
2	QUELHAS 6	Salão Nobre (Q6)	05/01/2019	15:00	16:00
3	FRANCESINHAS 1	ANFITEATRO 1 (F1)	05/01/2019	13:00	14:30
4	FRANCESINHAS 1	ANFITEATRO 2 (F1)	05/01/2019	10:30	12:30
5	FRANCESINHAS 2	ANFITEATRO 3 (F2)	05/01/2019	18:00	20:00

Figura 1: Folha Ocupacao do ficheiro listaOcupacaoSalas com ocupação de salas

Posteriormente, como o calendário da época de exames considera a existência de quatro turnos ao longo do dia, foi também necessário considerar nesta folha a existência dos mesmos turnos, T1(9h-12h), T2 (12h-15h), T3(15h-18h) e T4(18h-21h).

Assim, a cada registo da tabela da Figura 1, tendo em conta a “Hora Início” e a “Hora Fim”, é atribuído um turno. Por exemplo, nestes registos, é indicado que, no dia 05/01/2019, o Salão Nobre (SN) está ocupado entre as 15h e as 16h, ou seja, no turno T3 e que, o Anfiteatro 2 (AF2), está ocupado entre as 10:30 e as 12:30, ou seja, nos turnos T1 e T2.

De seguida, cria-se uma matriz para cada dia da época de exames (na Figura 2 ilustra-se o dia 1), onde a primeira coluna (coluna B da Figura 2) contém todas as salas às quais se podem afetar alunos, independentemente da sua disponibilidade, e a primeira linha (linha 3 da Figura 2) os turnos (T1 a T4). O interior da matriz – correspondente a cada par (sala,turno) - é preenchido com o valor 1 caso a sala esteja ocupada naquele turno daquele dia. De acordo com os registos observados na Figura 1, obtém-se a matriz da Figura 2.

	A	B	C	D	E	F
1						
2	Dia = 1					
3			T1	T2	T3	T4
4		Salão Nobre				1
5		AF1			1	
6		AF2		1	1	
7		AF3				1

Figura 2: Matriz com disponibilidade de salas

Para facilitar a utilização da plataforma desenvolvida, apresenta-se no Anexo 3 um manual de instruções.

Ainda em relação à plataforma, considerou-se pertinente permitir, ao funcionário da secretaria, a afetação manual de salas a provas de avaliação. Este processo é efetuado antes da aplicação do algoritmo “Afeta Salas”, contudo não se encontra concluído.

De facto, quando é iniciado o algoritmo “Afeta Salas”, não são tidas em consideração as salas afetas manualmente, pelo que este pode afetar novamente estas salas à mesma prova, ou a outra que ocorra no mesmo período do mesmo dia. Assim, e enquanto não se conclui este aspeto, os funcionários da secretaria devem analisar com cuidado o *output* no respeitante às salas atribuídas manualmente. Este aspeto não foi ainda contemplado pelo facto de se ter considerado que as afetações manuais são pontuais, respeitando usualmente a salas com características específicas.

7. Conclusão

O presente trabalho final de mestrado teve como principal objetivo a automatização do processo de afetação de salas para a realização de provas de avaliação no ISEG, Universidade de Lisboa, tornando-o menos moroso e mais sistemático, colmatando assim uma necessidade da Secretaria das Licenciaturas deste instituto.

Este problema insere-se no tipo de problemas de *Examination Timetabling*, caracterizados pela afetação de períodos de tempo e salas a provas de avaliação. Desta forma, dando continuidade à automatização iniciada em (Duarte 2017) para o escalonamento de provas, desenvolveu-se uma plataforma que efetua automaticamente o processo de afetação de salas.

Adicionalmente, desenvolveu-se um modelo de PLI, implementado em *OpenSolver*, possibilitando a validação dos resultados obtidos pela heurística. Para efetuar esta validação consideraram-se diferentes cenários.

Desta comparação concluiu-se que os resultados obtidos, por ambos os métodos, no que respeita ao número de salas afetas, é bastante semelhante. Já em relação à distância total entre salas afetas à mesma prova de avaliação, o modelo de PLI apresenta um valor bastante menor. Tal justifica-se pelo facto de no modelo se minimizar a distância entre salas afetas à mesma prova, enquanto na heurística se minimiza apenas a distância entre cada duas salas afetas sucessivamente à mesma prova, resultando num valor superior para a distância total entre salas afetas. Relativamente ao número de lugares vazios nas salas afetas não foi possível detetar um padrão, ainda que a sua minimização seja considerada na primeira sala afeta pela heurística (excluindo as salas afetas no passo de inicialização).

Contudo, o modelo de PLI, escrito para as instâncias testadas, não permite tornar o processo de afetação automático. Para tal seria necessária a escrita automatizada do modelo para qualquer instância, conhecida a respetiva dimensão. Conclui-se assim, que a heurística representa uma mais-valia para a resolução deste problema, gerando soluções admissíveis em pouco tempo computacional.

Como proposta de desenvolvimento futuro, seria interessante considerar as necessidades de cada prova de avaliação, afetando-lhes salas que tenham as

características específicas necessárias. Para além disso, a heurística de afetação deveria permitir a afetação manual inicial, na escolha da próxima sala, para assim se incluírem também essas afetações iniciais no processo de seleção sucessiva de salas.

Os resultados gerados podem ainda ser melhorados com a introdução de heurísticas de pesquisa local que permitam obter soluções com menor distância total entre as salas atribuídas à mesma prova. Seria também interessante, considerar a introdução de heurísticas de pesquisa local que permitam avaliar as salas afetas à mesma prova de forma a verificar se é possível reduzir o seu número.

Relativamente ao modelo de PLI, seria interessante considerar a existência de uma penalização na função objetivo, de forma a minimizar o número de lugares vazios nas salas afetas.

Por último, em relação à plataforma desenvolvida, seria interessante que, num projeto futuro, fosse emitido um alerta quando, por exemplo, através da afetação manual, uma sala seja afeta a mais do que uma prova de avaliação, no mesmo período do mesmo dia de uma época de avaliação.

Referências

- Beyrouthy, C., E. K. Burke, D. Landa-Silva, B. McCollum, P. McMullan, e A. J. Parkes. 2009. "Towards improving the utilization of university teaching space." *Journal of the Operational Research Society* 60(1): 130-143.
- Duarte, Tiago. 2017. *Escalonamento de Provas de Avaliação: Uma aplicação*. Tese de Mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial: ISEG, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.
- Fizzano, P., e S. Swanson. 2000. "Scheduling classes on a college campus." *Computational Optimization and Applications* 16(3): 279-294.
- ISEG. 2018. *Página online do Instituto Superior de Economia e Gestão*. Acedido em 6 de Abril de 2018. <https://www.iseg.ulisboa.pt>.
- Kristiansen, Simon, e Thomas R. Stidsen. 2013. "A Comprehensive Study of Educational Timetabling - a survey." *DTU Management Engineering, Technical University of Denmark*.
- Lindahl, Michael, Andrew Mason, Thomas Stidsen, e Matias Sørensen. 2017. "A strategic view of University Timetabling." *European Journal of Operational Research* 266: 35-45.
- Müller, Tomáš. 2009. *ITC2007 solver description: a hybrid approach*, *Annals of Operations Research* 172: 429-446.
- Müller, Tomáš. 2016. *Real-life Examination Timetabling*, *Journal of Scheduling* 19 (3): 257-270.
- Qu, R., E.K. Burke, B. McCollum, e L.T.G. Merlot. 2008. "A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling." *European Journal of Operational Research* 266 12: 55-89.
- TOC 34 . 2003. "Revista da Câmara dos Técnicos Oficiais de Contas." 46-54.

Anexos

Anexo 1 – Numeração das salas dos diferentes edifícios

A sala Salão Nobre é sempre representada por SN, não sendo necessário atribuir-lhe uma posição relativa.

AF4 (19)	AF 3 (17)	Escada (15)	Escada (13)	Escada (11)	AF 2 (9)	AF 1 (7)
-------------	--------------	----------------	----------------	----------------	-------------	-------------

Tabela 13: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso -1

Biblioteca (28)	Escada (15)	Secretaria	Escada (13)	Escada (11)	001 (9)	003 (7)	Escada (5)	005 (3)	007 (1)
					002 (10)	004 (8)	006 (6)	008 (4)	010 (2)

Tabela 14: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 0

101 (17)	103 (15)	Escada (13)	105 (11)	107 (9)	109 (7)	Escada (5)	111 (3)	113 (1)
102 (18)	104 (16)	106 (14)	108 (12)	110 (10)	112 (8)	114 (6)	116 (4)	118 (2)

Tabela 15: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 1

AF 21 (15)	Escada (13)	Átrio	Escada (5)	AF 23 (3)
202 (16)	AF 22 (14)		214 (6)	AF 24 (4)

Tabela 16: Numeração e posição relativa das salas do edifício F1 – piso 2

101 (11)	103 (9)	105 (7)	107 (5)	109 (3)
102 (12)	Escada (10)	104 (8)	106 (6)	108 (4)

Tabela 17: Numeração e posição relativa das salas do edifício F2 – piso 1

201 (11)	203 (9)	Átrio
202 (12)	Escada (10)	

Tabela 18: Numeração e posição relativa das salas do edifício F2 – piso 2

Anexo 2 – Ficheiros de *input* para o programa

Capacidade Salas ISEG										
Edif.	Piso	Sala	Capacidade		Edif.	Piso	Sala	Capacidade		
			Aulas	Exames				Aulas	Exames	
F1	0	001	54	27	F2	1	101	62		
		002	32	16			102	62		
		003	54	27			103	40	20	
		004	32	16			104	44	22	
		005	34				105	40	20	
		006	46	23			106	44	22	
		007	24				107	40	20	
		008	54	27			108	44	22	
		010	46	23			109	40	20	
		1	101	60			30	2	201	62
	102		54	27		202	62			
	103		60	30		203	40		20	
	104		54	27		204	Sala Estudo 3º Ciclo			
	105		56	28		205	Career Manag. ISEG			
	106		54	27		206	Laboratório C. Inv.			
	107		54	27		207	28		14	
	108		60	30		208	Reuniões Docentes			
	109		60	30		209	Sala Estudo 2º Ciclo			
	110		60	30		210	Sala Estudo 2º Ciclo			
	111		42			211	Sala Estudo 2º Ciclo			
	112		54	27		-1	AF3		210	50
	113		54	27			AF4		210	50

Figura 3: Folha Capacidade das Salas ISEG do ficheiro Capacidade Salas ISEG_v10_15_11_2017

Exames da Época Normal																
SEMANA DATAS																
Turnes	2ª		3ª		4ª		5ª		6ª		2ª		3ª		4ª	
	00/jan/00		00/jan/00		00/jan/00		00/jan/00		00/jan/00		00/jan/00		00/jan/00		00/jan/00	
1	IG + IG-E	668	IO + IO-E	295	CIF + CIF	577	F	88	M1 + M1	543	MI1 + MI	393	HEE + HE	304	CGE2 + C	338
			AM3	75			MO + MC	370	AM1	56	M-GDES	29	ESTD	51	EC2	1
			EST1-GD	45			PM	63	EMINT +	105	EST	19	EST2-G-I	8		
							CGE-GD	41								
2	M1-GDES	110	AUD + HE	122	TI-GDES	60	AGP-GDI	29	M2 + M2	224	ING1	87	SP	40	CGE1 + C	145
	EST2-G	57			AL	57										
					CAN + C	114										
3	ECOD +	137														
4																

Figura 4: Folha 1ºSemEN do ficheiro Escalonamento18e19

Count of Proce	Column L																	
Row Labels	AGP-GDES	AIEE	AIEE-E	AL	AL1	AM1	AM2	AM3	AM4	ARFI	AUD	CAN	CAN-E	CC				
AGP-GDES	29																	
AIEE		288											14					
AIEE-E			69										1					
AL				57		50		1										
AL1					49			1		1	5	3		2				
AM1					50	56							1					
AM2							13											
AM3				1	1			75	3	1	1	1		1				
AM4								3	4									
ARFI					1			1		40	9	4						
AUD					5			1		9	44							
CAN		14	1	3	1			1		4		113						6
CAN-E																		1
CC					2			1				6		41				
CGE1		13			6		4	20	3	1	5			4				
CGE1-E																		
CGE2		15			6	1		3				1	35	2				
CGE2-E			10								1							1
CGE-GDES																		
CIF		221			1					1		2		1				

Figura 5: Folha Cruzamento do ficheiro ExportAllEnrolments_1Sem_2017-2018

A	B	C	D	E	F	G	H
Unidades curriculares	Dep	G	A	S	Cred	HS	Config semanal
Análise de Redes Sociais	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Comunicação e Negociação	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Comunicação Oral e Escrita	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Culture, Economy and Society	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Economic and Financial Sociology	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Economic History of Portugal	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Environmental Sustainability for Businesses	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
European Law	CS	OP	3	1/2	4,0	3,0	2TPx1.5H
History of the European Union	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Human Behaviour in Organizations	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
International Organizations	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Introdução ao Direito do Trabalho	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Political Sociology	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Psicossociologia	CS	OP	3	2	6,0	3,5	1TPx2H+1TPx1.5H
Social Network Analysis	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Social Responsibility and Ethics	CS	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Sociologia Política	CS	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Applied Economics	EC	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Ciclos e Crises Económicas	EC	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Economia do Desenvolvimento	EC	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H
Economia da Energia	EC	OP	3	2	4,0	3,0	2TPx1.5H
Economia e Finanças Comportamentais	EC	OP	3	1	4,0	3,0	2TPx1.5H

Figura 6: Folha UC Opt do ficheiro Licenciaturas 2018-2019_v10

	A	B	C	D	E
1	Edifício	Sala	Dia	Hora Inic	Hora F
2	BIBLIOTECA	Biblioteca (BIBLIOTECA)	2018-09-25	14:00	19:30
3	BIBLIOTECA	Biblioteca (BIBLIOTECA)	2018-09-26	14:00	19:30
4	BIBLIOTECA	Biblioteca (BIBLIOTECA)	2018-09-27	9:00	14:00
5	BIBLIOTECA	Biblioteca (BIBLIOTECA)	2018-09-28	8:30	23:59
6	BIBLIOTECA	Biblioteca (BIBLIOTECA)	2018-09-29	8:00	18:30
7	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-10	8:30	22:00
8	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-11	8:30	22:00
9	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-12	8:30	22:00
10	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-19	18:00	21:00
11	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-26	12:00	15:00
12	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-27	17:00	19:00
13	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-09-28	8:30	22:30
14	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-09	18:00	20:30
15	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-10	8:30	11:30
16	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-10	12:00	15:00
17	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-17	8:30	11:30
18	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-17	12:00	15:00
19	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-24	8:30	11:30
20	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-24	12:00	15:00
21	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-31	8:30	11:30
22	FRANCESINHAS 2	207 (F2)	2018-10-31	12:00	15:00

Figura 7: Folha Ocupacao do ficheiro listaOcupacaoSalas

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		F3	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1	F1
2		Salão Nobre	AF1	AF2	AF3	AF4	Esc15_P-1	Esc11_P-1	Esc13_P-1	Biblioteca	Esc11_P0	1
3	Salão Nobre	1000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4	AF1	100	1000	2	10	12	8	4	6	31	14	16
5	AF2	100	2	1000	8	10	6	2	4	29	12	14
6	AF3	100	10	8	1000	2	2	6	4	25	16	18
7	AF4	100	12	10	2	1000	4	8	6	27	18	20
8	Esc15_P-1	100	8	6	2	4	1000	4	2	23	14	16
9	Esc11_P-1	100	4	2	6	8	4	1000	2	27	10	12
10	Esc13_P-1	100	6	4	4	6	2	2	1000	25	12	14
11	Biblioteca	100	31	29	25	27	23	27	25	1000	17	19
12	Esc11_P0	100	14	12	16	18	14	10	12	17	1000	2
13	1	100	16	14	18	20	16	12	14	19	2	1000
14	2	100	15	13	17	19	15	11	13	18	1	1
15	3	100	18	16	20	22	18	14	16	21	4	2
16	4	100	17	15	19	21	17	13	15	20	3	1
17	5	100	22	20	24	26	22	18	20	25	8	6
18	6	100	19	17	21	23	19	15	17	22	5	3
19	7	100	24	22	26	28	24	20	22	27	10	8
20	8	100	21	19	23	25	21	17	19	24	7	5
21	10	100	23	21	25	27	23	19	21	26	9	7

Figura 8: Folha Mapa de Salas do ficheiro Plataforma de Afetacao

A	B	C	D	E
Ano	Semestre	Curso	Sigla	UC
2017/2018	1	Economia	AL1	Alemão I
2017/2018	1	Economia	AL	Álgebra Linear
2017/2018	1	Economia	AIEE	Análise da Informação Económica e Empresarial
2017/2018	1	Economia	ARFI	Análise e Relato Financeiro
2017/2018	1	Economia	AM1	Análise Matemática I
2017/2018	1	Economia	AM2	Análise Matemática II
2017/2018	1	Economia	AM3	Análise Matemática III
2017/2018	1	Economia	AUD	Auditoria
2017/2018	1	Economia	AP	Avaliação de Projectos
2017/2018	1	Economia	CIF	Cálculo e Instrumentos Financeiros
2017/2018	1	Economia	CPRO	Complementos de Programação
2017/2018	1	Economia	CNG	Comunicação e Negociação
2017/2018	1	Economia	COE	Comunicação Oral e Escrita
2017/2018	1	Economia	CC	Concorrência e Competitividade
2017/2018	1	Economia	CAN	Contabilidade Analítica
2017/2018	1	Economia	CGE1	Contabilidade Geral I

Figura 9: Folha Info do ficheiro UCInfoSiglas

Anexo 3 – Manual de utilização da plataforma

Ao abrir o ficheiro “Afetação de Salas”, o utilizador encontra duas folhas, Menu (Figura 10) e Output (Figura 11).



Figura 10: Menu inicial do programa

Calendário de Provas Escritas - Ano Letivo 2018/2019
1º Semestre - Época Normal

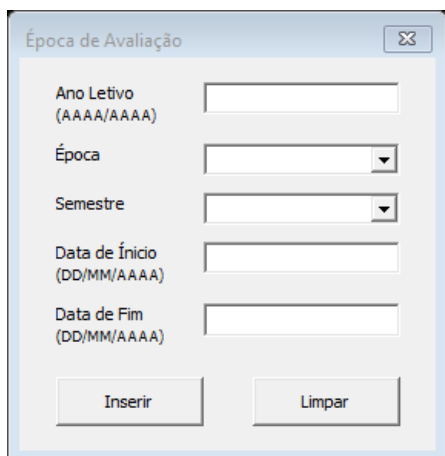
Data: 15/10/2018

UC	Curso	Época	Data	Início	Salas
Introdução À Gestão	ECO/EGERAIS/FIN/GES/MAEG	EN	07/01/2019	09:00	Salão Nobre (F3) ; AF4 (F1) ; Biblioteca (F1) ; 001 (F1) ; 002 (F1) ; 003 (F1) ; 004 (F1) ; 006 (F1) ; 008 (F1) ; 010 (F1) ; 103 (F1) ; 104 (F1) ; 105 (F1) ; 106 (F1) ; 108 (F1) ; 110 (F1)
Principles of Management	ECON/MNG	EN	07/01/2019	09:00	AF3 (F1) ; 101 (F1) ; 102 (F1) ; 107 (F1)
Matemática I	ECO/FIN/GES/GDES	EN	07/01/2019	12:00	Salão Nobre (F3) ; 203 (F2)
Estatística II (G)	GES	EN	07/01/2019	12:00	Biblioteca (F1)
Empreendedorismo	OPT	EN	07/01/2019	15:00	AF3 (F1)
Social Responsibility and Ethics	ECO/ECON/FIN/GES/MNG/MAEG	EN	07/01/2019	15:00	AF4 (F1)
Political Sociology	OPT	EN	07/01/2019	15:00	Biblioteca (F1)
Economia do Desenvolvimento	OPT	EN	07/01/2019	15:00	103 (F2)
Investigação Operacional	OPT	EN	08/01/2019	09:00	Salão Nobre (F3) ; Biblioteca (F1) ; 001 (F1) ; 002 (F1) ; 003 (F1) ; 004 (F1)
Análise Matemática III	ECO/ECON/FIN/GES/MNG/MAEG	EN	08/01/2019	09:00	AF3 (F1) ; AF4 (F1)
Operational Research	ECON/MNG	EN	08/01/2019	09:00	101 (F1) ; 102 (F1)
Estatística I	GDES	EN	08/01/2019	09:00	103 (F1) ; 104 (F1)
Auditoria	OPT	EN	08/01/2019	12:00	AF3 (F1)
Planeamento e Controlo de Gestão	OPT	EN	08/01/2019	12:00	AF4 (F1)
History of the European Union	OPT	EN	08/01/2019	12:00	AF1 (F1)
Portugês para estrangeiros - nível A1	ECO/ECON/FIN/GES/MNG/MAEG	EN	08/01/2019	12:00	002 (F1)

Figura 11: Output do programa

Tal como o nome indica, a primeira página contém o Menu de utilização da plataforma, onde o utilizador encontra três botões com diferentes funções: “Iniciar programa”, “Afetar salas manualmente” e “Imprimir Output”.

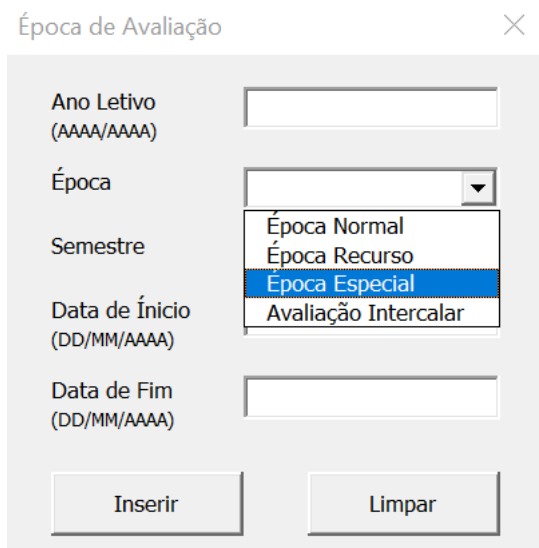
Ao selecionar o primeiro botão, “Iniciar programa”, surge um formulário para que o utilizador insira os dados da época de avaliação em afetação, isto é, ano letivo, época de avaliação, semestre e datas de início e fim da época de avaliação (Figura 12).



The image shows a dialog box titled "Época de Avaliação" with a close button in the top right corner. It contains five input fields: "Ano Letivo (AAAA/AAAA)", "Época", "Semestre", "Data de Início (DD/MM/AAAA)", and "Data de Fim (DD/MM/AAAA)". At the bottom, there are two buttons: "Inserir" and "Limpar".

Figura 12: Formulário para inserção de dados sobre a época de avaliação

Neste formulário existem campos de texto, que o utilizador deve preencher de acordo com o formato especificado, e caixas de seleção, onde o utilizador seleciona uma das opções apresentadas (Figura 13).



The image shows the same dialog box as in Figure 12, but with the "Época" dropdown menu open. The menu lists four options: "Época Normal", "Época Recurso", "Época Especial" (which is highlighted in blue), and "Avaliação Intercalar". The other input fields and buttons remain the same.

Figura 13: Formulário com opções da "Época"

De seguida, para dar início à execução do programa, o utilizador deverá premir o botão "Inserir". Desta forma, a afetação será efetuada automaticamente, de acordo com a heurística "Afeta Salas". Caso o utilizador pretenda apagar os dados inseridos, deve premir o botão "Limpar".

Relativamente ao segundo botão do Menu, "Afetar salas manualmente", este permite que seja o utilizador a afetar uma ou mais salas a prova(s) de avaliação de UC. Ao premir este botão, surgirá um formulário para que o utilizador indique o número total de salas que pretende afetar (Figura 14).

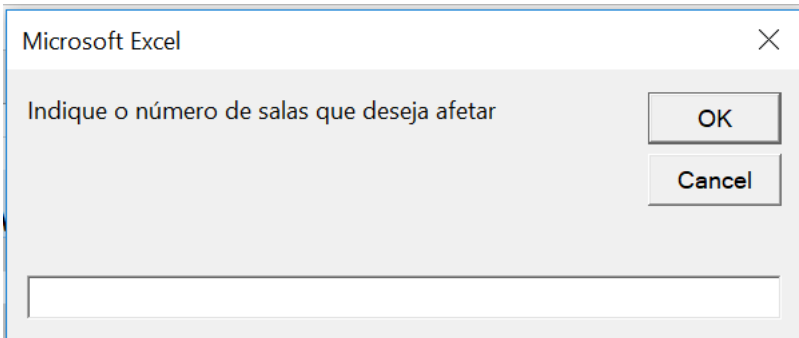
A screenshot of a Microsoft Excel dialog box. The title bar reads "Microsoft Excel" with a close button (X) on the right. The main text says "Indique o número de salas que deseja afetar". Below the text is a single-line text input field. To the right of the input field are two buttons: "OK" and "Cancel".

Figura 14: Formulário para inserir o número de salas a afetar

De seguida, surge um novo formulário (Figura 15), onde através de caixas de seleção, o utilizador escolhe a(s) sala(s) e prova(s) de avaliação das UC que pretende afetar.


A screenshot of a dialog box titled "AfetacaoSala" with a close button (X) in the top right corner. The main text is "Afetar sala manualmente". Below this, there are two dropdown menus: "UC" and "Sala". At the bottom of the dialog are two buttons: "Inserir sala" and "Limpar".

Figura 15: Formulário para inserção da(s) sala(s) a afetar a prova(s) de avaliação de UC

Na caixa de seleção "UC" aparece uma listagem com todas as UC lecionadas no semestre em afetação e, na caixa de seleção "Sala", consta uma listagem das salas que podem ser utilizadas para afetar provas de avaliação de UC de Licenciatura.

Para dar início à afetação, basta premir o botão "Inserir sala", ou, caso o utilizador pretenda eliminar os dados inseridos no formulário, premir o botão "Limpar".

Após premir o botão "Inserir sala", surge o formulário para que sejam preenchidos os dados sobre a época de avaliação em afetação (Figura 12) e, de seguida, é efetuada a afetação automática para as provas de avaliação das UC.

Relativamente ao terceiro botão do Menu, “Imprimir Output”, a sua função é a de imprimir a folha “Output” (Figura 11), onde se encontra o resultado da afetação das salas às provas de avaliação das UC.

Por fim, quando a afetação estiver concluída, surge uma mensagem com essa informação (Figura 16).

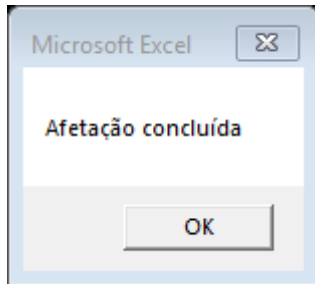


Figura 16: Mensagem após conclusão da afetação