

Instituto Politécnico de Coimbra
Instituto Superior de Contabilidade
e Administração de Coimbra

Ivo Moreira Mendes

Aplicação do Problema de Cobertura a Sistemas de Videovigilância

Aplicação do Problema de Cobertura a Sistemas de Videovigilância

Ivo Moreira Mendes

ISCAC | 2017

Coimbra, outubro de 2017



Instituto Politécnico de Coimbra
Instituto Superior de Contabilidade
e Administração de Coimbra

Ivo Moreira Mendes

Aplicação do Problema de Cobertura a Sistemas de Videovigilância

Trabalho de projeto submetido ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação de Gestão, realizado sob a orientação do Professor Doutor Pedro Coimbra Martins e do Professor Doutor António Trigo.

Coimbra, outubro de 2017

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Declaro ser o autor deste projeto, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de ensino superior para obtenção de um grau acadêmico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação do presente projeto.

RESUMO

O presente projeto incide num problema de planeamento de um sistema de videovigilância numa determinada área no plano, tendo como objetivo a minimização dos custos de instalação envolvidos. Para esse efeito, o problema recebe informações de entrada sobre uma área específica, um parâmetro de garantia de cobertura dessa área (em percentagem) e um conjunto de potenciais localizações e especificações de câmaras de vigilância. Cada uma destas câmaras garante a cobertura de uma determinada parte da área proposta.

É proposta uma formulação em programação linear inteira, tendo como motivação um problema de cobertura.

Para evidenciar a aplicação prática do problema, foram utilizados dois exemplos: um fictício e um real. O exemplo fictício tem como motivação um complexo industrial e o exemplo real corresponder ao segundo piso do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra. Considerando estes dois exemplos, foram elaborados testes computacionais recorrendo ao modelo proposto, e usando o OpenSolver.

Relativamente ao exemplo real, foi conduzida uma análise comparativa entre a solução obtida e a real localização das câmaras de vigilância instaladas. Esta comparação evidenciou que a solução obtida pela formulação proposta é mais barata do que a solução atualmente instalada, considerando câmaras semelhantes. Efetivamente, o valor ótimo obtido através do nosso modelo foi de 483,50 €, enquanto a solução instalada deverá corresponder a um valor de 554,60 €.

Palavras-chave: Videovigilância, Programação Linear Inteira, Problema de Cobertura, Otimização de Recursos.

ABSTRACT

This project involves a video surveillance planning problem on a given area in the plane, with the objective to minimize the installation costs involved. For this purpose, the input information involves the specification of an area, a parameter for setting the coverage of that area (in percent) and a set of potential locations and specifications of surveillance cameras. Each one of the cameras guaranties the coverage of a part of the given area.

We propose an integer linear programming model, having as motivation the set covering problem.

To highlight the practical relevancy of the problem, we used two examples: one fictitious and one real. The motivation for the fictitious example is an industrial plant, while the real example corresponds to the second floor of the Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra. Computational tests were conducted considering these two examples, resorting to the proposed model and using OpenSolver.

Concerning the real example, we performed a comparative analysis among the obtained solution and the current real location of the installed cameras. This comparison showed that the solution returned by the model is cheaper than the solution currently installed, considering similar cameras. In fact, the optimum value obtained by the model is equal to 483,50 €, while the currently installed solution should correspond to a value of 554,60 €.

Keywords: Video Surveillance, Integer Linear Programming, Set Covering Problem, Optimization of Resources

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Motivação.....	2
1.3	Etapas do Estudo	3
1.4	Descritor dos Capítulos	4
2	PROBLEMA DE COBERTURA	6
2.1	Revisão da Literatura	6
3	ASPETOS LEGAIS	11
3.1	Portaria n.º 273/2013 de 20 de agosto - capítulo I.....	11
3.2	Lei n.º 9/2012 de 23 de fevereiro	12
3.3	Lei n.º 34/2013 de 16 de maio.....	13
3.4	Portaria n.º 273/2013 de 20 de agosto – capítulo VI e VIII.....	13
4	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	17
4.1	Caraterísticas das câmaras.....	17
4.2	Formulação matemática para o problema de cobertura por videovigilância no plano 19	
4.3	Resolução do exemplo usando a formulação proposta	24
4.3.1	Teste 1 com $s = 95\%$ e câmaras fictícias	25
4.3.2	Teste 2 com $s = 90\%$ e câmaras fictícias	27
4.3.3	Teste 3 com $s = 95\%$ e câmaras reais	28
4.3.4	Teste 4 com $s = 90\%$ e câmaras reais	30
4.3.5	Teste 5 com zonas críticas e $s = 95\%$	31
4.3.6	Teste 6 com zonas críticas e $s = 90\%$	33
4.4	Discussão dos resultados.....	35

5	CASO DE ESTUDO ISCAC	38
5.1	Caraterísticas do computador	38
5.2	Caraterísticas da área.....	38
5.3	Caraterísticas das câmaras de vigilância	39
5.4	Elaboração de Testes.....	40
5.4.1	Teste 1 sem zonas críticas e $s = 95\%$	40
5.4.2	Teste 2 sem zonas críticas e $s = 90\%$	43
5.4.3	Teste 3 com zonas críticas e $s = 95\%$	46
5.4.4	Teste 4 com zonas críticas e $s = 90\%$	49
5.5	Comparação das soluções obtidas com a solução real	52
6	SOFTWARE DE CÁLCULO E DISTRIBUIÇÃO DE CÂMARAS DE VIDEOVIGILÂNCIA	54
6.1	Tecnologias selecionadas	54
6.1.1	Linguagem JAVA e JavaFX API.....	54
6.1.2	Ambiente de desenvolvimento.....	55
6.1.3	Organização do código	56
6.2	Especificação de requisitos	57
6.2.1	Diagrama de casos de uso	57
6.2.2	Diagrama de atividades.....	57
6.3	Apresentação da aplicação desenvolvida	58
6.3.1	Passo 0 – Iniciar a aplicação	58
6.3.2	Passo 1 – Carregar a imagem.....	58
6.3.3	Passo 2 – Criar grelha	60
6.3.4	Passo 3 – Definir área	60
6.3.5	Passo 4 – Obter solução	61
7	CONCLUSÃO	63

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS	1
ANEXO 1	2
ANEXO 2	4
ANEXO 3	6
ANEXO 4	8
ANEXO 5	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Exemplo de planta a ser monitorizada	3
Figura 3.1 Símbolo gráfico	15
Figura 4.1 Câmara do tipo Tubular.....	17
Figura 4.2 Câmara do tipo Rotativa.....	18
Figura 4.3 Câmara do tipo Dome.....	18
Figura 4.4 Divisão da área em quadrículas.....	19
Figura 4.5 Exemplo da colocação de pontos estratégicos	20
Figura 4.6 Representação das câmaras escolhidas.....	21
Figura 4.7 Área coberta pelas câmaras escolhidas	22
Figura 4.8 Área de cobertura da câmara localizada na variável y^1	23
Figura 4.9 Resultado do Teste 1	26
Figura 4.10 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 2.....	26
Figura 4.11 Resultado do Teste 2	27
Figura 4.12 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 2.....	28
Figura 4.13 Resultado do Teste 3	29
Figura 4.14 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 3.....	29
Figura 4.15 Resultado do Teste 4	30
Figura 4.16 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 4.....	31
Figura 4.17 Localização das zonas críticas.....	32
Figura 4.18 Resultado do Teste 5	32
Figura 4.19 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 5.....	33
Figura 4.20 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 6 quando $s = 99\%$	34
Figura 4.21 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 6 quando $s = 87\%$	35
Figura 5.1 Representação do 2º Piso do ISCAC.....	39
Figura 5.2 Resultado do Teste 1 - Caso Real.....	41

Figura 5.3 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 1 - Caso Real.....	42
Figura 5.4 Resultado do Teste 2 - Caso Real.....	44
Figura 5.5 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 2 - Caso Real.....	45
Figura 5.6 Resultado do Teste 3 - Caso Real.....	47
Figura 5.7 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 3 - Caso Real.....	48
Figura 5.8 Resultado do Teste 4 - Caso Real.....	50
Figura 5.9 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 4 - Caso Real.....	51
Figura 5.10 Localização atual das câmaras do piso 2 do ISCAC	53
Figura 6.1 Ambiente inicial da ferramenta JavaFX Scene Builder 2.	55
Figura 6.2 Eclipse Java EE IDE for Web Developers	55
Figura 6.3 Estrutura física do código.....	56
Figura 6.4 Diagrama de casos de uso	57
Figura 6.5 Fluxograma dos acontecimentos	57
Figura 6.6 Passo 0 - Iniciar da aplicação	58
Figura 6.7 Passo 1 - Carregar a imagem.....	59
Figura 6.8 Passo 1 - Após escolha da imagem	59
Figura 6.9 Passo 2 - Criar grelha	60
Figura 6.10 Passo 3 - Definir área	61
Figura 6.11 Passo 4 - Obter Solução.....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 Resumo dos resultados obtidos no caso fictício	37
Tabela 5.1 Resumo dos resultados obtidos no caso real.....	52

Lista de acrónimos

API – *Application Programming Interface*

ATM – Caixa de Multibanco

CAD – *Computer Aided Design*

CNPD – Comissão Nacional de Proteção de Dados

EN – Norma Europeia

IDE – *Integrated Development Environment*

ISCAC – Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra

ISO – *International Organization for Standardization*

PMC – Plano com Cobertura Máximo

PSO – *Particle Swarm Optimizaton*

SIGESP – Sistema Integrado de Gestão de Segurança Privada

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se a descrição do problema em estudo e respetiva motivação, com incidência nos aspetos positivos decorrentes da instalação de um sistema de videovigilância.

O problema em análise incide na área de Otimização de Recursos, recorrendo, em particular, ao problema clássico de cobertura. No caso em concreto, pretende-se minimizar o custo total de câmaras de vigilância necessárias para monitorizar uma determinada área.

Por fim, apresenta-se as etapas de estudo, enumerando as diversas fases da elaboração do projeto e também um descritor dos capítulos seguintes, de modo a se compreender de uma forma sucinta os trabalhos efetuados no decorrer da realização do presente projeto.

1.1 Enquadramento

Hoje em dia, muitas entidades empresariais recorrem à utilização de câmaras de vigilância para manterem o seu espaço seguro e protegido. Tanto no sector privado como no sector público, em zonas comerciais, aeroportos, escolas, entre outros locais frequentados por inúmeras pessoas, é possível a verificação de câmaras de vigilância de diferentes tipos, permitindo monitorizar e trazer segurança a bens e pessoas.

A importância da videovigilância obriga a um adequado planeamento da colocação das câmaras de forma a tornarem eficiente e eficaz todo o sistema instalado. Esse processo passa por garantir capacidade de cobertura adequada de uma área pré-definida. Muitas empresas de segurança, aplicam sistemas de vídeo vigilância de um modo tradicional, colocando câmaras em locais estratégicos, recorrendo somente à experiência do ofício, mas até que ponto estes posicionamentos são eficazes? E até que ponto os custos são os adequados para essas instalações?

Neste projeto propõem-se formulações matemáticas que procurarão responder a diferentes aspetos do problema de videovigilância que será discutido na presente tese. De uma forma genérica, dada uma área plana e um conjunto de potencial de locais para instalar câmaras de videovigilância, a versão central deste problema envolve a determinação da melhor seleção de um subconjunto desses locais de forma a garantir a vigilância de uma dada proporção da área inicialmente definida. Os problemas serão orientados para a minimização dos custos totais envolvidos. As formulações que serão

propostas baseiam-se em modelos de cobertura, visando a otimização do sistema de videovigilância.

O projeto incluirá o desenvolvimento de uma aplicação que permita aos utilizadores interagir com a formulação matemática proposta. A aplicação incluirá a construção automática das formulações e recorrerá a *software* de otimização linear (contínua e discreta) de livre acesso e livre utilização para o cálculo das mesmas.

Será evidenciado o potencial do presente projeto para a melhoria da eficiência dos sistemas de videovigilância.

1.2 Motivação

A instalação de um sistema de câmaras de vigilância é hoje em dia visto como um sistema de segurança necessário, que confere confiança e conforto às pessoas. Em algumas áreas económicas estes sistemas são imprescindíveis, nomeadamente em bancos, em escolas, em museus, em locais de exposição, em aeroportos, em parques de estacionamento ou até mesmo nas próprias habitações. É muito importante que as pessoas se sintam protegidas quando, por exemplo, se deslocam a um banco, e sentem que estão a ser acompanhadas por uma entidade relacionada com a segurança.

Mas não é só este o único motivo que leva à elaboração deste projeto. As câmaras de vigilância conferem um sinal de segurança e supervisão, permitindo que uma dada área seja monitorizada, evitando situações de perigo como por exemplo, tentativas de intrusão, problemas técnicos em determinadas zonas, possíveis focos de incêndios ou outro tipo de acidentes. Estes tipos de sistemas permitem também a captação de imagens e vídeo para mais tarde serem analisadas, não necessitando de funcionários permanentes. Esta perspectiva proporciona também uma redução indireta de custos. A **Figura 1.1** exemplifica uma área irregular correspondente a um complexo industrial, alvo de monitorização.

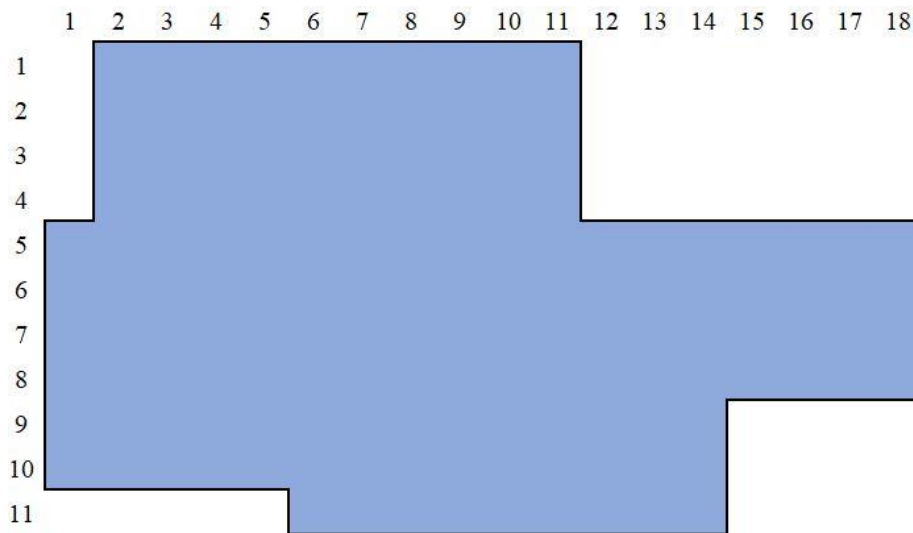


Figura 1.1 Exemplo de planta a ser monitorizada

Nem todos os elementos associados à instalação de um sistema de vigilância correspondem a vantagens. Existem protocolos e leis que estabelecem como se deve proceder à instalação de câmaras de modo a salvaguardar os dados pessoais e a vida privada das pessoas.

Optou-se pela elaboração de um projeto pela perspectiva aplicada do tema, possibilitando a exploração de técnicas de Otimização de Recursos. A possibilidade de poder gerar um produto com atual interesse para o mercado foi também fator de motivação para a escolha do presente tema.

Numa fase mais avançada, pretende-se que a aplicação possa, perante uma planta de um edifício e dados um conjunto de zonas críticas, como por exemplo portas e janelas, garantir a cobertura dessas zonas críticas por uma ou mais câmaras. O utilizador poderá também identificar zonas da planta que não deverão ser monitorizadas. O resultado final será, tal como na versão inicial proposta, a localização das câmaras na planta, de modo a cobrir uma determinada percentagem de área e minimizando os custos de instalação.

Este projeto poderá ainda, numa abordagem futura e mais abrangente, ser direcionado para a cobertura de áreas de rega com aplicações na agricultura, localização de postos de vigilância de tráfego em áreas urbanas, entre outras.

1.3 Etapas do Estudo

O problema que será objeto de estudo no presente projeto incide na identificação da localização de câmaras de vigilância que garantam a cobertura de uma dada área plana,

correspondente à planta de um edifício, tendo como objetivo a minimização dos custos decorrentes da instalação das câmaras de videovigilância. Para o desenvolvimento do projeto foram executadas as seguintes etapas:

- Efetuaram-se pesquisas referentes a informações sobre câmaras de vigilância, analisando as suas características e escolhendo as mais pertinentes, que serão tidas em conta na formulação;
- Pesquisaram-se e analisaram-se artigos no âmbito do problema de cobertura, de modo a compreender cobertura sua área de aplicação;
- Com a análise da informação obtida, desenvolveu-se uma formulação matemática para o problema proposto;
- Foram efetuados testes usando exemplos fictícios;
- Desenvolveu-se uma aplicação que integra o modelo de otimização e ferramentas de cálculo, proporcionando um ambiente integrado de fácil utilização;
- Elaborou-se um manual de utilizador referente à aplicação informática;
- Aplicou-se todo o conhecimento obtido a um caso real, analisando e discutindo os resultados.

1.4 Descritor dos Capítulos

O presente capítulo introduz o projeto, enumerando as motivações pelo qual o tema foi escolhido, passando pela descrição das diversas etapas. Foram destacadas as vantagens que a aplicação proposta neste projeto trará com o objetivo de otimizar os processos instalação de um sistema de câmaras de vigilância, tendo em vista a minimização dos custos.

No capítulo 2, apresenta-se uma análise da literatura existente sobre o tema proposto, incidindo em problemas de otimização baseados no problema de cobertura, aplicado a situações semelhantes e situações diferentes. Serão destacados os aspetos comuns e as diferenças fundamentais, relativamente ao problema tratado no presente trabalho. Serão também destacados aspetos relevantes das técnicas de abordagem presentes na literatura referida.

O capítulo 3 englobará aspetos legais, onde se irá discutir a aplicabilidade de câmaras de vigilância. Detalhar-se-á o enquadramento legal da aplicação das câmaras, descrevendo os locais que podem ou não serem monitorizados.

No 4º capítulo serão apresentadas as formulações matemáticas subjacentes à resolução do problema proposto, atendendo às várias versões que serão consideradas. O capítulo integrará também toda a descrição do produto informático que integra os módulos de resolução do problema. O capítulo terá também testes computacionais em áreas fictícias e análise dos resultados obtidos.

O 5º capítulo será dedicado à condução de testes computacionais num caso real, nomeadamente ao piso 2 das instalações do Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra (ISCAC).

O capítulo 6 será dedicado à construção do *software* de apoio bem como a toda a documentação necessária para o seu funcionamento, nomeadamente o manual do utilizador. Serão feitas análises, tanto a várias linguagens de programação, como a *softwares* de desenvolvimento, de modo a se escolher a melhor combinação.

Por fim, no último capítulo, serão sumariadas as principais conclusões que decorrem do projeto, quer do ponto de vista do seu enquadramento e desenvolvimento, quer do ponto de vista da sua aplicabilidade prática. Serão apresentadas linhas de desenvolvimento para trabalho futuro no âmbito do projeto aqui proposto.

2 PROBLEMA DE COBERTURA

Este capítulo apresenta a revisão de literatura efetuada para compreensão da aplicabilidade do problema de cobertura a sistemas de videovigilância. Nesta revisão de literatura foram pesquisados e analisados diversos artigos e reunidas informações sobre os processos de desenvolvimento dos trabalhos elaborados por diferentes autores, apresentando os aspetos positivos bem como negativos.

2.1 Revisão da Literatura

O problema proposto no presente trabalho tem como base um problema de cobertura. Os problemas de cobertura são fortemente estudados em otimização combinatória, surgindo, por exemplo, em problemas de escalas e turnos de trabalho (e.g., (Boyer, Gendron, & Rousseau, 2014) e (Lin & Ying, 2014)), em problemas de localização (e.g., (Crepaldi, de Rezende, & de Souza, 2015) e (Ruan & Gao, 2014)), no planeamento agrícola (e.g., (Conesa-Muñoz, Bengochea-Guevara, Andujar, & Ribeiro, 2016) e (Hameed, la Cour-Harbo, & Osen, 2016)), em planeamento urbano e planeamento geográfico (e.g., (Kuo, Luo, & Wang, 2013) e (Kwatirayo, Almhana, Liu, & Sibli, 2014)), em planeamento de tráfego aéreo (e.g., (Peyronne, Conn, Mongeau, & Delahaye, 2015) e (Alonso-Ayuso, Escudero, & Martín-Campo, 2014)), em telecomunicações (e.g., (Laguna, 1998) e (Ghazzai, Yaacoub, Alouini, Dawy, & Abu-Dayya, 2016)), entre outros.

Os temas que envolvem a cobertura de áreas planas têm também recebido forte atenção, surgindo em sistemas de sensores de deteção de movimento (González-Banos, 2001), sistemas de iluminação, sistemas de irrigação no planeamento agrícola e também em sistemas de deteção de fumos (Maksimović & Milošević, 2016). Estes temas estão na linha do problema proposta neste projeto, pelo que se destaca na presente secção alguns dos trabalhos mais próximos publicados na literatura.

Em (Couto, de Rezende, & de Souza, 2011), os autores consideram a monitorização de uma área poligonal através de guardas dispostos estrategicamente nos vértices de uma galeria de arte. Neste trabalho, considera-se que as áreas para monitorização devem ser polígonos ortogonais simples pelo fato de a maioria dos edifícios terem conformações poligonais nas suas áreas de acesso, nomeadamente, em galerias de arte e em outros espaços públicos. A formulação tem como objetivo a minimização da colocação do número de guardas nos vértices do polígono. Os testes computacionais reportados exploram várias formulações, incluindo modelos discretizados, discutindo a capacidade

de resolução de problemas de dimensão e contexto real, aplicado a várias classes de polígonos. Apesar do extenso leque de características, os autores não consideram campos de cobertura diferentes, uma vez que o campo de visão de todos os guardas colocados nos vértices é de 360°. Na formulação proposta, os guardas são considerados variáveis binárias sendo as suas posições fixas, indicando que indivíduo está a ser utilizado num determinado vértice. Utilizando problema de cobertura, os autores transformaram a área a ser monitorizada num conjunto de pontos garantindo que qualquer ponto da área é monitorizado por pelo menos um guarda. Os autores delinearão várias estratégias para a discretização, baseadas no número de vértices do polígono. Na primeira estratégia consideraram uma discretização com um único vértice do polígono, indo progressivamente aumentando o número de vértices até obterem uma solução viável. A segunda estratégia funciona de forma oposta, começando com uma discretização com todos os vértices em análise e progressivamente indo diminuindo o número de vértices até encontrarem uma solução viável. A terceira estratégia incide em vértices convexos, considerando que estes têm maior visibilidade, pelo fato de cobrirem uma maior área do que um vértice normal. Uma desvantagem da primeira estratégia, que se inicia com a colocação de um só vértice (um guarda), dificilmente chegaria a uma solução viável em poucas iterações, apesar de não trazer custos de pré-processamento. Iniciar o processo com todos os vértices, como apresentado na segunda estratégia, os resultados mostraram que após um número elevado de iterações, as áreas não cobertas eram maiores do que se se utilizasse a primeira estratégia. Os autores obtiveram os melhores resultados com a 3ª estratégia, conseguindo obter soluções para uma instância com 2500 vértices. Comparativamente com o estudo desenvolvido por estes autores, o problema abordado no presente trabalho incide na monitorização de uma área plana usando câmaras de videovigilância em vez indivíduos. A utilização de câmaras de videovigilância envolve um conjunto de equipamentos alternativos, de acordo com várias características das câmaras, ao passo que a vigilância realizada por indivíduos tem uma só característica (campo de visão de 360° e alcance ilimitado).

Num outro trabalho, (Uğur Murat Erdem & Sclaroff, 2004) abordam também um problema de cobertura de uma área plana, procurando o custo mínimo de configuração com a garantia de alcançar um determinado nível de satisfação relativo à área coberta. Neste trabalho é dada particular atenção aos sensores de vídeo, condicionando o posicionamento das câmaras de forma a assegurar uma imagem com determinados

requisitos de qualidade. Os autores apontam alguns aspectos irrealistas presentes nas soluções atuais, nomeadamente ao considerarem campo ilimitado de visão ou profundidade ilimitada de visão. Por esse motivo, propõem abordagens que se baseiam em geometria computacional, procurando integrar as exigências mais realistas da visão computacional utilizando câmaras reais. O modelo apresentado considera, fundamentalmente, um conjunto de pontos para cobertura e também os custos das câmaras, utilizando um modelo de otimização linear com variáveis binárias, podendo ser usado em formas poligonais arbitrárias. Para a resolução deste problema, foi importante ter em conta as características das câmaras de vigilância, tal como no modelo que será apresentado neste projeto. Procura-se desta forma obter resultados mais precisos e reais. O problema proposto pelos autores incide no posicionamento ideal de câmaras numa determinada área, considerando câmaras estáticas, procurando otimizar o número ideal de dispositivos para monitorizar uma dada área, tendo como objetivo a minimização do custo total ou colocando o custo abrangido por uma restrição orçamental, tendo em conta os custos associados a cada câmara.

Numa outra abordagem dos autores (Uğur Murat Erdem & Sclaroff, 2006) é proposto um problema para otimizar a localização das câmaras para uma determinada região, incidindo na discussão do campo de visão dos dispositivos. O objetivo é determinar o posicionamento ótimo e o número de câmaras para a região a ser observada, dado um conjunto de restrições específicas e um conjunto de câmaras possíveis. A vantagem desta proposta é o fato de poderem ser colocadas câmaras em toda a área a ser monitorizada, e não apenas nos vértices. De referir, que a região a ser observada pelas câmaras pode ter formas volumétricas arbitrárias, podendo existir obstáculos que podem interferir com o campo de visão dos dispositivos. Mais uma vez, os autores têm em consideração as várias características das câmaras de vigilância de modo a satisfazer os requisitos para as tarefas de deteção de vídeo especificadas.

A incorporação de zonas com vigilâncias reforçada foi discutida em (Conci & Lizzi, 2009). Como exemplo de zonas críticas ou zonas mais proeminentes ao perigo, e considerando a planta de um edifício, destacam portas, janelas, zonas de estacionamento, peças de museu que possam requerer maior vigilância, ou até mesmo caixas de multibanco. Os autores dão grande atenção à distância entre um objeto e à câmara que o está a monitorizar, procurando não deixar objetos com fraca visibilidade. A abordagem dos autores pretende o posicionamento automático das câmaras de vigilância de modo a

maximizar o espaço vigiado utilizando a técnica heurística *Particle Swarm Optimizaion* (PSO). Como parte da modelação do meio envolvente, foi proposto uma ferramenta para determinar o tipo de câmaras a instalar, procurando otimizar a qualidade de visualização do espaço coberto, identificando os sensores mais adequados para um determinado momento. Para o algoritmo, foram tidas em conta as áreas prioritárias que necessitassem de vigilância e não a área total de um espaço, sendo que um determinado objeto e/ou local poderia ser acedido de diversos ângulos e por essa razão, o algoritmo teve que ter em conta os diversos ângulos de visão de cada área crítica. Através de um mapa com as áreas críticas assinaladas, o algoritmo identifica o melhor conjunto de câmaras de vigilância, consoante as características de cada equipamento, procurando determinar a melhor cobertura dessas áreas. A modelação do ambiente foi feita em 2D, tornando fácil a compatibilidade com os mapas provenientes de um *software* CAD, facilitando a identificação das áreas críticas. O utilizador pode também escolher as áreas a serem vigiadas, atribuindo-lhes um valor de prioridade que varia entre 0 e 1. Se o valor for 0, não são necessárias câmaras para monitorização dessa área. Em caso contrário, quando o valor é 1, o algoritmo coloca câmaras de modo a garantir a monitorização da área.

Comparando com o problema em estudo no presente trabalho, será também considerada a possibilidade de incorporar a seleção de zonas críticas que requererão vigilância através de uma ou mais câmaras.

Em (Murray et al., 2007), os autores apontam alguma falta de rigor em relação a abordagens anteriores, enunciando algumas limitações que incidem em representações pouco realistas. Afirmam que em (Couto et al., 2011) o problema da galeria de arte pode não ser o mais adequado para a colocação de sensores, para além de não incluir restrições orçamentais. Em alternativa, o estudo conduzido em (Murray et al., 2007) tem como principal foco a formalização de três preocupações fundamentais: área, orçamento e complementaridade. Em relação à primeira preocupação, otimizar a área total que está sendo monitorizada pelas câmaras de vigilância é crucial, mas também é importante ter a capacidade de distinguir a importância relativa dos atributos espaciais. Isto implica, como já referido, ter em conta as zonas críticas, sendo mais importante monitorizar portas e janelas do que áreas que não possuam informação relevante para a segurança das pessoas e do edifício em questão, como o exemplo de um canteiro de relva ou as casas de banho. A componente orçamental também é importante para limitar o custo de instalação do sistema de videovigilância. Os clientes que recorrem a empresas que instalam este tipo

de serviço não possuem um orçamento ilimitado, sendo importante definir limites e adicionar o custo da instalação como uma restrição à formulação, caso não defina a função objetivo. Por último, a monitorização complementar é importante porque uma monitorização com segurança envolve a vigilância acompanhamento de pessoas numa determinada área. Para isso, o equipamento deve estar localizado de forma a facilitar essa monitorização, envolvendo, caso seja necessário, um incremento no número de dispositivos que assegurem uma monitorização adequada da área. A área observável por um sensor é restringida por características físicas, tais como objetos, paredes, portas e janelas, bem como as características das câmaras. Tais características incluem elevação relativa, distância vertical de uma superfície e capacidades do sensor, como limites de ângulo horizontal e vertical. Para a abordagem em discussão no presente trabalho, as características das câmaras serão tidas em conta, de modo a melhorar a formulação, procurando uma maior adequabilidade dos resultados.

Ainda no mesmo âmbito, mas com diferenças significativas em relação ao trabalho em estudo, em (Murray & Tong, 2007) os autores propõem a otimização da localização de uma empresa ou de uma infraestrutura de modo a conseguir servir uma potencial procura. O interesse é cobrir otimamente uma dada região por serviços, permitindo que as instalações estejam localizadas num espaço contínuo. Assim, os autores procuram estender o problema de localização no plano com cobertura máxima (PMC) definido originalmente em (Church, 1984). A formulação proposta envolve um modelo em programação inteira, tendo como objetivo a maximização da procura total através do serviço mais adequado, maximizando desta forma a cobertura total. As restrições utilizadas na formulação referem que a procura deve ser coberta pela infraestrutura mais próxima (entre as infraestruturas abertas). Um outro aspeto a destacar é o fato de as infraestruturas não necessitarem de estar localizadas em vértices, tendo em conta que as áreas de cobertura de cada infraestrutura são áreas circulares. Na analogia com os problemas de videovigilâncias, poder-se-á comparar as câmaras que têm um campo de visão de 360° e que também não necessitam de estar localizadas em vértices. A região a ser monitorizada poderá ser tão ampla em que câmaras localizadas nos vértices podem não ser suficientes para monitorizar áreas mais interiores.

3 ASPETOS LEGAIS

A instalação de um sistema de videovigilância trás sem dúvida conforto e segurança, quer aos utentes quer aos agentes que gerem os espaços sob vigilância. A videovigilância de espaços é particularmente relevante em espaços públicos e privados com forte afluência de pessoas, procurando prevenir utilizações abusivas, nomeadamente, roubo ou vandalismo. Por outro lado, o sistema instalado requer o cumprimento de um conjunto de normas regulamentadas pelas leis em vigor. As leis existem para moderar a instalação, evitando um uso abusivo dos dados e da informação recolhida.

A instalação de um sistema deste tipo está sujeita a uma autorização da Comissão Nacional de Proteção de Dados (CNPd), bem como pelo artigo 2º da Lei da Proteção de Dados Pessoais, indicando que o tratamento dos dados pessoais deve processar-se de uma forma transparente, preservando a vida privada, bem como os direitos, liberdades e garantias fundamentais.

Neste capítulo abordam-se algumas das referências legais mais relevantes para o presente estudo.

3.1 Portaria n.º 273/2013 de 20 de agosto - capítulo I

A (*Portaria n.º 273/2013, de 20 de agosto, Segurança Privada, 2013*) enumera procedimentos de registo dos sistemas de videovigilância, avisos legais e simbologia identificativa, previstos no artigo n.º 34/2013 de 16 de maio. Esta legislação indica que nos locais onde se efetua a instalação de um sistema de videovigilância, é obrigatória a afixação, em local visível, de informação que indique a existência de câmaras de vigilância no estabelecimento, juntamente com a frase: “Para a sua proteção, este local é objeto de videovigilância”. Deverá estar mencionada a entidade de segurança responsável, bem como o alvará e/ou licença; e também a identificação do responsável pelo tratamento dos dados recolhidos, perante quem os direitos de acesso e retificação podem ser exercidos.

No artigo 7.º da referida Portaria, são enumerados requisitos gerais de segurança das instalações, que compreende um sistema de videovigilância por câmaras de vídeo para captação de imagem e som, cobrindo as áreas de acesso às instalações; a existência de deteção contra intrusão; e a conexão a uma central de controlo. O ponto 3 deste artigo

refere ainda que: “A sede e as instalações operacionais não podem constituir simultaneamente habitação, devendo ser de acesso condicionado ou restrito”.

3.2 Lei n.º 9/2012 de 23 de fevereiro

No que toca a sistemas de videovigilância, a (*Lei n.º 9/2012, de 23 de Fevereiro de 2012, Segurança Online, 2012*) regula a utilização de sistemas de vigilância através de câmaras de vídeo pelas forças e serviços de segurança em locais públicos, para captação e gravação de imagem e som e seu posterior tratamento.

A utilização de videovigilância está explícita no artigo 2.º e só pode ser utilizada na proteção de edifícios e instalações públicos e respetivos acessos, proteção de instalações com o interesse para a defesa e segurança, proteção da segurança das pessoas e bens, públicos ou privados, com a prevenção da prática de atos qualificados pela lei como crimes.

A autorização da instalação de câmaras fixas está sujeita a autorização do membro do Governo que tutela a força ou serviço de segurança requerente. Esta decisão de autorização é precedida de parecer da CNPD, que se pronuncia sobre a conformidade do pedido face às necessidades de cumprimento das regras referentes à segurança do tratamento dos dados recolhidos.

O artigo 4.º refere-se às condições de instalação e enuncia que, nos locais objeto de vigilância, é obrigatória a afixação de informação sobre a existência e a localização das câmaras de vídeo, a finalidade da captação de imagens e sons e o responsável pelo tratamento dos dados recolhidos.

Nem sempre se podem colocar câmaras de vigilância onde se quer. O artigo 7.º diz que é expressamente proibido a instalação de câmaras fixas em áreas que, apesar de situadas em locais públicos, sejam, pela sua natureza, destinadas a ser utilizadas em resguardo. O ponto 6 deste artigo expressa também que é proibido a utilização de câmaras de vídeo quando a captação de imagens e de sons abranja o interior de casas ou edifícios habitados, salvo consentimento dos proprietários ou através de uma autorização judicial. Por fim, é vedada a captação de imagens e sons nos locais, quando essa captação afete, de forma direta e imediata, a intimidade das pessoas, ou resulte na gravação de conversas de natureza privada.

3.3 Lei n.º 34/2013 de 16 de maio

Para melhor compreensão, a (*Lei n.º 34/2013, de 16 de Maio, Regime do Exercício da Atividade de Segurança Privada, 2013*) estabelece algumas normas envolvidas na instalação de um sistema de videovigilância, na perspetiva de uma entidade empresarial do ramo de atividades de segurança privada.

De seguida expõem-se alguns pontos que limitam a realização de procedimentos de por parte das empresas de segurança privada. Apresentam-se também aspetos de execução obrigatória, tendo como finalidade a prevenção da prática de crimes.

Pelo artigo 5.º, seção de proibições, as entidades estão proibidas de ameaçar, inibir ou restringir o exercício de direitos, bem como a proteção de bens, serviços ou pessoas envolvidas em atividades ilícitas. Estão ainda proibidas de instalar e utilizar sistemas de segurança suscetíveis de colocar a integridade física e a vida das pessoas em perigo.

No artigo 7.º, medidas de segurança, as entidades são obrigadas a adotarem medidas de segurança com o objetivo de prevenir a prática criminal. No momento da aplicação de medidas de segurança, qualquer obra necessária para a instalação do serviço de segurança terá que ser comunicada ao proprietário, exceto quando as mesmas se mostrem suscetíveis de provocar riscos estruturais ou de estabilidade do edifício.

No ponto 3 do artigo 7.º, as medidas de segurança podem incluir a criação de um departamento de segurança, a existência de um diretor habilitado com formação específica para as funções, e a afetação de funcionários que estejam habilitados para o exercício das funções de vigilância. Ainda no âmbito das medidas de segurança, o artigo refere também a necessidade de instalação de um sistema de videovigilância e sistemas de segurança e proteção. A entidade de segurança está obrigada também a criar uma conexão dos sistemas de segurança à central de alarmes próprios ou a uma entidade autorizada nos termos da lei n.º 34/2013.

Ainda ao abrigo desta lei, o artigo 6.º, as entidades de segurança ficam obrigadas ao sigilo profissional, nos termos da legislação penal e processual.

3.4 Portaria n.º 273/2013 de 20 de agosto – capítulo VI e VIII

O capítulo VI da (*Portaria n.º 273/2013, de 20 de agosto, Segurança Privada, 2013*) refere-se ao registo de sistemas de videovigilância, indicando procedimentos e a entidade ao qual se deve efetuar o pedido de registo. O ponto 2 do artigo 51.º, objeto de registo,

diz que o dever de registo compreende os sistemas de videovigilância de que as entidades de segurança privada titulares de alvará ou licença sejam responsáveis pelo tratamento de dados pessoais e no artigo 52.º, ponto 1, destaca: “O registo dos sistemas de videovigilância por câmaras de vídeo para captação e gravação de imagens é efetuado através do SIGESP, mediante pedido apresentado pela entidade de segurança privada titular de alvará ou licença, ou seu representante”. Também é importante de referir que o ponto 4 do artigo 57.º destaca: “As entidades autorizadas a explorar e a gerir centrais de receção e monitorização de sinais de alarme e de videovigilância, devem, antes da ativação do serviço, instruir o utilizador, por escrito, do funcionamento do serviço, das características técnicas e funcionais do sistema e das responsabilidades do utilizador”.

O pedido de registo deve conter a identificação da autorização da CNPD, o nome e endereço do responsável pelo tratamento de dados, bem como a finalidade do tratamento dos dados, as características do sistema de videovigilância e uma descrição sumária das medidas de segurança físicas e lógicas do tratamento em aplicação dos artigos 14.º e 15.º da Lei n.º 67/98, de 26 de outubro. Após a submissão, a Direção Nacional procede à análise do pedido e emite um comprovativo de registo do sistema de videovigilância em causa.

A secção 1 do capítulo 8 da (*Portaria n.º 273/2013, de 20 de agosto, Segurança Privada, 2013*) visa a medidas de segurança obrigatória para instituições de crédito e sociedades financeiras em que o artigo 90º trata de sistemas de videovigilância. O ponto 1 refere que é necessário um sistema de videovigilância por se prestar serviços a clientes ou a se proceder a depósitos, guarda e tratamento de valores, onde a monitorização será efetuada a partir da central de controlo, com a finalidade de proteger as pessoas e bens e prevenir a prática de crimes. O ponto 2 refere à permissão de se identificar as pessoas e garantir a cobertura das zonas de atendimento ao público, de depósito, de guarda de valores, de cofres, dispensadores de dinheiro ou caixas automáticas e controlo de acesso e permanência às referidas áreas. Este artigo refere ainda que no ponto 3: “Os sistemas de registo e gravação de imagens devem, preferencialmente, situar-se na central de controlo, sendo obrigatória a conservação das imagens por prazo não inferior a 30 dias”, onde os sistemas de registo e gravação devem situar-se em local protegido e de acesso restrito.

A secção 2 do mesmo capítulo, trata das medidas de segurança para centros comerciais e grandes superfícies comerciais. O artigo 95.º refere os mesmos pontos que o artigo 90.º da secção anterior, mas destinados a centros comerciais.

Os artigos 97.º e 98.º da secção 3, tratam de estabelecimentos de exibição, compra e venda de metais preciosos. O ponto 1 do primeiro artigo, estabelece que estes tipos de estabelecimentos devem adotar sistemas de videovigilância por câmaras de vídeo para captação e gravação de imagens, um sistema de intrusão e uma caixa-forte ou cofre, com um nível de segurança de grau 3 de acordo com a norma EN 1143-1.

A última seção do capítulo 8, medidas de segurança, enumera pontos referentes a farmácias e postos de abastecimento de combustível e como medidas de segurança, devem também adotar um sistema de videovigilância por câmaras de vídeo para captação e gravação de imagens e também um sistema de deteção de intrusão. Tanto nesta seção como nas anteriores, o ponto 2 do artigo 100.º destaca: “Os sistemas de segurança referidos no n.º 1 (artigo 100.º) devem ser obrigatoriamente instalados em novos estabelecimentos a partir da data prevista no n.º 7 do artigo 68.º da Lei n.º 34/2013, de 16 de maio, e, nos já existentes, a sua implementação deve ocorrer no prazo máximo de cinco anos”.

Outro aspeto importante é a sinalização de sistemas de videovigilância descrita no artigo 115.º da portaria em questão. O ponto 1 indica que o símbolo identificativo a utilizar na identificação dos locais objeto de vigilância tem a forma de um triângulo equilátero, com fundo em cor amarela com orla interior em cor preta, onde se consegue distinguir no meio o símbolo representado por um pictograma de uma câmara de vigilância em cor preta, como mostra na **Figura 3.1**.



Figura 3.1 Símbolo gráfico

As especificações técnicas da sinalização bem como as suas dimensões devem cumprir as disposições da norma ISO 3864-1. O aviso deve ser colocado de forma a garantir boas condições de legibilidade das mensagens e a acautelar a normal circulação dos utentes

dos espaços. Está ainda previsto no ponto 5 do artigo 115.º que os avisos de informação devem ser colocados repetidamente no local ou zona de vigilância.

4 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Este capítulo apresenta a formulação matemática que suporta a aplicação do problema de cobertura a sistemas de videovigilância. Dado que a formulação matemática do problema tem em conta as características das câmaras decidiu-se apresentar numa primeira secção os diferentes tipos de câmaras disponíveis no mercado, enumerando as diferentes características, como o preço, ângulo de visão e alcance de visão. Na segunda secção apresenta-se a formulação matemática propriamente dita, acompanhando a mesma com um exemplo para melhor compreensão. Na terceira secção apresentam-se algumas soluções obtidas para o exemplo com a formulação matemática desenvolvida que são discutidas na quarta e última secção deste capítulo.

4.1 Características das câmaras

A formulação terá em conta várias características das câmaras de vigilância, de modo a encontrar as melhores câmaras para uma determinada área, evitando por exemplo câmaras de grande alcance para áreas mais pequenas. O contrário também pode ser evitado, ou seja, colocar várias câmaras pequenas numa área, quando uma câmara de grande alcance seria suficiente.

Para este projeto, são tidas em conta, três tipos de câmaras: tubulares ou fixas, rotativas e do tipo dome. As câmaras tubulares ou fixas (ver **Figura 4.1**), como o nome indica, ficam fixas no local onde serão instaladas mantendo sempre o mesmo ângulo de visão, podendo variar entre os 70° e 90°. As câmaras rotativas (ver **Figura 4.2**) podem ter o mesmo ângulo de visão das câmaras fixas, mas sendo rotativas, conseguem abranger uma maior área de visão, não se focando somente num ponto. Podem rodar até 270°.



Figura 4.1 Câmara do tipo Tubular



Figura 4.2 Câmera do tipo Rotativa



Figura 4.3 Câmera do tipo Dome

Por último, as câmeras do tipo Dome (**Figura 4.3**), conseguem rodar 360° abrangendo uma área de visão ainda maior. Estas últimas normalmente são mais caras, mas como conseguem rodar 360°, são ideais para serem colocadas em áreas mais amplas, como por exemplo um estacionamento.

De entre as várias características das câmeras de vigilância, existem três que se distinguem e que serão incluídas nas formulações matemáticas proposta neste projeto: ângulo de visão, alcance de visão e o custo associado a cada câmera.

Escolheu-se estas três características devido à sua importância, ou seja, através do ângulo de visão (graus) e do alcance de visão (metros), consegue-se obter o campo de visão de cada câmera (m^2). É com este campo de visão que será definido a área monitorizada pelas câmeras escolhidas pela formulação.

O custo de uma câmera por norma é indicativo do tipo e da qualidade da mesma, sendo as câmeras mais caras as melhores, ou as que oferecem melhores características para determinadas utilizações.

4.2 Formulação matemática para o problema de cobertura por videovigilância no plano

A formulação descrita neste projeto pretende identificar os melhores pontos para a colocação de câmaras de vigilância, de modo a cobrir um dado volume da área total, minimizando o custo das câmaras a instalar. Nesse sentido, na secção anterior descreveram-se as características mais relevantes das câmaras. É importante ter-se conhecimento do campo de visão de cada câmara, visto que nem todas são iguais, com ângulos de visão compreendidos entre os 90° e os 360°. Câmaras com este último ângulo de visão, chamadas de câmaras rotativas, serão melhores, por exemplo, para monitorizar áreas mais amplas, enquanto câmaras com menor ângulo serão escolhidas para os vértices do edifício.

As áreas a serem monitorizadas correspondem a polígonos irregulares no plano, procurando representar áreas de edifícios reais. Uma das áreas que será discutida no presente relatório corresponde a uma área real.

Uma opção para abordar a modelização do problema envolve a transformação em quadrículas da área da planta em análise, em que cada quadrícula pode conter a localização de uma câmara. Esta transformação permite colocar câmaras não só nos vértices do edifício, mas também em áreas mais amplas, nomeadamente em parques de estacionamento ou num espaço reservado a um museu. A **Figura 4.4** exemplifica o quadriculado da área definida na **Figura 1.1**.

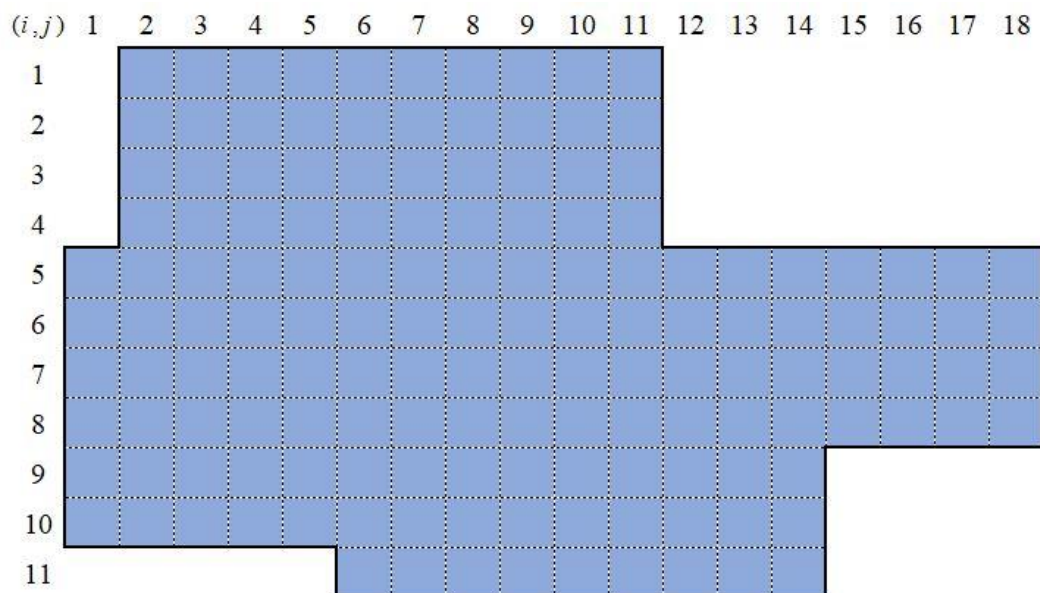


Figura 4.4 Divisão da área em quadrículas

Ao transformar a área em quadrículas, exclui-se as zonas da planta que não necessitam de monitorização. As áreas excluídas estão associadas a zonas privadas ou áreas protegidas por lei. Poderão ainda ser discriminadas zonas críticas, envolvendo, nomeadamente, portas, janelas, obras de arte caras, etc. O tamanho de cada quadrícula pode variar, consoante o pormenor que se pretenda conferir, tendo em conta o nível de eficácia pretendido.

Cada quadrícula é então definida pelo par ordenado (i, j) , representando as coordenadas no plano dessa quadrícula, onde j indica a coordenada no eixo das abcissas (colunas) e i indica a coordenada no eixo das ordenadas (linhas). Cada par ordenado poderá ser uma potencial localização para a colocação de uma câmara de vigilância.

Define-se o conjunto total de quadrículas por Ω e o número total de câmaras disponíveis por tr . Passar-se-á também a designar cada quadrícula (ou par ordenado) por célula.

Na **Figura 4.5** representa-se, a cor amarela, as células escolhidas como potenciais localizações para a colocação das câmaras. Neste exemplo foram escolhidas todas as células nos vértices dos módulos que compõem esta figura, obtendo 19 possíveis localizações. A composição destas divisões é proposta pelo utilizador para cada caso em análise. Esta seleção de células para localização de potenciais câmaras não é fechada, podendo o utilizador incluir qualquer outra que considere relevante.

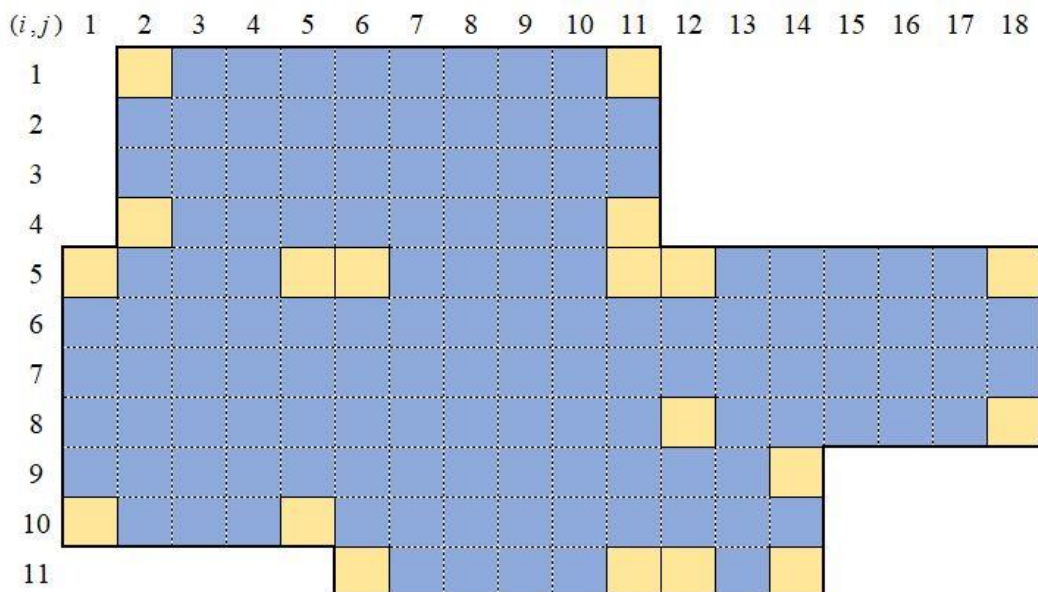


Figura 4.5 Exemplo da colocação de pontos estratégicos

Variáveis:

As variáveis utilizadas na construção da formulação para este problema, tendo em conta as características referidas anteriormente, são as seguintes:

$$y^r = \begin{cases} 1 & \text{se a câmara } r \text{ é usada} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}, \text{ onde } r = 1, \dots, tr$$

Cada uma destas variáveis representa uma câmara, indicando se essa câmara está ativa ($y^r = 1$) ou não ativa ($y^r = 0$) na solução. Usando a área definida na Figura 4.6, representa-se, como exemplo, as localizações das câmaras escolhidas numa pequena zona da solução, considerando que as variáveis y^1, y^2, y^3 e y^4 representam as câmaras nas células (1, 2), (1, 11), (4, 2) e (4, 11), respetivamente. Assim, como $y^1 = 1$ e $y^2 = 1$, então as células (1, 2) e (1, 11) deverão ter câmaras instaladas. Simultaneamente, como $y^3 = 0$ e $y^4 = 0$, então as células (4, 2) e (4, 11) não deverão ter câmaras instaladas.

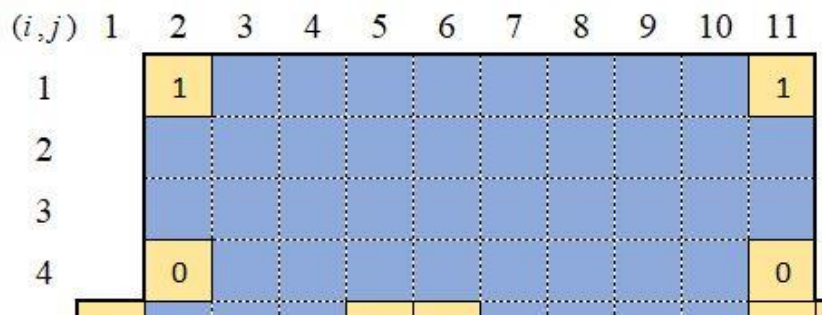


Figura 4.6 Representação das câmaras escolhidas

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se a célula } (i, j) \text{ está coberta} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}, \text{ para todo } (i, j) \in \Omega$$

Esta variável binária indica se a quadrícula na célula (i, j) está ou não coberta por pelo menos uma câmara. Se $x_{ij} = 1$, essa quadrícula está a ser monitorizada, caso contrário, a quadrícula não está a ser monitorizada pelo campo de visão de qualquer câmara. Na **Figura 4.7**, na zona azul clara, pode-se observar os valores 1, indicando a área coberta pelas duas câmaras escolhidas. Quando, numa célula, o par ordenado for igual a 1, indica que há pelo menos uma câmara a monitorizar essa quadrícula.

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
5	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
6	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.7 Área coberta pelas câmaras escolhidas

Parâmetros:

c^r = custo da câmara r , para $r = 1, \dots, tr$

O custo da cada câmara irá variar, de câmara para câmara, dependendo das suas características. Como referido em [4.1 Características das câmaras], existem câmaras de vários tipos, com vários ângulos de visão, várias funcionalidades, estando o preço relacionado com as várias características da câmara.

s = percentagem mínima da área Ω a ser monitorizada

Esta percentagem pode ser alterada pelo utilizador, de modo a satisfazer as suas necessidades. O valor indica uma percentagem mínima da área da planta que terá que ser monitorizada. Representa uma proporção do número de quadrículas cobertas (por uma ou mais câmaras) em relação ao número total de quadrículas da área a monitorizar.

$$a_{ij}^r = \begin{cases} 1 & \text{se a câmara } r \text{ cobre a célula } (i, j) \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}, r = 1, \dots, tr$$

Este parâmetro indica se uma determinada câmara cobre, ou não, a célula (i, j) dentro do seu campo de visão. Assim, o parâmetro $a_{ij}^r = 1$ se o campo de visão da câmara r cobrir a célula (i, j) , sendo $a_{ij}^r = 0$ se a câmara r não alcançar a célula (i, j) . Considerando que uma câmara cobre uma dada célula se o seu raio de alcance cobrir essa célula na totalidade. A **Figura 4.8** exemplifica a área de cobertura da câmara caracterizada pela variável y^1 , localizada na célula $(1, 2)$. Assume-se que cada câmara tem capacidade de cobrir a célula onde está localizada.

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
2		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
3		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
4		1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
5	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4.8 Área de cobertura da câmara localizada na variável y^1

Função Objetivo:

$$\min \sum_{r=1}^{tr} c^r y^r$$

A função objetivo corresponde ao somatório dos custos das câmaras que serão utilizadas para monitorizar a área proposta. É nosso objetivo minimizar este valor, procurando a melhor combinação de câmaras a um baixo custo.

Restrições:

$$\sum_{r=1}^{tr} a_{ij}^r y^r - x_{ij} \geq 0, \forall (i, j) \in \Omega \quad (1)$$

As restrições (1) garantem que se uma quadrícula (i, j) estiver a ser monitorizada, então terá que haver pelo menos uma câmara ativa entre as câmaras que abrangem essa quadrícula. Esta condição é aplicada a todas as quadrículas do conjunto Ω .

$$\sum_{(i, j) \in \Omega} x_{ij} \geq s \cdot |\Omega| \quad (2)$$

A restrição (2) indica que a totalidade das quadrículas monitorizadas tem que ser não inferior a uma determinada percentagem s do número total de quadrículas. Esta restrição garante que uma percentagem da área é coberta pelas câmaras.

Todas as variáveis do modelo são binárias.

$$y^r \in \{0, 1\}, r = 1, \dots, tr; x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall (i, j) \in \Omega \quad (3)$$

Para as zonas críticas:

Para se incluir as zonas críticas na nossa formulação, ou seja, definir que uma determinada célula x_{ij} esteja coberta por duas ou mais câmaras, é necessário introduzir uma nova restrição, e alterar a restrição (1) para cada célula abrangida pela zona crítica. Se o subconjunto $\Omega' \subset \Omega$ representar as células que caracterizam as zonas críticas, então introduz-se as restrições (4)

$$x_{ij} = 1, \quad \text{para todo } (i, j) \in \Omega' \quad (4)$$

Estas restrições forçam a cobertura de todas as células nas zonas críticas, isto é, todas as células $(i, j) \in \Omega'$.

$$\sum_{r=1}^{tr} a_{ij}^r y^r - x_{ij} \geq k - 1, \quad k \geq 2 \quad \text{e} \quad \forall (i, j) \in \Omega' \quad (5)$$

Considerando que o parâmetro k define o número mínimo de câmaras requeridas para monitorização das células nas zonas críticas, então dever-se-á substituir as restrições (1) pelas (5) para todo $(i, j) \in \Omega'$. As restrições (5) obrigam à existência de pelo menos k câmaras na monitorização de cada célula $(i, j) \in \Omega'$.

Note-se que forçar a variável x_{ij} a tomar o valor 1 é o mesmo que eliminar essa variável da formulação, substituindo-a pela constante 1. Essa versão permitiria rescrever as restrições (5) na forma

$$\sum_{r=1}^{tr} a_{ij}^r y^r \geq k, \quad k \geq 2 \quad \text{e} \quad \forall (i, j) \in \Omega' \quad (5')$$

No ponto 4.3.5 e 4.3.6, bem como no caso real, evidenciar-se-á o uso das restrições (4) e (5) associadas à discussão de zonas críticas.

4.3 Resolução do exemplo usando a formulação proposta

Nesta secção apresentam-se as soluções obtidas utilizando a formulação matemática anteriormente proposta para a resolução do exemplo apresentado na Figura 1.1, o qual tem vindo a acompanhar a exposição ao longo deste capítulo.

Todos os testes foram elaborados numa máquina com 16Gb de RAM, com o processador Intel Core i7-6700HQ com 2.60GHz no sistema operativo Windows 10 Home a 64 bits.

Para facilitar a análise, estabeleceu-se que o custo de cada câmara é igual a duas vezes o número de células que cobre. Por exemplo, a câmara 1 da **Figura 4.8** ocupa 30 células, logo o seu custo é de 60,00 €. Este processo foi efetuado para todas as câmaras. Esses dados estão descritos no Anexo 1.

No Anexo 2, os custos das câmaras foram recolhidos em: Casa automática – Sistemas de Segurança, acedido em 29/05/2016 (Casautomatica.net, 2004). O tratamento do caso real no capítulo 5 tem como base os preços definidos neste anexo.

Nas próximas subsecções, serão efetuados vários testes, onde se irá considerar alterações aos custos das câmaras, no parâmetro s e analisar-se-á a introdução de zonas críticas. O primeiro será um teste base, que começa com $s = 95\%$ e não serão incluídas ainda as zonas críticas. A partir desse teste, propõem-se alterações, nomeadamente, no preço das câmaras, no parâmetro s e a inclusão de zonas críticas, de modo a conseguir analisar alterações ao valor da função objetivo.

Todos os testes serão efetuados usando o OpenSolver (versão 2.8.6), um Add-In gratuito associado ao Microsoft Excel 2016.

4.3.1 Teste 1 com $s = 95\%$ e câmaras fictícias

Este primeiro teste será um teste base, onde se começa com câmaras de preços fictícios, sem zonas críticas e com $s = 95\%$.

Parametrização e características do primeiro teste:

- $s = 95\%$
- $tr = 21$
- $|\Omega| = 149$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 1.

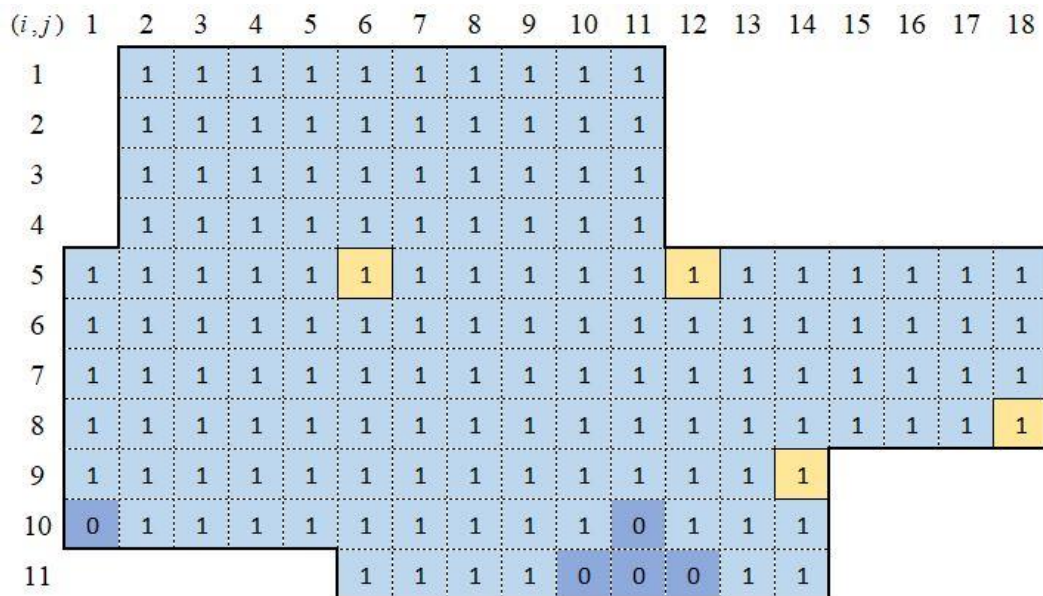


Figura 4.9 Resultado do Teste 1

A Figura 4.9 representa a localização das câmaras seleccionadas na solução, dadas as características apresentadas. Esta solução foi obtida em 0,1 segundos pelo OpenSolver.

A função objetivo tem o valor de 306,00 €, indicando que foram escolhidas 4 câmaras: $r = 7$, $r = 9$, $r = 12$ e $r = 13$. A sua localização permite monitorizar 96,64% da totalidade da área, cumprindo a exigência de cobertura de pelo menos 95%.

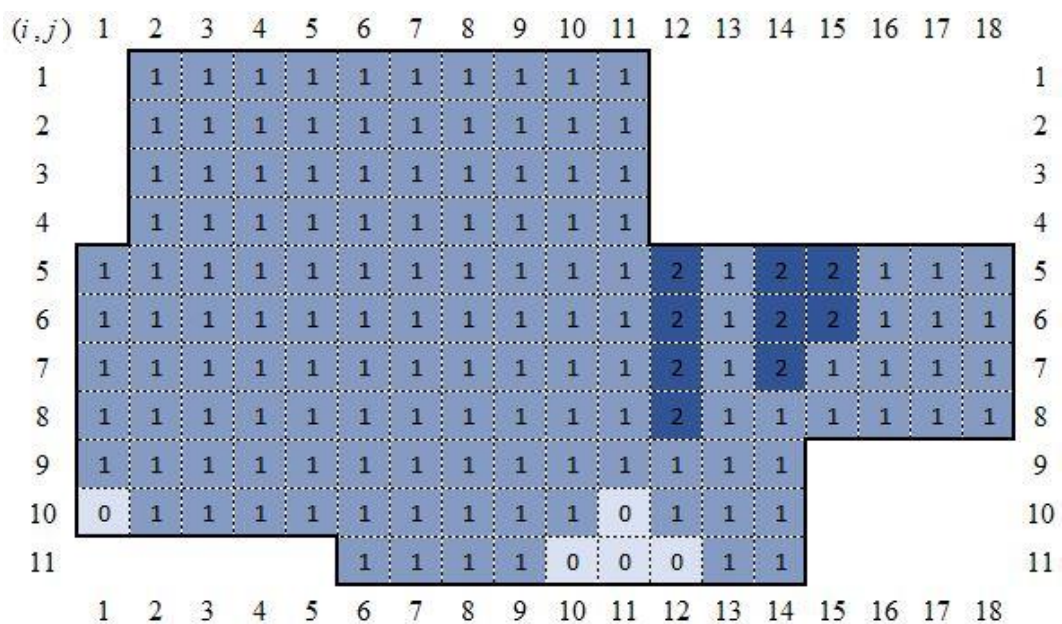


Figura 4.10 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 2

A Figura 4.10 representa o número que cobrem cada célula, relativamente à solução obtida para o teste 1. A tonalidade da cor acentua-se consoante o número de câmaras que

monitorizam cada célula. As células preenchidas com o azul claro têm o valor 0, indicando que nenhuma câmera está a monitorizar aquelas células, e o azul mais escuro, com o valor 2, indica que estão duas câmaras a cobrir aquelas células.

4.3.2 Teste 2 com $s = 90\%$ e câmaras fictícias

O segundo teste foi elaborado com as mesmas características que o primeiro, variando somente o parâmetro s , passando de 95% para 90%.

Parametrização e características do segundo teste:

- $s = 90\%$
- $tr = 21$
- $|\Omega| = 149$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 1.

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1				
11						1	1	1	1	0	0	0	1	1				

Figura 4.11 Resultado do Teste 2

O OpenSolver demorou 0,72 segundos até encontrar a solução ótima, sendo o valor da função objetivo igual a 280,00 €. Este valor indica o preço total das câmaras escolhidas para monitorizar pelo menos 90% da área total. A área pintada a azul claro na Figura 4.11 corresponde a 93,96% da área a ser monitorizada.

Em relação aos resultados obtidos no ponto anterior (4.3.1), a solução ótima encontrada indica que são necessárias 3 câmaras de vigilância para cobrir pelo menos 90% da área total, correspondendo a uma câmara a menos do que o teste anterior. As câmaras escolhidas ($r = 7$, $r = 12$ e $r = 13$) foram as mesmas, à exceção da câmara $r = 9$.

Note-se que a câmara instalada na célula (9,14) não monitoriza as células (5,13) a (8,13) porque essa câmara é fixa, não cobrindo as referidas células.

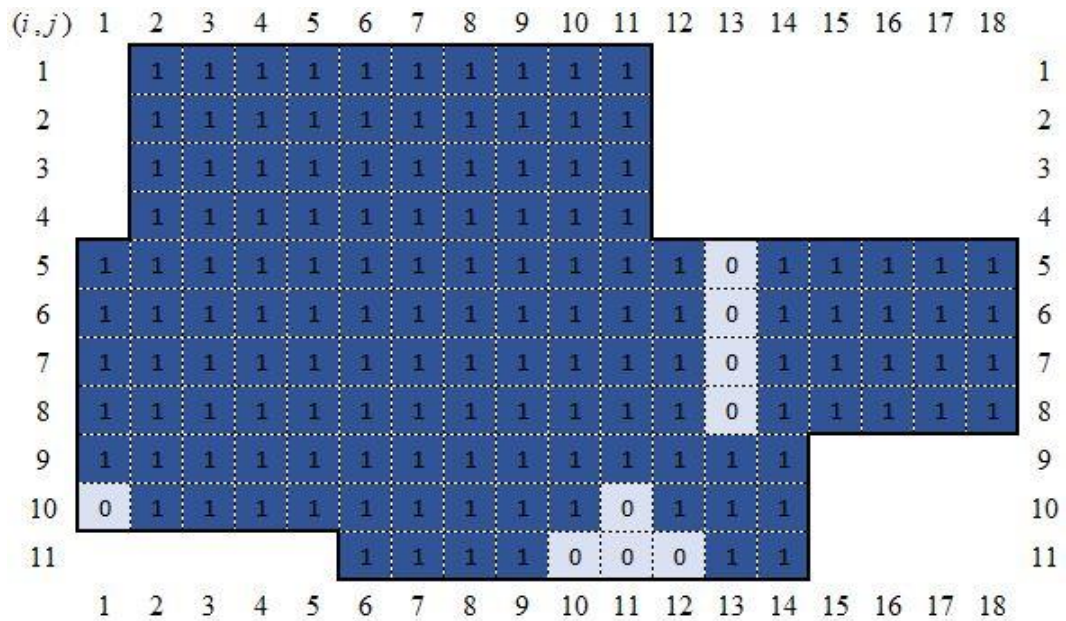


Figura 4.12 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 2

Na **Figura 4.12** pode-se constatar que não existem células monitorizadas por mais do que uma câmara. Neste caso não existe desperdício das capacidades de monitorização das câmaras escolhidas, já que nenhuma célula está a ser monitorizada por duas câmaras ou mais.

4.3.3 Teste 3 com $s = 95\%$ e câmaras reais

No terceiro teste, utilizou-se valores reais para os custos das câmaras de vigilância (Anexo 2), voltando o parâmetro s a tomar novamente o valor de 95%. Esta alteração conduz a uma nova solução, relativamente à considerada na secção 4.3.1 (com o mesmo valor de s).

Parametrização e características do terceiro teste:

- $s = 95\%$
- $tr = 21$
- $|\Omega| = 149$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 2.

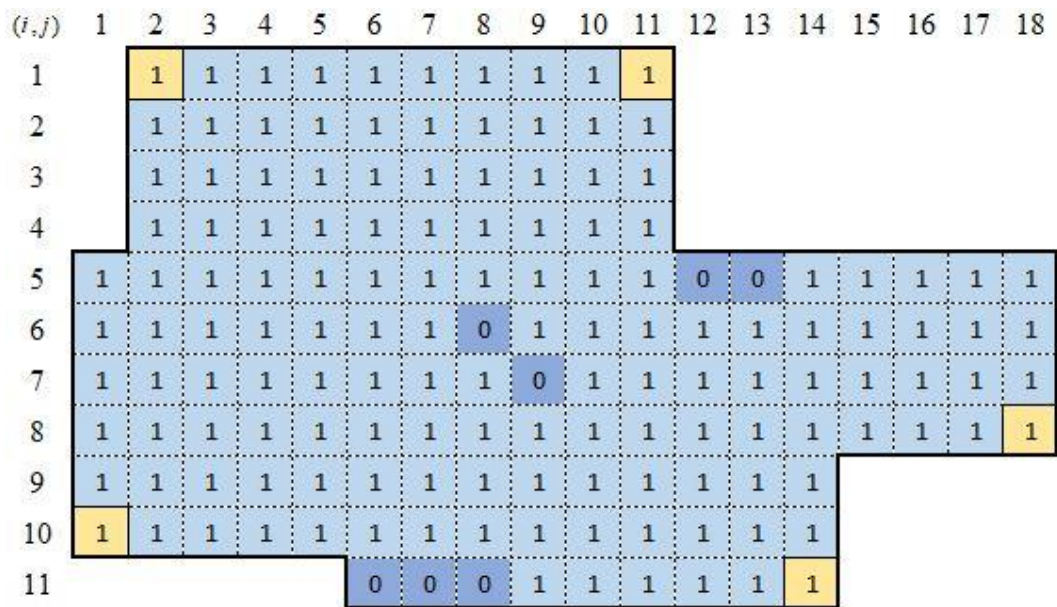


Figura 4.13 Resultado do Teste 3

Com os novos custos das câmaras, o custo total mínimo é igual a 212,95 €. A solução foi obtida em 0,06 segundos. Foram escolhidas 5 câmaras para monitorizar pelo menos 95% da área total. A área coberta (células com valor 1 da **Figura 4.13**) corresponde a 95,30% da área a ser monitorizada, satisfazendo a restrição (2).

Como era previsível, as câmaras mais caras (de 180° e 360°) não foram escolhidas.

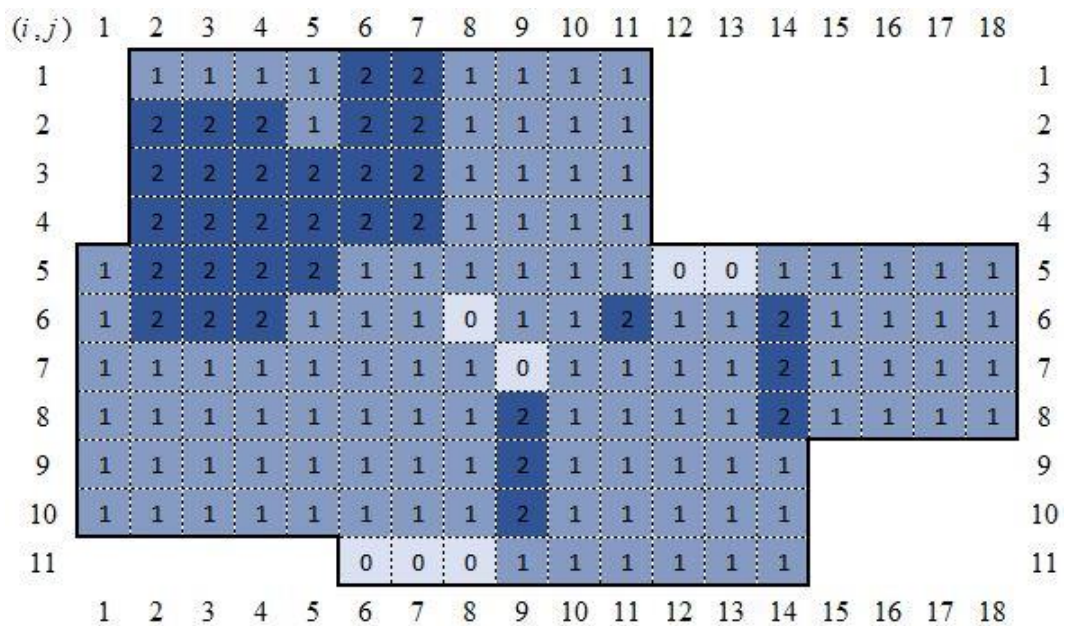


Figura 4.14 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 3

De acordo com o observado na **Figura 4.14**, a nova tabela de custos conduziu a maiores concentrações de células monitorizadas com 2 câmaras. A área representada por essas células corresponde a 22% da área total.

4.3.4 Teste 4 com $s = 90\%$ e câmaras reais

Para o mesmo conjunto de custos descritos no Anexo 2, efetuou-se um novo teste, considerando $s = 90\%$.

Parametrização e características do quarto teste:

- $s = 90\%$
- $tr = 21$
- $|\Omega| = 149$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 2.

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1							
2		1	1	1	0	1	1	1	1	1	1							
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
11					0	0	0	1	1	1	1	1	1	1				

Figura 4.15 Resultado do Teste 4

Para este caso, o valor da função objetivo é igual a 170,36 €. Esta solução indica a instalação de 4 câmaras, sendo todas de 90°. Na **Figura 4.15** estão representadas as suas localizações.

A área a azul claro corresponde a 91,28% da área total, indicando que a restrição (2) está a ser cumprida.

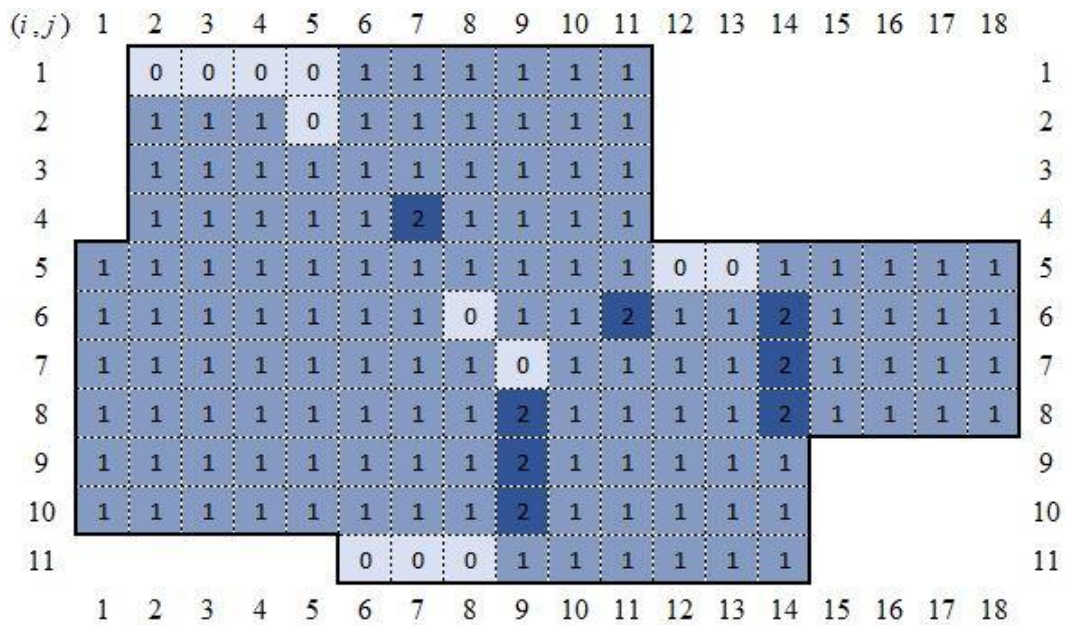


Figura 4.16 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 4

Comparativamente ao teste realizado em 4.3.3, a presente solução não escolheu a câmara $r = 1$. Com esta alteração no número de câmaras, o total de células que monitorizadas por duas câmaras, passou de 22% para 5,37% da área total.

4.3.5 Teste 5 com zonas críticas e $s = 95\%$

Para este quinto teste, foram escolhidas duas zonas críticas, as quais requerem a presença de pelo menos duas câmaras de vigilância. A Figura 4.17 apresenta células a vermelho que correspondem à localização dessas zonas. O ponto (1, 6) e (11, 10) podem representar entradas/saídas do complexo industrial tratado neste exemplo. Por se tratar de acessos com movimento de pessoal, poderá fazer sentido a existência de mais do que uma câmara a monitorizar essas áreas.

Continua-se a utilizar os custos das câmaras definidos no Anexo 2, começando com o requisito de cobertura $s = 95\%$.

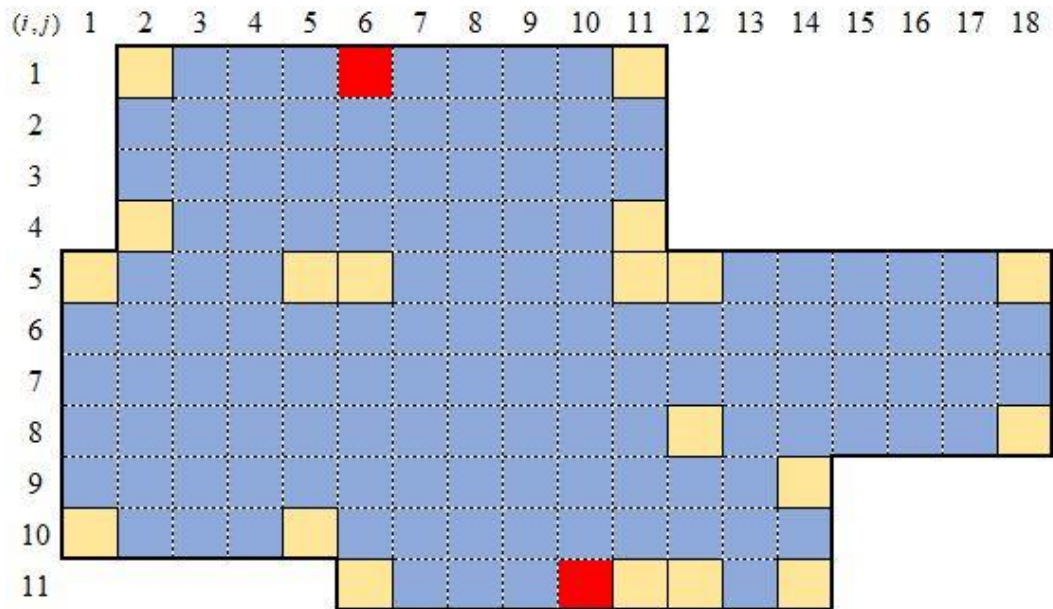


Figura 4.17 Localização das zonas críticas

Parametrização e características do quinto teste:

- $s = 95\%$
- $tr = 21$
- $|\Omega| = 149$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 2
- Zonas críticas: 2.

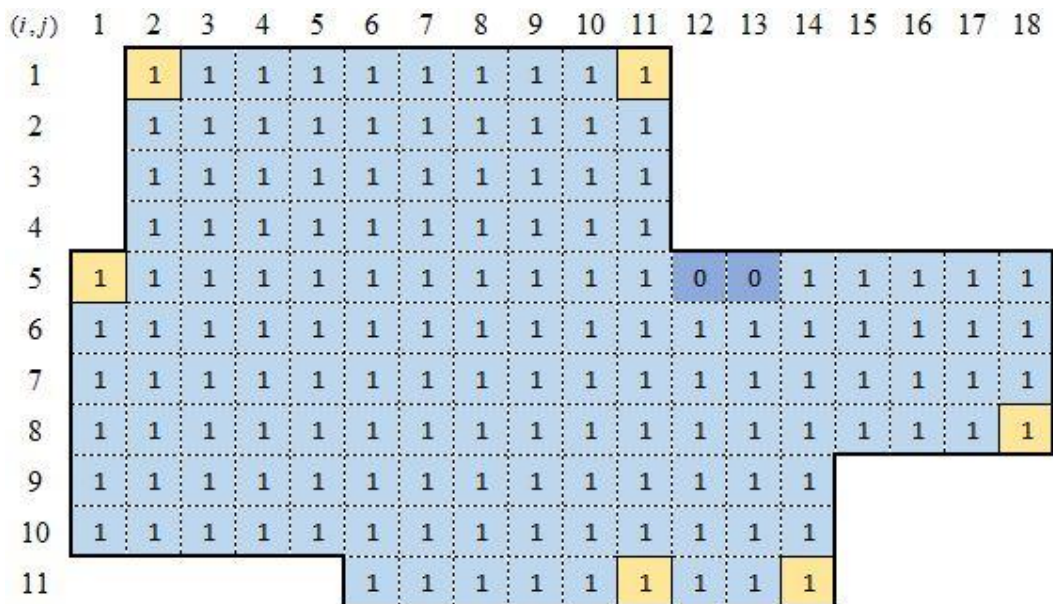


Figura 4.18 Resultado do Teste 5

A solução ótima foi encontrada após 0,37 segundos, sendo o respetivo valor ótimo igual a 255,54 €. A **Figura 4.18** representa a localização das 6 câmaras escolhidas. Todas as restrições foram satisfeitas e 98,66% da área total está monitorizada.

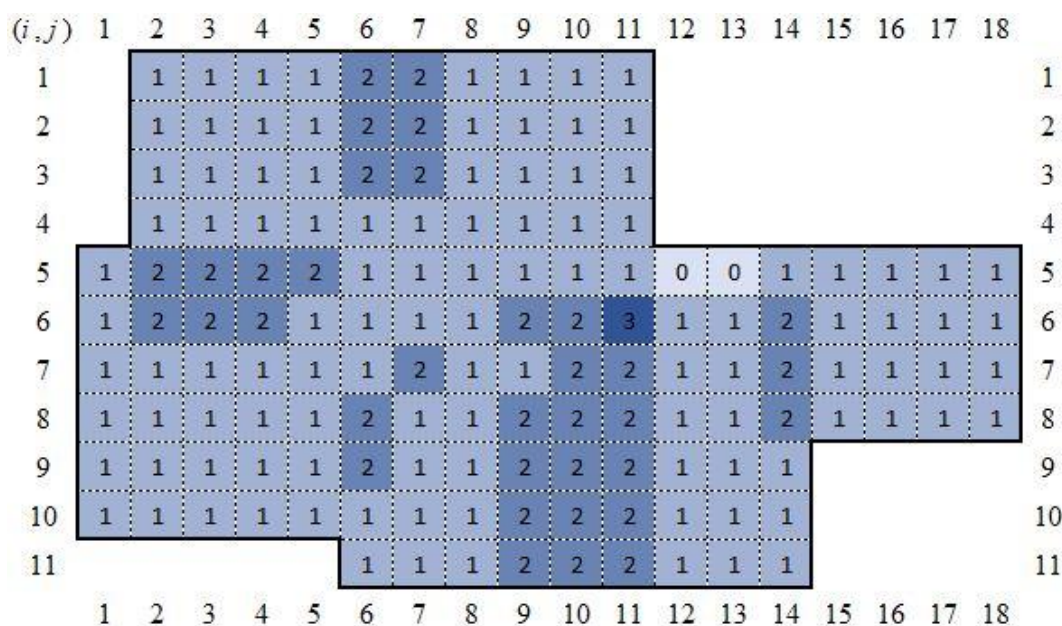


Figura 4.19 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 5

A **Figura 4.19** indica a quantidade de câmaras que estão a monitorizar cada célula. Neste teste temos a célula do ponto (6, 11), o azul mais escuro, que está a ser monitorizada por 3 câmaras: $r = 2$, $r = 17$ e $r = 19$.

Como se pode constatar, as células que definidas como zonas críticas, ponto (1, 6) e (11, 10) estão de facto a ser cobertas por pelo menos duas câmaras, como se pretendia. Em comparação com o teste efetuado em 4.3.3, o ponto (1, 6) continua a ser monitorizado pelas mesmas duas câmaras ($r = 1$ e $r = 2$). Já o ponto (11, 10), que no teste anterior só estava a ser monitorizado por uma câmara ($r = 19$), **Figura 4.14**, passou agora a estar coberto por duas câmaras, $r = 17$ e $r = 19$, tal como pretendido, de acordo com o requisito de zona crítica.

4.3.6 Teste 6 com zonas críticas e $s = 90\%$

Para finalizar os testes com a área de exemplo, manteve-se as duas zonas críticas apresentadas na **Figura 4.17** e alterou-se o valor de s para 90%.

Parametrização e características do quinto teste:

- $s = 90\%$
- $tr = 21$

- $|\Omega| = 149$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 2
- Zonas críticas: 2.

Apesar de se ter alterado o parâmetro s para 90%, os resultados são exatamente os mesmos observados na **Figura 4.18** e na **Figura 4.19**, apresentando o mesmo conjunto de câmaras escolhidas, gerando assim o mesmo valor da função objetivo.

Para observar alterações na função objetivo, forçaram-se aumentos e reduções mais significativos no valor do parâmetro s , considerando $s = 99\%$ e $s = 87\%$, respetivamente.

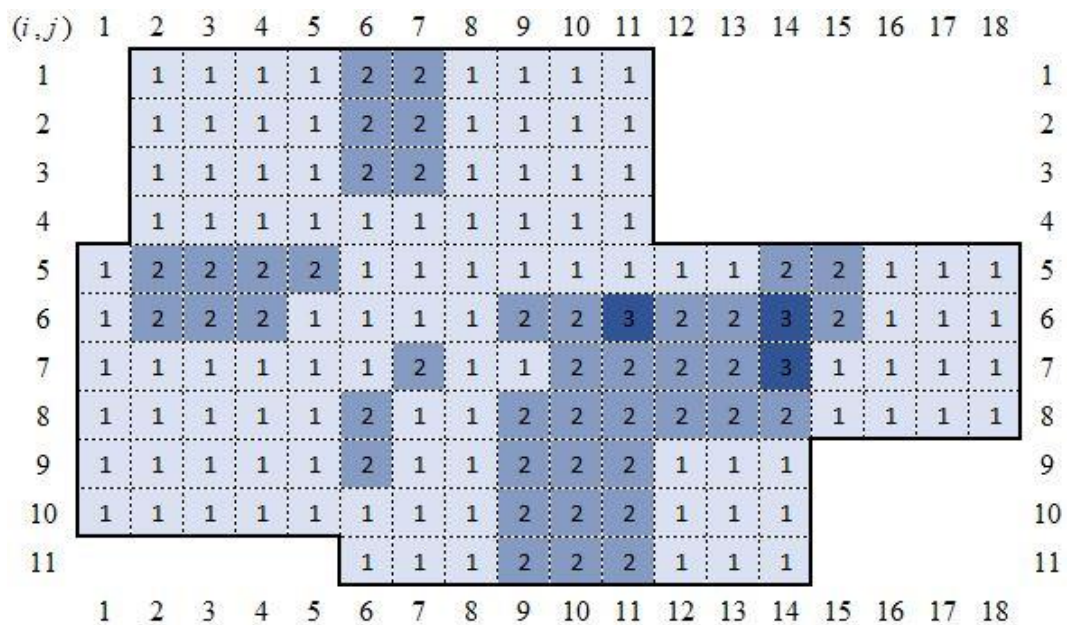


Figura 4.20 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 6 quando $s = 99\%$

A **Figura 4.20** mostra que todas as células passaram a ser monitorizadas quando se aumentou o parâmetro s para 99%. Neste caso, a solução escolheu 7 câmaras e o valor da função objetivo é de 298,13 €.

Os pontos (1, 6) e (11, 10), definidos como zonas críticas, continuam a ser cobertos por pelo menos duas câmaras.

Por último, foi necessário baixar o s para 87% para se obterem resultados diferentes. A **Figura 4.21** mostra que existe uma área sem cobertura. Todas as células com o valor 0 não estão a ser monitorizadas, contudo, a área que está sob cobertura corresponde a 87,25% da área total.

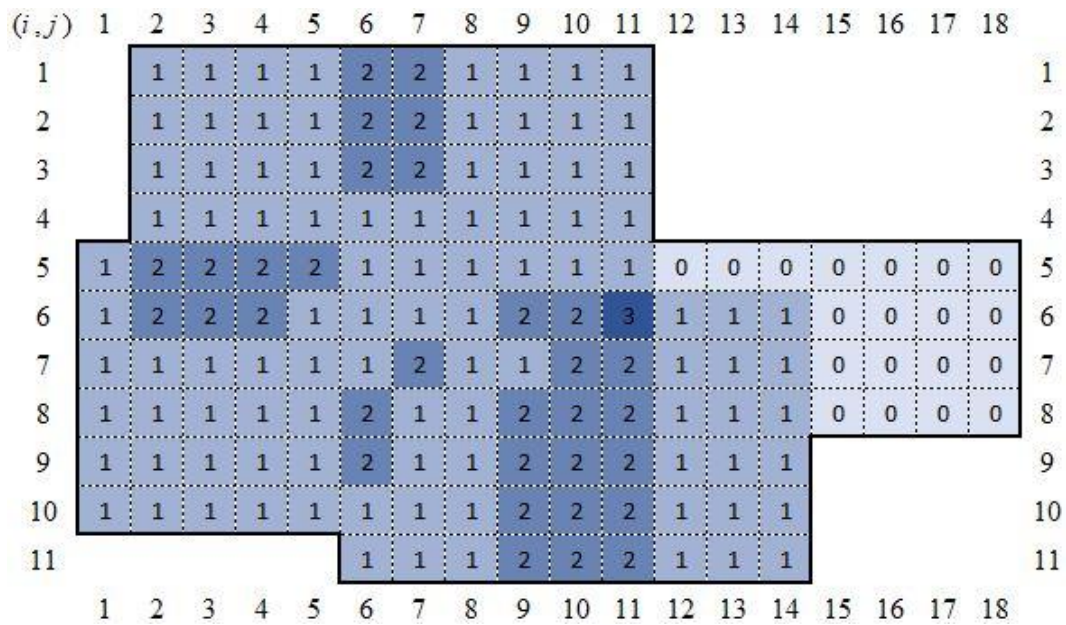


Figura 4.21 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 6 quando $s = 87\%$

Tanto neste resultado como quando $s = 99\%$, as zonas críticas estão cobertas por pelo menos duas câmaras, como esperado.

4.4 Discussão dos resultados

Devido às dimensões das formulações consideradas nos testes discutidos no presente capítulo, não foi possível utilizar o Solver do Excel. Por esse motivo, recorreu-se ao Add-in OpenSolver para resolver as várias formulações geradas.

Numa primeira análise, destaca-se que se conseguiu obter soluções ótimas usando o OpenSolver em todos os testes realizados. Todas essas soluções ótimas foram obtidas em menos de 1 segundo.

Uma observação esperada foi o aumento do número de câmaras escolhidas nos testes com zonas críticas, comparativamente com os que não tinham zonas críticas. Este requisito obriga a um conseqüente aumento de custos. Para os testes em análise, esse aumento de custo foi de 42,59 € do teste 3 para o teste 5 e um aumento de 85,18 € do teste 4 para o teste 6.

Alguns dos resultados menos esperados foram os observados nos testes 5 e 6 com as zonas críticas. Apesar da alteração do s de 95% para 90%, o valor da função objetivo foi exatamente o mesmo, tendo em conta que o número de câmaras e a sua localização terem sido exatamente as mesmas. Este resultado não era esperado, mas suscitou algumas alterações ao parâmetro s .

A título de curiosidade, refez-se os testes 5 e 6 com os preços das câmaras observados no Anexo 1. Quando $s = 95\%$ o valor da função objetivo foi de 348,00 € e quando $s = 90\%$ o valor da função objetivo foi de 342,00 €, variando somente em 6,00 €. O número de câmaras também se alterou de 6 para 5, respetivamente. As câmaras escolhidas para monitorizar 95% foram: $r = 1, r = 2, r = 5, r = 10, r = 16$ e $r = 19$. Para monitorizar 90% da área, foram escolhidas as câmaras: $r = 1, r = 2, r = 5, r = 11$ e $r = 16$.

A **Tabela 4.1** apresenta um resumo dos resultados obtidos com os testes efetuados. No teste 1 e 2, foram considerados os custos descritos no Anexo 1, ou seja, câmaras fictícias com preços irrealistas. Entre estes dois testes, a única alteração foi apenas no parâmetro s . O valor da função objetivo entre o teste 1 e o teste 2 diminuiu em 26 €, tendo também diminuído o número de câmaras de 4 para 3.

Os testes seguintes, 3 e 4, ainda estão isentos de zonas críticas, mas já se inclui os preços das câmaras reais, descritas no Anexo 2. A diferença no valor da função objetivo do teste 3 para o teste 4 foi de 42,59 €, tendo o número de câmaras passado de 5 para 4. À imagem dos dois primeiros testes, os resultados foram semelhantes, ou seja, quando $s = 95\%$, o valor da solução ótima é maior e mesmo o número de câmaras escolhidas é superior à versão com $s = 90\%$.

Nos testes 5 e 6, já com as zonas críticas, obteve-se resultados idênticos.

Na **Tabela 4.1** pode-se observar as alterações propostas nos valores do parâmetro s .

Tabela 4.1 Resumo dos resultados obtidos no caso fictício

	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5	Teste 6	Teste 6 v2	Teste 6 v3
<i>s</i>	95	90	95	90	95	90	99	87
<i>tr</i>	21	21	21	21	21	21	21	21
<i>Cada célula em m²</i>	10m ²	10m ²	10m ²	10m ²	10m ²	10m ²	10m ²	10m ²
$ \Omega $	149	149	149	149	149	149	149	149
<i>Custo das câmaras</i>	Anexo 1	Anexo 1	Anexo 2	Anexo 2	Anexo 2	Anexo 2	Anexo 2	Anexo 2
<i>Zonas críticas</i>	0	0	0	0	2	2	2	2
<i>Nº de câmaras escolhidas</i>	4	3	5	4	6	6	5	7
<i>Função objetivo</i>	306,00 €	280,00 €	212,95 €	170,36 €	255,54 €	255,54 €	212,95 €	298,13 €

5 CASO DE ESTUDO ISCAC

O presente capítulo será dedicado ao estudo de um caso real. Serão elaborados testes incidindo da análise do problema com e sem inclusão de zonas críticas.

Tratando-se de um caso real, procurar-se-á promover uma análise comparativa entre a solução que está efetivamente instalada e as soluções obtidas através da formulação proposta no presente projeto. Esta análise comparativa terá um alcance limitado tendo em conta alguma escassez de informação relativamente à solução instalada.

5.1 Caraterísticas do computador

O computador usado para correr os testes do caso real será o mesmo onde foram efetuados os testes do capítulo anterior, nomeadamente um computador com 16Gb de RAM, um processador Intel Core i7-6700HQ com 2.60GHz, num sistema operativo Windows 10 Home a 64 bits.

5.2 Caraterísticas da área

A área a ser analisada corresponde ao segundo piso das instalações do ISCAC. Este piso é composto por dois corredores, o primeiro representado na vertical da *Figura 5.1*, corresponde ao acesso às salas de aulas e o segundo (corredor na horizontal da mesma figura) corresponde ao acesso aos gabinetes dos docentes.

O piso tem 4 acessos, marcados na figura: dois lances de escadas na área das salas dos alunos e um lance de escadas de acesso aos gabinetes. Neste corredor, existe ainda uma porta de emergência.

Toda a área a castanho não carece de monitorização por se tratar de salas de cariz privado, restando duas áreas a azul. Tanto a área preenchida com um azul mais escuro bem como a área a azul claro são foco de monitorização e são zonas frequentadas diariamente pelos alunos, docentes, funcionários e ocasionalmente visitantes e/ou acompanhantes do corpo docente e não docente. A secção pintada a azul claro é uma parte do piso 2 que permite visualizar o piso 1 e que também fará parte do espaço a monitorizar, logo, gerando quadrículas que também integrarão o conjunto Ω .

Toda a área a ser coberta equivale a 1617 quadrículas onde cada quadrícula corresponde a 1m².

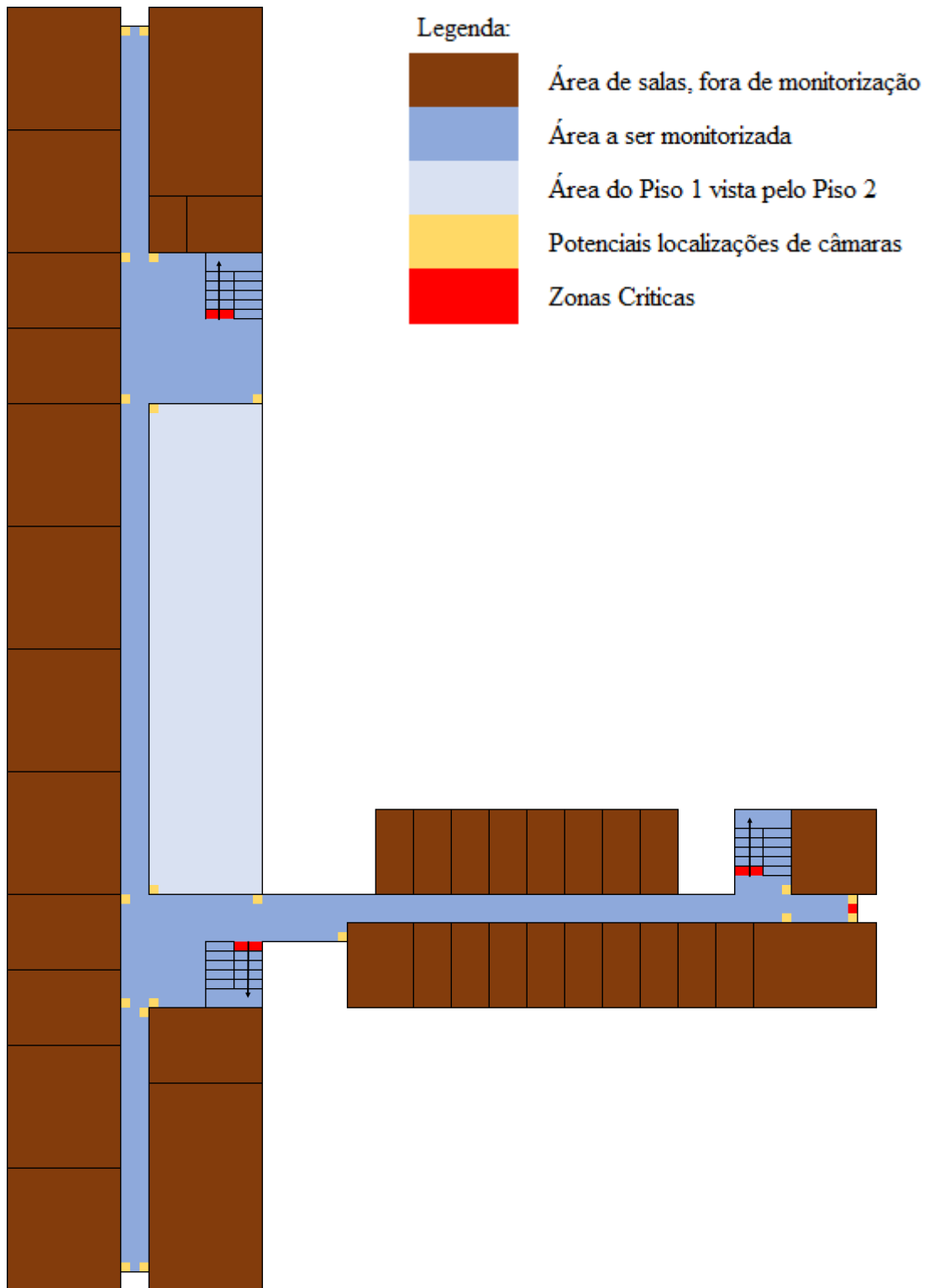


Figura 5.1 Representação do 2º Piso do ISCAC

5.3 Características das câmaras de vigilância

À imagem dos testes fictícios, utilizar-se-á o mesmo tipo de câmaras para o caso real com os preços descritos no Anexo 2, visto tratar-se de características e preços reais. Para a discussão do caso real, recorreu-se ao preçário de uma empresa que comercializa câmaras

de videovigilância “Casa automática – Sistemas de Segurança”. Estes preços estão descritos no Anexo 3, tendo sido recolhidos em 29/05/2016 (Casautomatica.net, 2004).

As câmaras com ângulo de visão de 90° serão as mais baratas. A seguir com um preço um pouco mais alto, aparecem as câmaras de 180° e por fim, as câmaras de 360° que têm o preço mais elevado. As localizações destas últimas foram escolhidas meramente para cobrir a área a azul claro da **Figura 5.1**, podendo também cobrir a área a azul mais escuro, visto tratem-se de câmaras com ângulo de visão de 360°. É esperado que na solução ótima uma destas câmaras seja escolhida para monitorizar a secção correspondente ao piso 1. Muitas das localizações das câmaras definidas neste projeto estão de acordo com as localizações reais das câmaras do piso 2 do ISCAC, no entanto, inclui-se adicionalmente novas localizações para tentar perceber se existe ou não uma solução melhor que a atual.

5.4 Elaboração de Testes

De seguida apresentam-se os testes efetuados no caso real.

5.4.1 Teste 1 sem zonas críticas e $s = 95\%$

Para o primeiro teste, definiu-se o parâmetro $s = 95\%$, sem qualquer destaque para zonas críticas. Os 5% restantes não são considerados como falha de segurança, mas sim como uma margem mínima adequada para a cobertura da área em monitorização.

Parametrização e características do primeiro teste:

- $s = 95\%$
- $tr = 27$
- $|\Omega| = 1617$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 3
- Zonas críticas: 0.

Na **Figura 5.2** pode-se observar a localização das câmaras selecionadas pela solução obtida, incluindo também a área monitorizada por essas mesmas câmaras. As células com o valor 1 significam que estão a ser cobertas e as células com o valor 0 pertencem aos 5% que não necessitam de monitorização. A solução ótima encontrada foi obtida em 0,37 segundos, sendo o valor ótimo igual a 483,54 €.

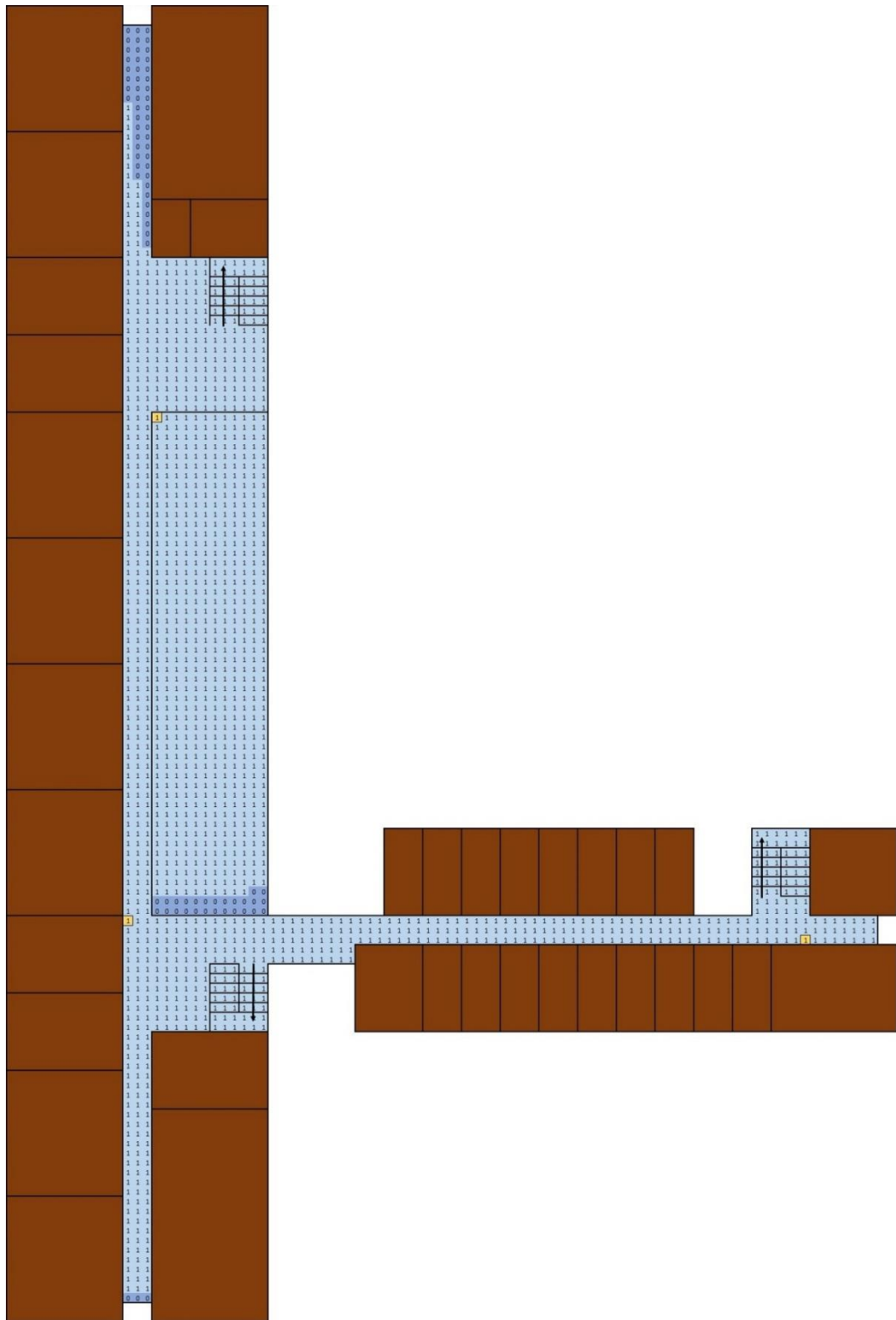


Figura 5.2 Resultado do Teste 1 - Caso Real

A **Figura 5.3** representa a distribuição das células cobertas pelas câmaras escolhidas. As 3 tonalidades de azul, do mais claro para o mais escuro, correspondem ao número de câmaras que está a monitorizar cada célula. Através desta figura, verifica-se que 4,7% da área total não está a ser monitorizada, satisfazendo a restrição (2). Verifica-se também que 8,35% está a ser coberta por duas câmaras e que 86,95% da área total está a ser coberta por uma só câmara.

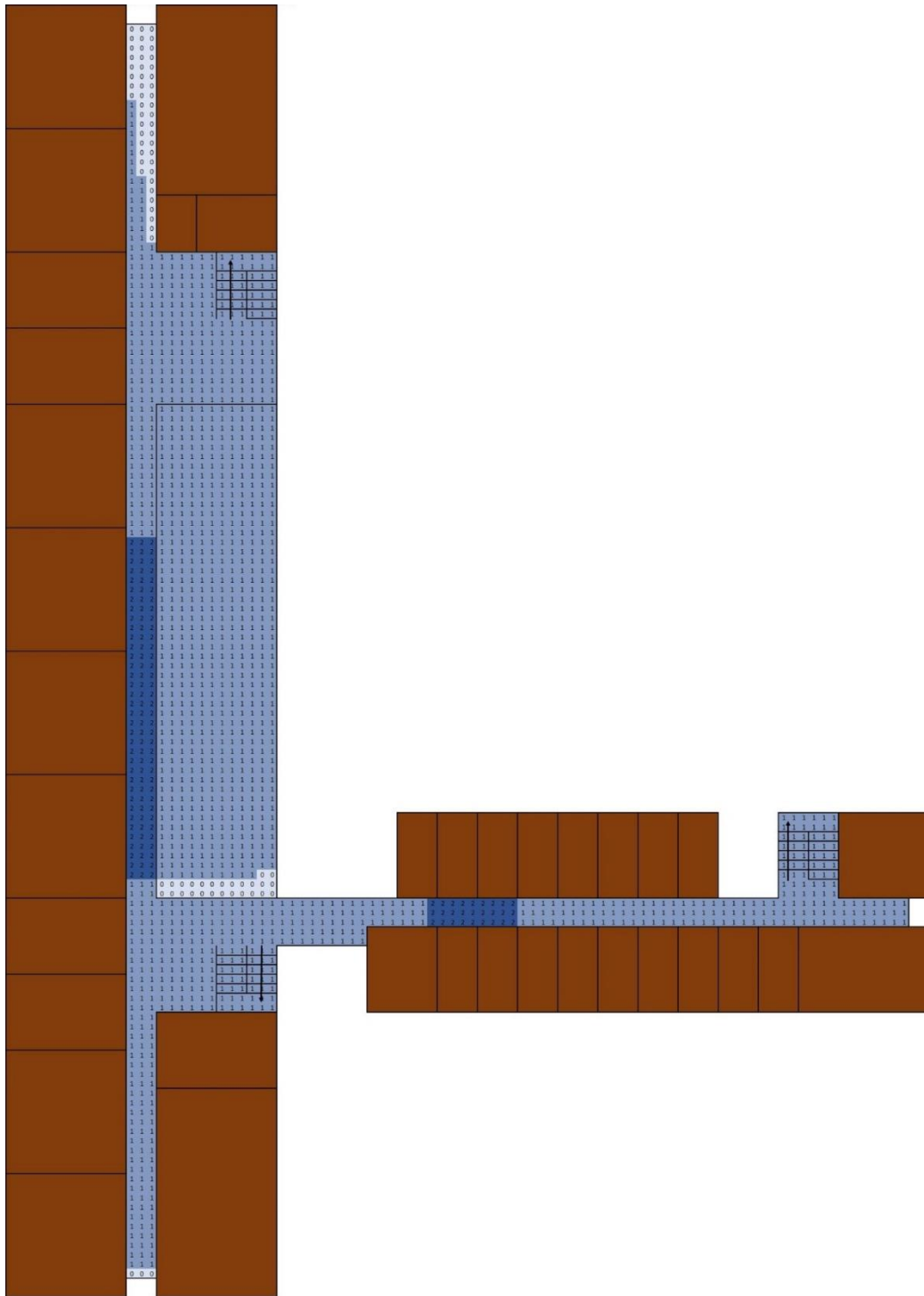


Figura 5.3 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 1 - Caso Real

5.4.2 Teste 2 sem zonas críticas e $s = 90\%$

Ainda sem a introdução das zonas críticas, alterou-se o parâmetro s para 90%, relaxando assim a restrição de cobertura em relação ao teste anterior.

Parametrização e características do segundo teste:

- $s = 90\%$
- $tr = 27$
- $|\Omega| = 1617$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 3
- Zonas críticas: 0.

A **Figura 5.4** representa as localizações das 3 câmaras escolhidas ($r = 9$, $r = 11$ e $r = 18$) e a zona na área (azul claro) que elas cobrem. Mais uma vez, a câmara de 360° foi escolhida, como esperado.

A solução ótima foi encontrada em 2.88 segundos com o valor de 465,48 €.

Em relação ao teste anterior, só uma câmara foi alterada. A câmara $r = 19$ que tinha sido escolhida na solução anterior deixou de ser necessária na sequência da relaxação proposta para a restrição de cobertura.

No Anexo 3, relativo às características e preços das câmaras para tratamento do caso real, pode-se verificar que a câmara $r = 18$ é mais barata do que a câmara $r = 19$, sendo a 18 suficiente para satisfazer as restrições.

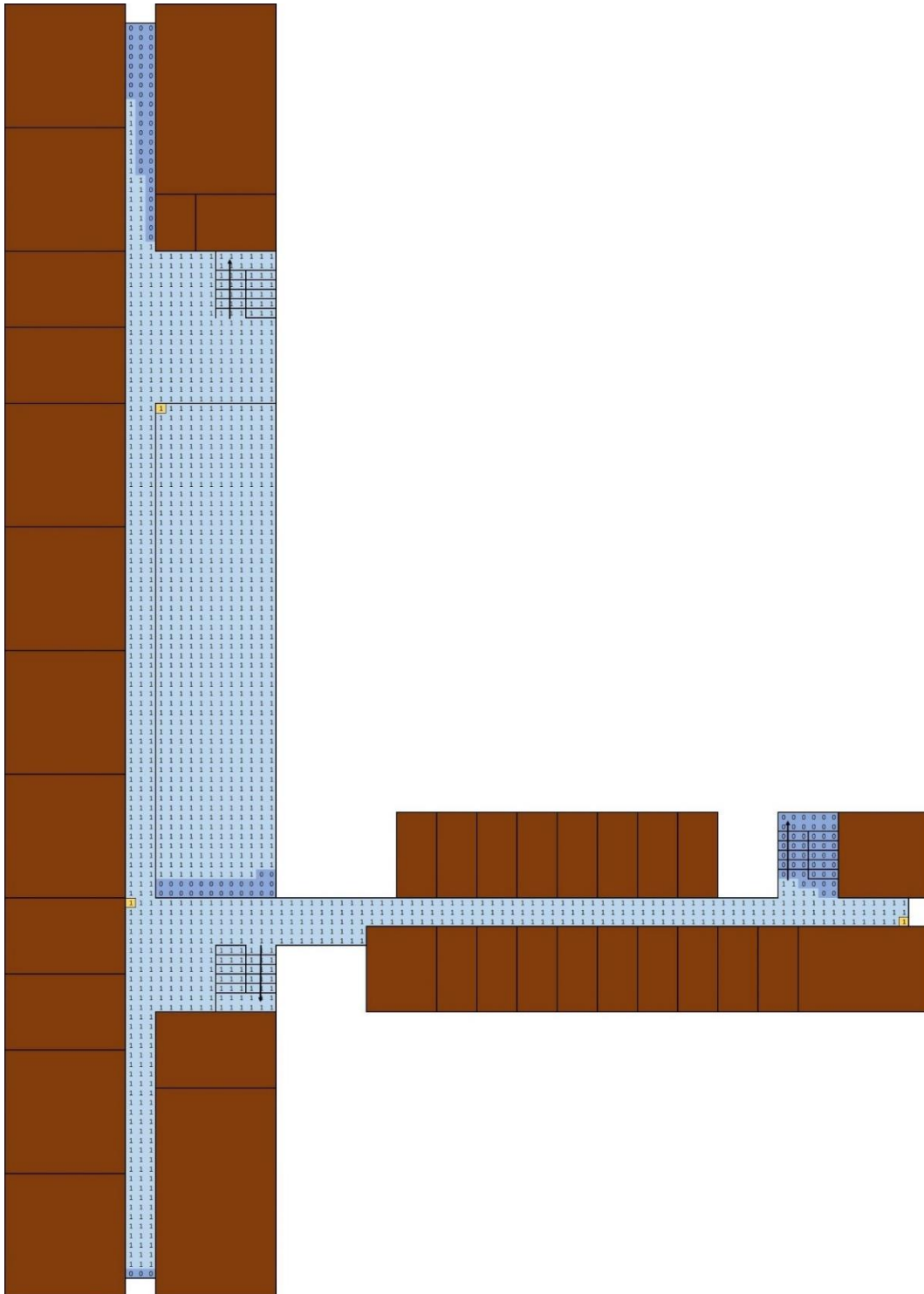


Figura 5.4 Resultado do Teste 2 - Caso Real

A distribuição das células monitorizadas pelas câmaras escolhidas pela formulação pode ser observada na **Figura 5.5**. Comparativamente com o resultado do teste anterior, as diferenças não são muito grandes. Na mesma figura consegue-se distinguir áreas sem monitorização (7,67%), áreas monitorizadas por duas câmaras (7,05%) e áreas monitorizadas por uma câmara (85,28%).

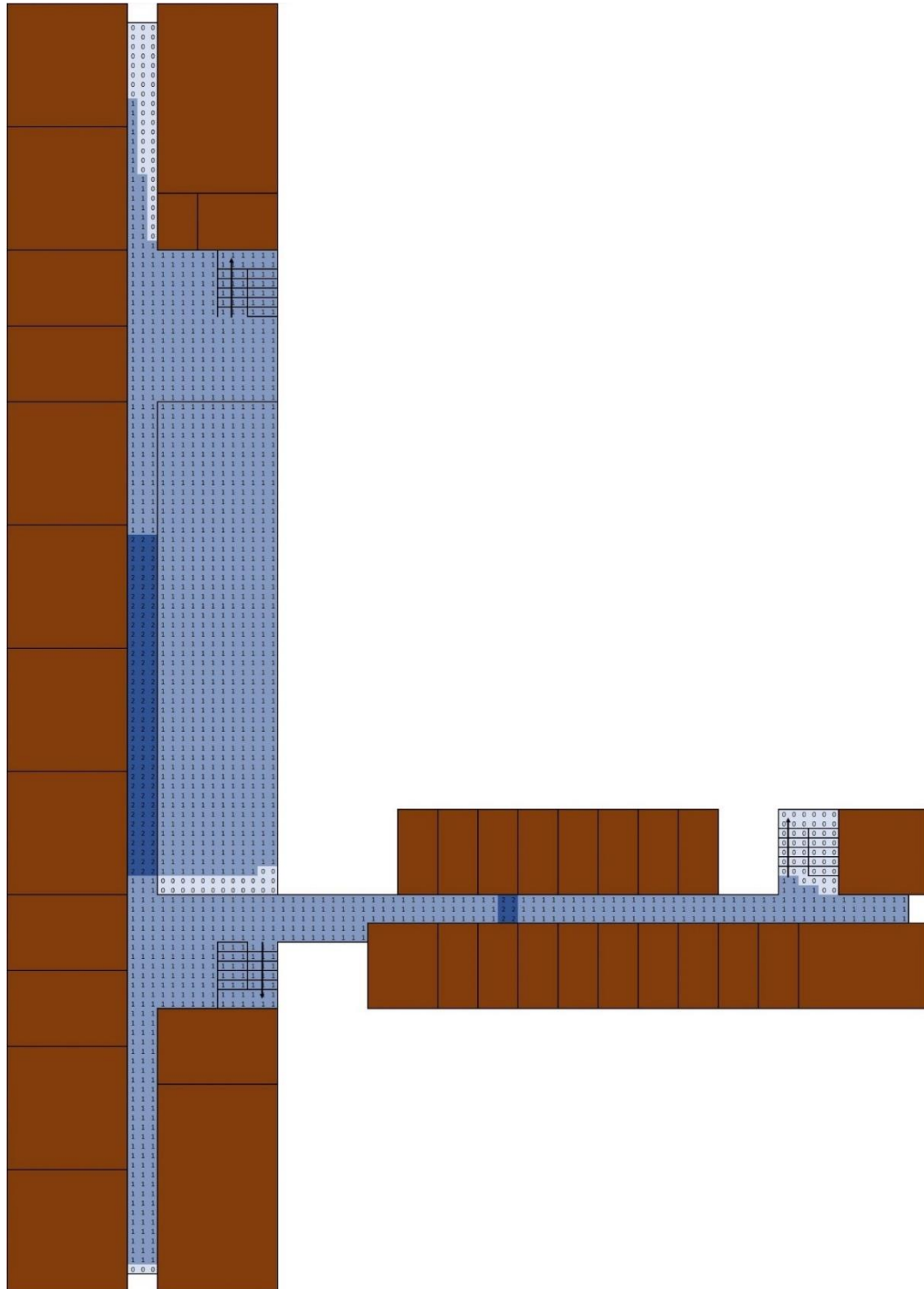


Figura 5.5 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 2 - Caso Real

5.4.3 Teste 3 com zonas críticas e $s = 95\%$

Neste teste impuseram-se zonas críticas, adicionando as restrições (4) e (5), caracterizando a inclusão das 4 zonas críticas (3 lances de escadas e uma entrada de emergência). Manteve-se o parâmetro de cobertura igual a 95%.

Parametrização e características do terceiro teste:

- $s = 95\%$
- $tr = 27$
- Cada célula corresponde a 1m^2
- $|\Omega| = 1617$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 3
- Zonas críticas: 4.

Com a introdução das zonas críticas e considerando $s = 95\%$, o número de câmaras escolhidas passou de 3 para 6 e o valor da função objetivo passou para os 631,15 €, ou seja, um aumento de 147,61 €.

As localizações das câmaras, bem como a área coberta, podem ser observadas na **Figura 5.6**.

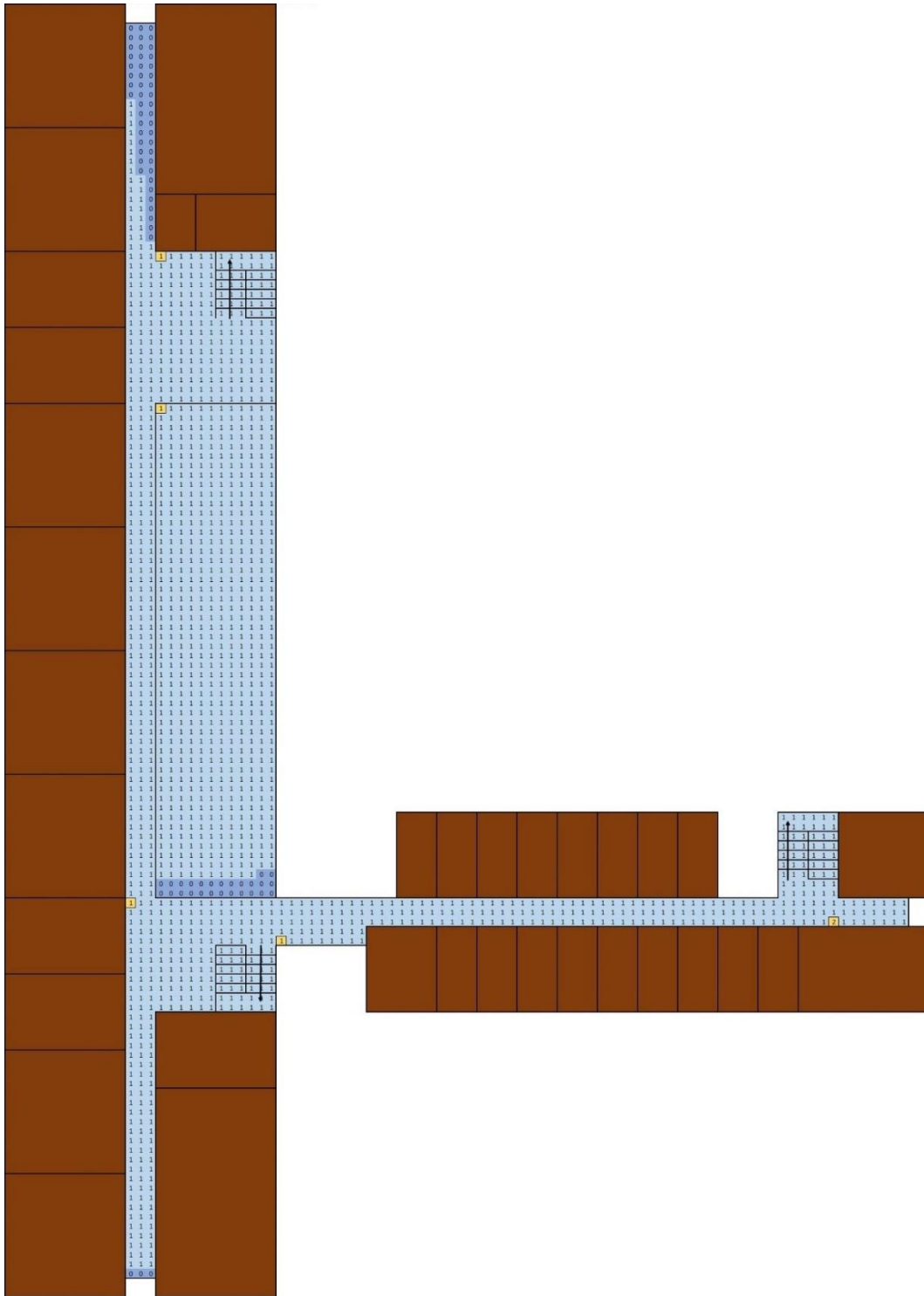


Figura 5.6 Resultado do Teste 3 - Caso Real

A **Figura 5.7** mostra a monitorização das células pelas câmaras selecionadas pela solução. Podemos também observar que as zonas críticas que definimos estão de facto a ser monitorizadas por pelo menos duas câmaras. Ao introduzirmos as zonas críticas, a percentagem de área coberta por duas ou mais câmaras passou a ser de 38,34%, um aumento considerável em relação aos testes anteriores.

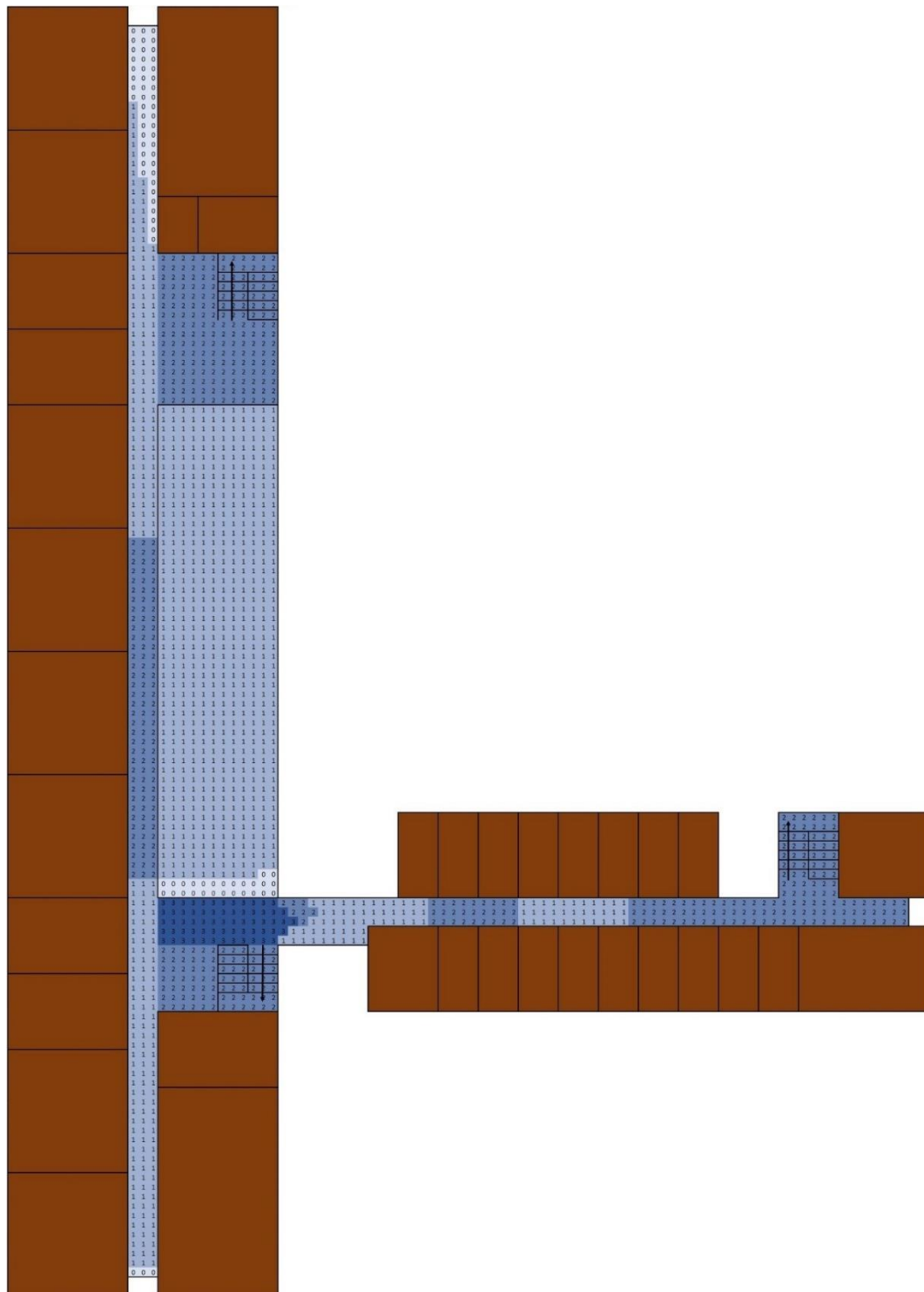


Figura 5.7 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 3 - Caso Real

5.4.4 Teste 4 com zonas críticas e $s = 90\%$

No último teste com zonas críticas, voltou-se a reduzir o parâmetro de cobertura s para os 90%.

Parametrização e características do quarto e último teste:

- $s = 90\%$
- $tr = 27$
- Cada célula corresponde a 1m^2
- $|\Omega| = 1617$ células
- Os dados das câmaras são os que estão referenciados no Anexo 3
- Zonas críticas: 4.

Para o último teste efetuado ao 2º piso do ISCAC, manteve-se as mesmas zonas críticas consideradas na Secção 5.4.3 e alterámos o parâmetro s para 90%.

A **Figura 5.8** mostra a localização das câmaras escolhidas, bem como toda a área coberta pelas mesmas.

A solução ótima tem o valor de 622,51 € e foi obtida em 26,24 segundos, correspondendo ao teste mais demorado efetuado até ao momento. Comparando com o teste 2, houve um aumento do número de câmaras escolhidas de 3 para 6 e um aumento na função objetivo em 157,03 €.

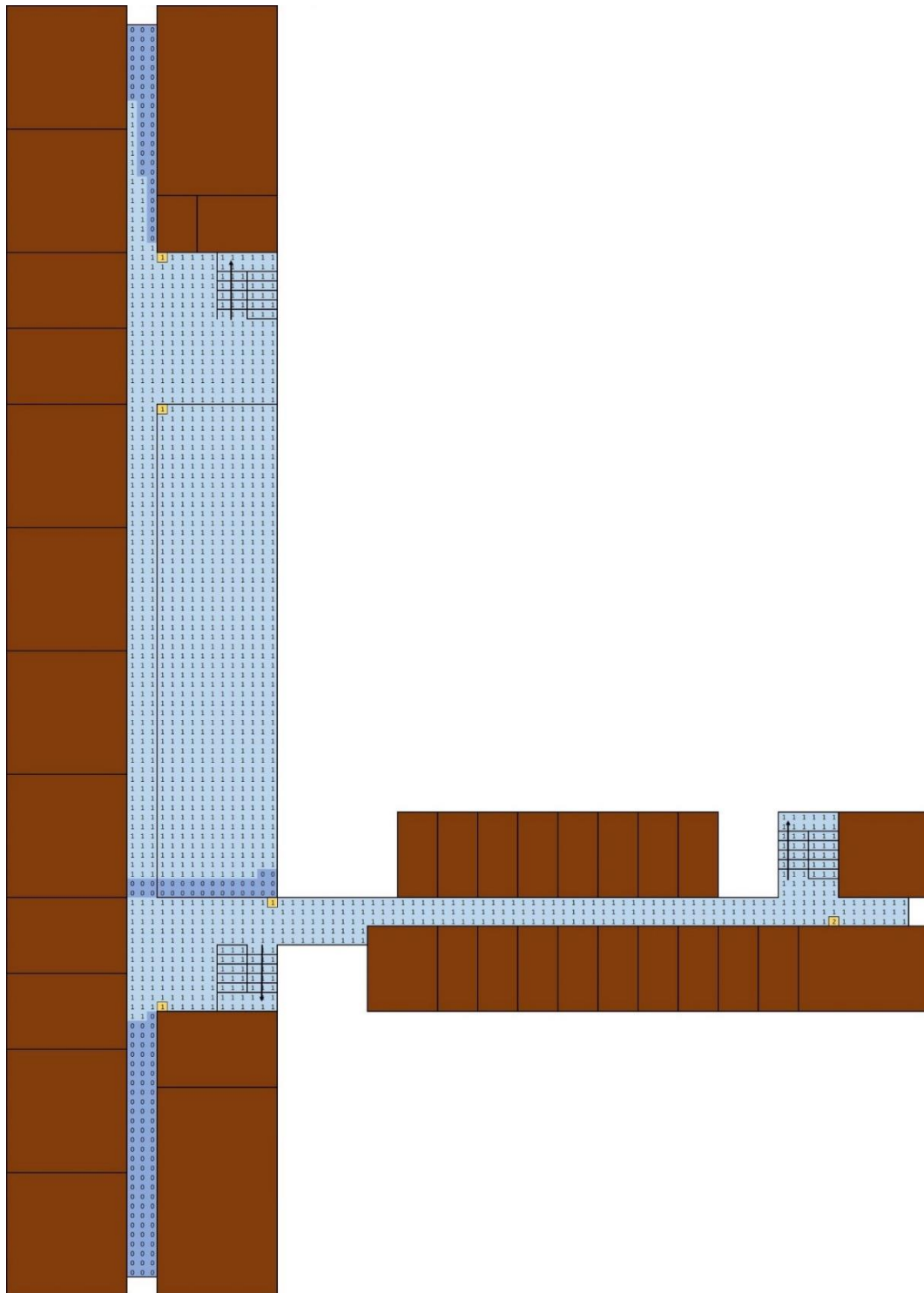


Figura 5.8 Resultado do Teste 4 - Caso Real

A **Figura 5.9** representa a distribuição das células monitorizadas pelas câmaras escolhidas. Mesmo diminuindo o parâmetro s para 90%, as zonas críticas definidas continuam a ser monitorizadas por duas câmaras.

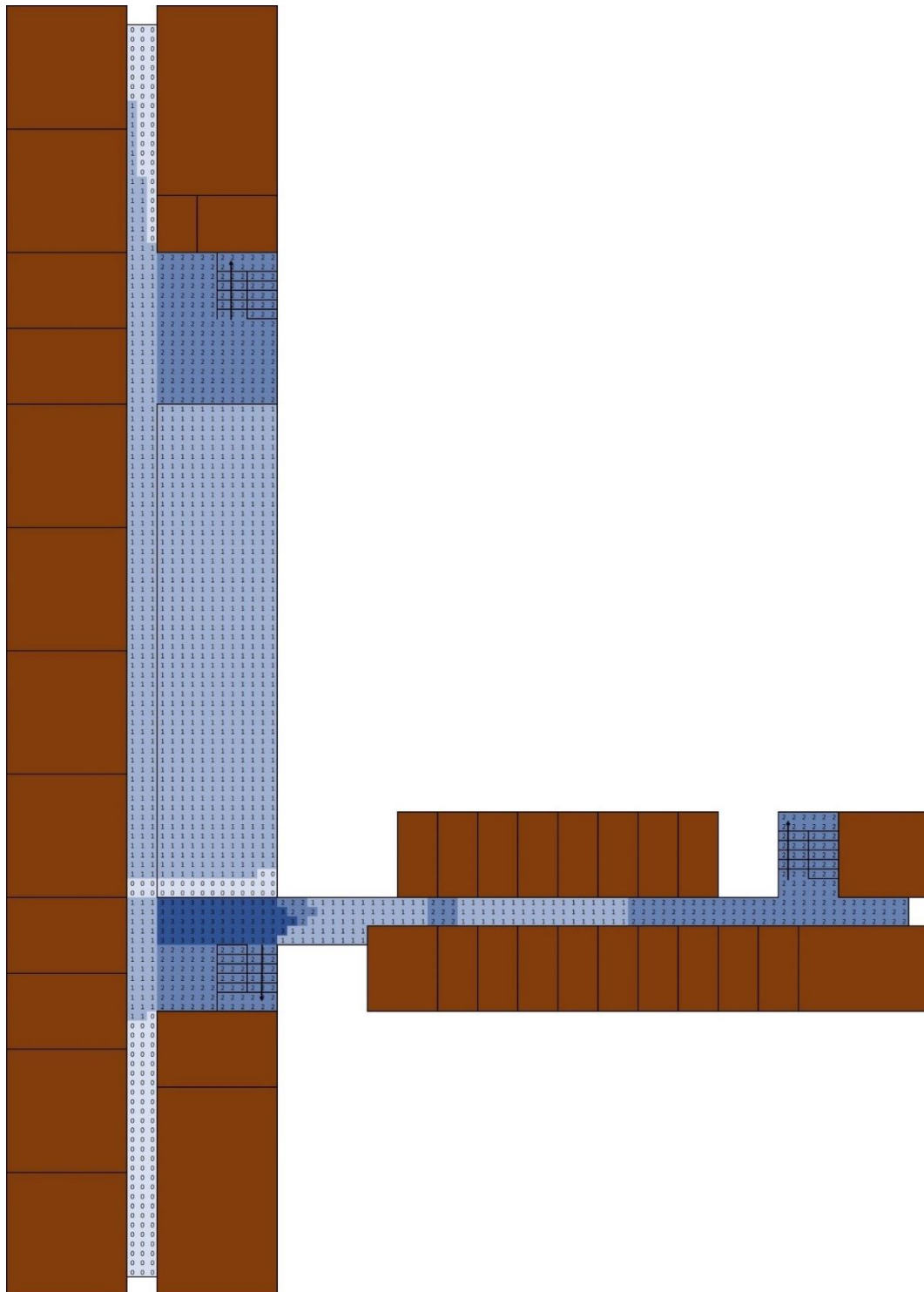


Figura 5.9 Distribuição das células monitorizadas pelo Teste 4 - Caso Real

5.5 Comparação das soluções obtidas com a solução real

A **Tabela 5.1** mostra um resumo dos resultados dos testes efetuados no caso real, onde se pode observar também uma coluna dedicada às características das localizações reais das câmaras no piso 2 do ISCAC. Essa coluna serve como referência para os outros testes e para conseguir comparar os valores.

Tabela 5.1 Resumo dos resultados obtidos no caso real

	Piso 2 ISCAC	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
s	95	95	90	95	90
tr	27	27	27	27	27
<i>Cada célula em m²</i>	1m ²	1m ²	1m ²	1m ²	1m ²
$ \Omega $	1617	1617	1617	1617	1617
<i>Custo das câmaras</i>	Anexo 3	Anexo 3	Anexo 3	Anexo 3	Anexo 3
<i>Zonas críticas</i>	0	0	0	4	4
<i>Nº de câmaras escolhidas</i>	4	3	3	6	6
<i>Função objetivo</i>	554,61 €	483,54 €	465,50 €	631,20 €	622,50 €

Nos 4 teste efetuados, alterou-se o parâmetro s e as zonas críticas. Em relação à primeira coluna da **Tabela 5.1**, não foi possível saber as características exatas das câmaras instaladas nem se a instalação atual está a incluir zonas críticas. Por isso, assume-se que não existem zonas críticas e que as câmaras a serem utilizadas, são as enunciadas em Anexo 3. Na **Figura 5.10** é possível observar a localização atual das câmaras do piso 2 bem como as células que elas cobrem.

Comparando com os resultados obtidos com a formulação aqui proposta, a solução atual não corresponde a qualquer uma das soluções ótimas obtidas. Os testes 1 e 2 (sem zonas críticas) obtiveram soluções mais baratas. Existe uma diferença de 71,07 € em relação ao teste 1 e uma diferença de 89,11 € em relação ao segundo teste. Nos testes com zonas críticas, foram obtidas soluções mais caras, porque se definiram zonas que requeriam de pelo menos 2 câmaras. Levando esse facto em conta, seria de esperar, tanto um aumento do número de câmaras escolhidas, como um aumento no valor da função objetivo.

Em suma, a solução obtida no teste 1 é melhor do que a solução que atualmente se encontra instalada no piso 2 do ISCAC. De realçar que não foi possível obter as características reais das câmaras do piso 2 e que, por esse motivo, se esteve a utilizar os custos descritos no Anexo 3.

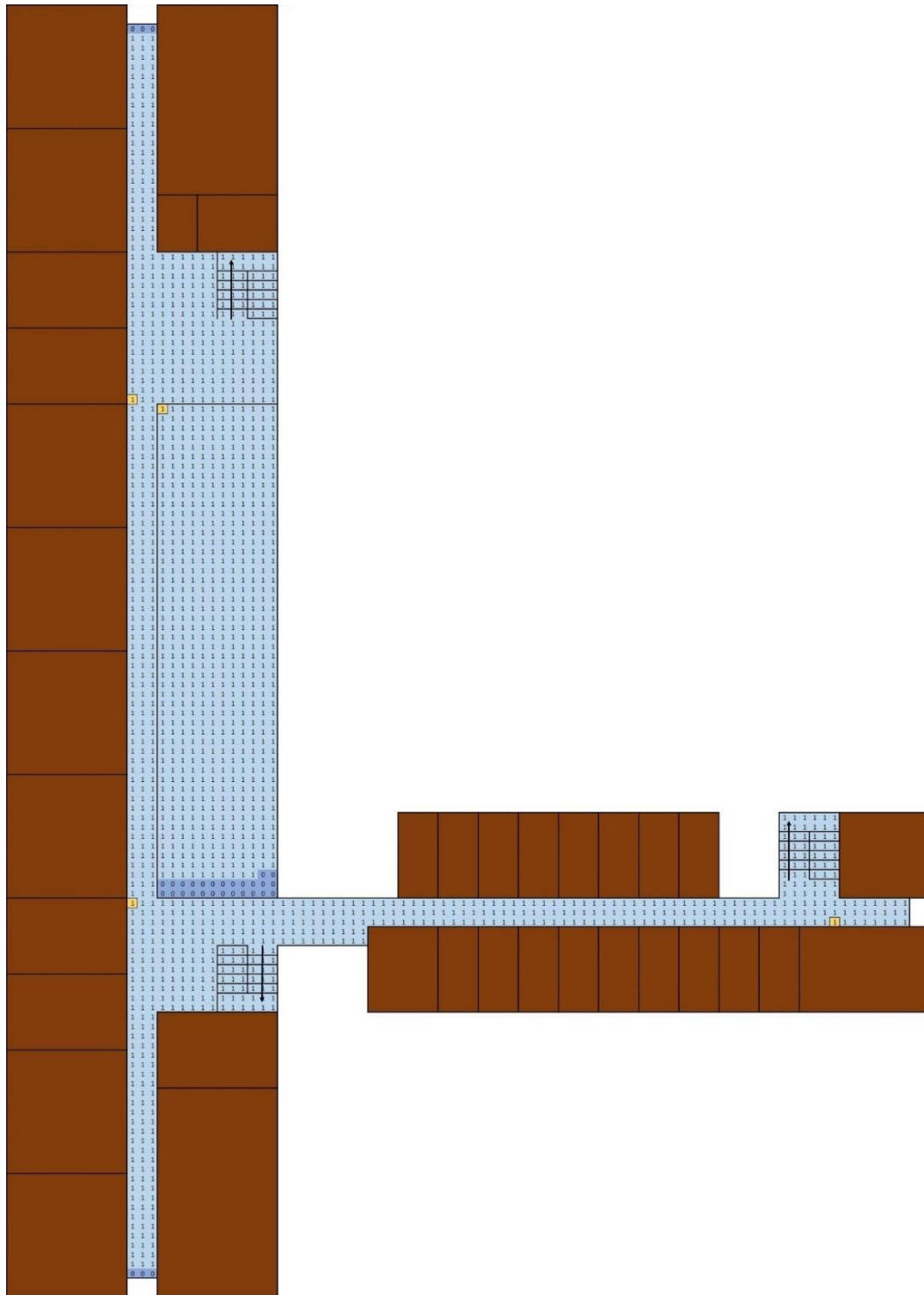


Figura 5.10 Localização atual das câmaras do piso 2 do ISCAC

6 SOFTWARE DE CÁLCULO E DISTRIBUIÇÃO DE CÂMARAS DE VIDEOVIGILÂNCIA

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um software de cálculo e distribuição de câmaras de videovigilância, desenvolvido com base na formulação matemática proposta neste projeto para o problema de cobertura aplicado a sistemas de videovigilância. Assim, apresentam-se as tecnologias escolhidas para o desenvolvimento da aplicação, a análise e especificação de requisitos e, por fim, a aplicação desenvolvida.

6.1 Tecnologias selecionadas

Relativamente às tecnologias, atendendo à experiência do autor com esta linguagem, e considerando trabalhos anteriores realizados na escola (Aleixo, 2016), optou-se pela linguagem Java e um conjunto de bibliotecas gráficas para o desenvolvimento de aplicações em Java, designadas de JavaFX.

6.1.1 Linguagem JAVA e JavaFX API

A linguagem JAVA é uma linguagem orientada a objetos, permitindo a implementação por blocos de dados e possibilitando uma independência de cada tipo de dados em relação ao restante código. A sua portabilidade permite-lhe que aplicações desenvolvidas nesta linguagem seja suportada pelos vários sistemas operativos usados, nomeadamente Windows, Linux, Android e iOS e que seja encontrada em diversos tipos de dispositivos, como telemóveis, computadores, aparelhos de TV e até mesmo em automóveis. É uma linguagem segura, que permite a execução de aplicações via rede com a possibilidade de restringir determinadas execuções e uma linguagem que suporta de modo nativo caracteres Unicode. É também uma das linguagens mais utilizada pelos desenvolvedores pela sua simplicidade na especificação e porque contém um enorme conjunto de bibliotecas de modo a facilitar a interação da linguagem com os vários tipos de *software* e *hardware* (Aleixo, 2016; Java, 2007).

A API JavaFX é a biblioteca gráfica para a linguagem Java que permite a criação de interfaces gráficas para facilitar o utilizador final na utilização da aplicação. Permite a interação entre o código e a interface gráfica, através de ficheiros do tipo fxml. Este tipo de ficheiros, são executados através da ferramenta JavaFX Scene Builder 2.0 (**Figura 6.1**) dando possibilidade ao utilizador de criar graficamente o aspeto visual das suas aplicações.

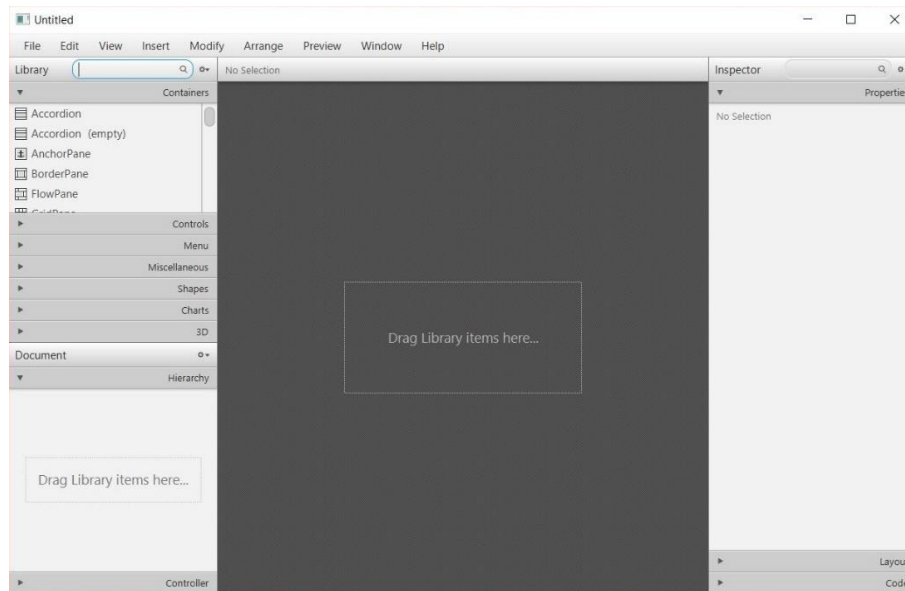


Figura 6.1 Ambiente inicial da ferramenta JavaFX Scene Builder 2.

Optou-se por esta ferramenta, juntamente com a API JavaFX, por possibilitar a alteração do aspeto visual da nossa aplicação, de forma fácil e rápida. O fato de já se ter uma base de conhecimentos em JAVA permitiu uma melhor integração com JavaFX, permitindo também a aquisição de novos conhecimentos relativos à criação de um ambiente gráfico e a integração deste com o código.

6.1.2 Ambiente de desenvolvimento

O ambiente de desenvolvimento escolhido para a construção da aplicação de apoio foi a aplicação Eclipse, **Figura 6.2**, sendo este um IDE (*Integrated Development Environment*) com uma versão grátis, de fácil instalação, com um grande número de APIs, maioritariamente grátis, ideal para a implementação da linguagem Java (entre outras) e permitindo facilmente a integração com JavaFX e todas as suas dependências, incluindo a integração com a aplicação JavaFX Scene Builder 2.0.

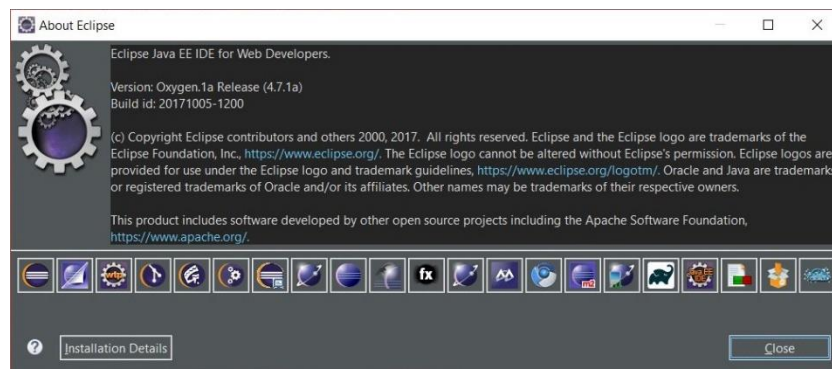


Figura 6.2 Eclipse Java EE IDE for Web Developers

6.1.3 Organização do código

O código foi organizado de modo a facilitar a introdução de novas funções ou novos elementos que farão parte da aplicação. A **Figura 6.3** apresenta a pasta “src”, que o Eclipse criou automaticamente no momento da criação de um novo projeto. Esta pasta contém todo o código para o funcionamento da aplicação.

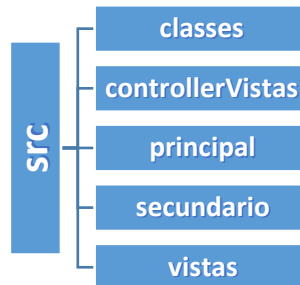


Figura 6.3 Estrutura física do código

Pasta “classes”:

Esta pasta contém a classe necessária com os dados para a criação de câmaras de vigilância e as suas respetivas características.

Pasta “controllerVistas”:

Os ficheiros Java criados nesta pasta servem para controlar as vistas, ou seja, a vista que o utilizador está a presenciar num dado momento está a ser controlada pelos ficheiros contidos nesta pasta. A pasta “controllerVistas” contém as classes com as funções que são ativadas consoante a interação do utilizador com a interface gráfica da aplicação.

Pasta “principal”:

Esta pasta contém a classe que inicializa a aplicação.

Pasta “secundaria”:

Todas as funções criadas para o tratamento dos dados e para a obtenção dos resultados podem ser vistas em ficheiros do tipo Java dentro desta pasta.

Pasta “vistas”:

Nesta pasta estão então os ficheiros fxml que contêm o código da interface gráfica da aplicação.

6.2 Especificação de requisitos

De seguida apresenta-se a análise e especificação de requisitos. A aplicação foi concebida para funcionar no computador pessoal do projetista dos sistemas de videovigilância.

6.2.1 Diagrama de casos de uso

Foi elaborado um Diagrama de casos de uso sobre as funcionalidades que o utilizador pode realizar no decorrer da aplicação, que podemos observar na **Figura 6.4**.

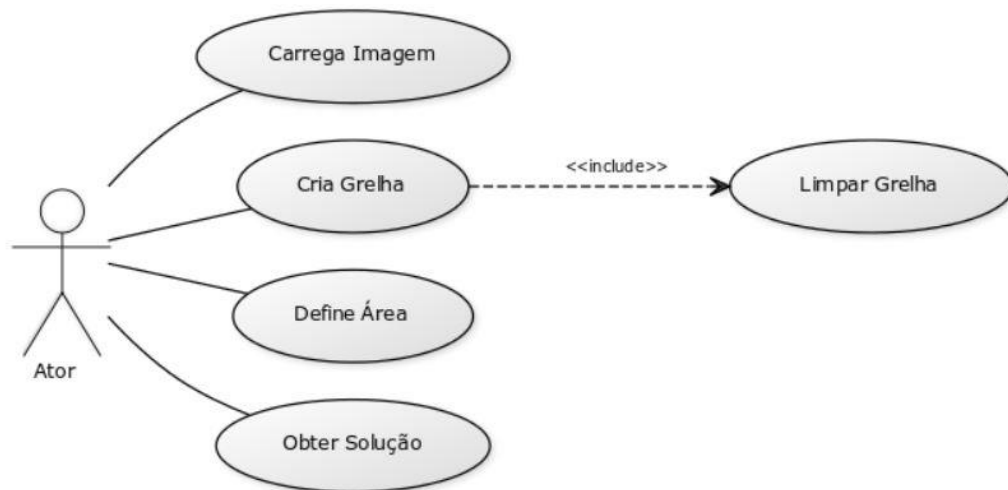


Figura 6.4 Diagrama de casos de uso

6.2.2 Diagrama de atividades

Na **Figura 6.5** apresenta-se o diagrama de atividades da aplicação, desde a inicialização da aplicação até à obtenção da solução final.

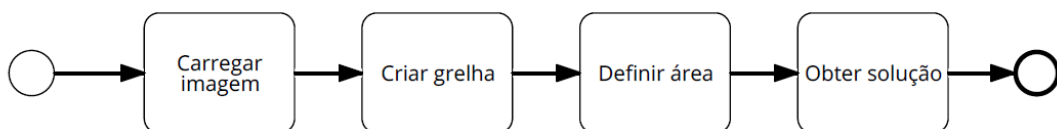


Figura 6.5 Fluxograma dos acontecimentos

6.3 Apresentação da aplicação desenvolvida

Para a apresentação da aplicação desenvolvida optou-se por seguir as atividades descritas no diagrama de atividades apresentado na **Figura 6.5**.

A própria aplicação, como se poderá verificar nas figuras abaixo, indica sempre ao utilizador a atividade/passos que ele está a executar num determinado momento colocando a azul o painel de fundo relativo à atividade em questão.

6.3.1 Passo 0 – Iniciar a aplicação

No momento em que o utilizador abre a aplicação (**Figura 6.6**), esta é inicializada, carregando todos os elementos da classe vistas e funcionalidades necessárias à execução dos passos seguintes.

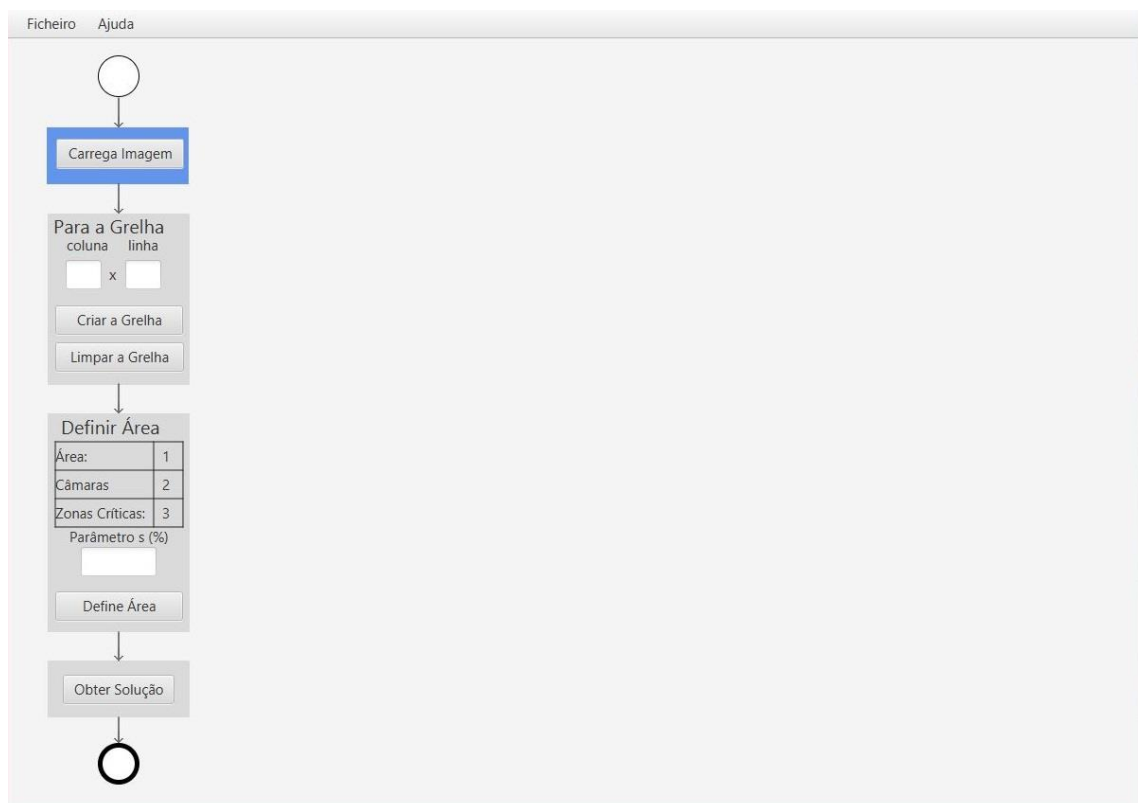


Figura 6.6 Passo 0 - Iniciar da aplicação

6.3.2 Passo 1 – Carregar a imagem

Após a aplicação ser inicializada, o próximo passo será clicar no botão “Carrega Imagem” (ver **Figura 6.7**.) e escolher a planta que deseja analisar nos passos seguintes.

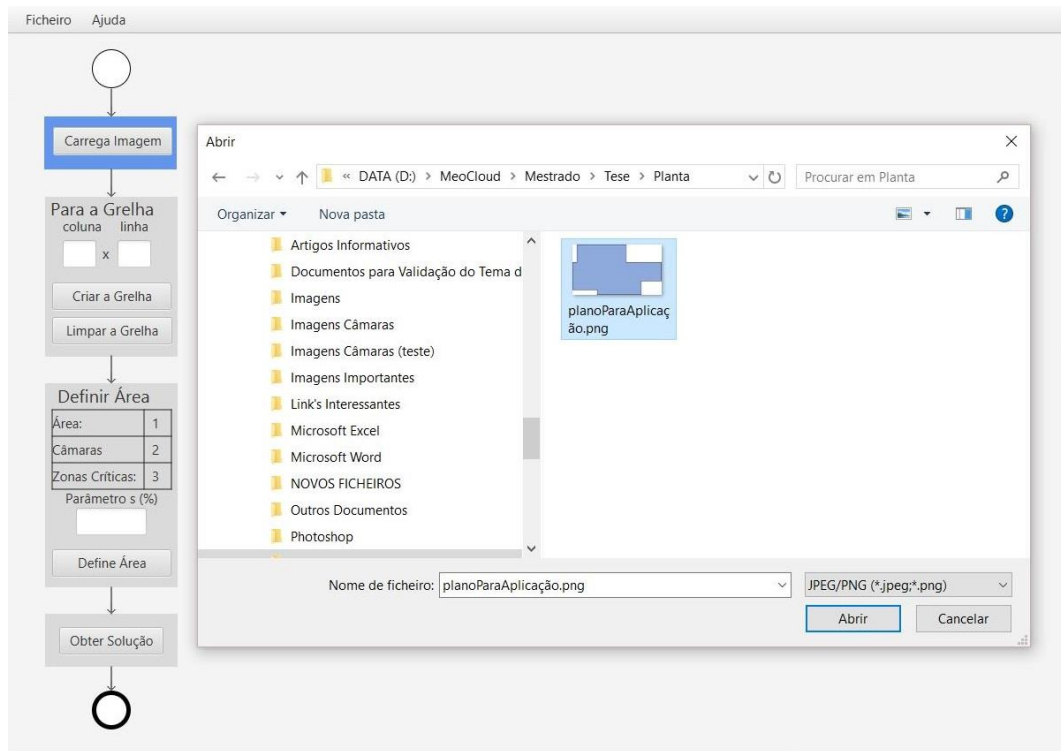


Figura 6.7 Passo 1 - Carregar a imagem

Após carregar a imagem com sucesso, a aplicação segue para o próximo passo “Criar grelha” já com a planta carregada, tal como se representa na **Figura 6.8**. Caso deseje, pode ser sempre carregada uma nova planta para análise.

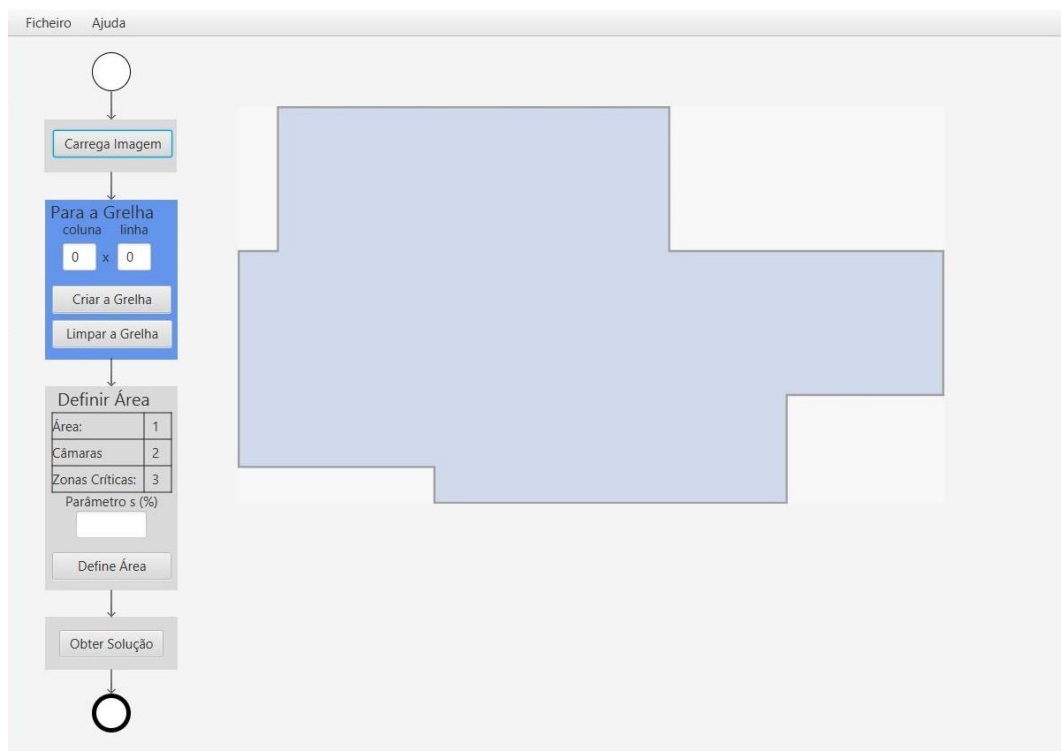


Figura 6.8 Passo 1 - Após escolha da imagem

6.3.3 Passo 2 – Criar grelha

Após ser carregada a planta é necessário criar uma grelha por cima da imagem selecionada e definir os locais iniciais de colocação das câmaras.

O utilizador introduz o número de linhas e colunas que deseja, usando para o efeito a caixa do lado direito designada “Para a grelha” e clicando no botão “Criar a Grelha”. Neste caso, foi criada uma grelha de 17 por 17.

A grelha é inicializada com valor 0 em todas as suas células, indicando tratar-se de uma célula em relação à qual não se deseja qualquer tipo de monitorização.

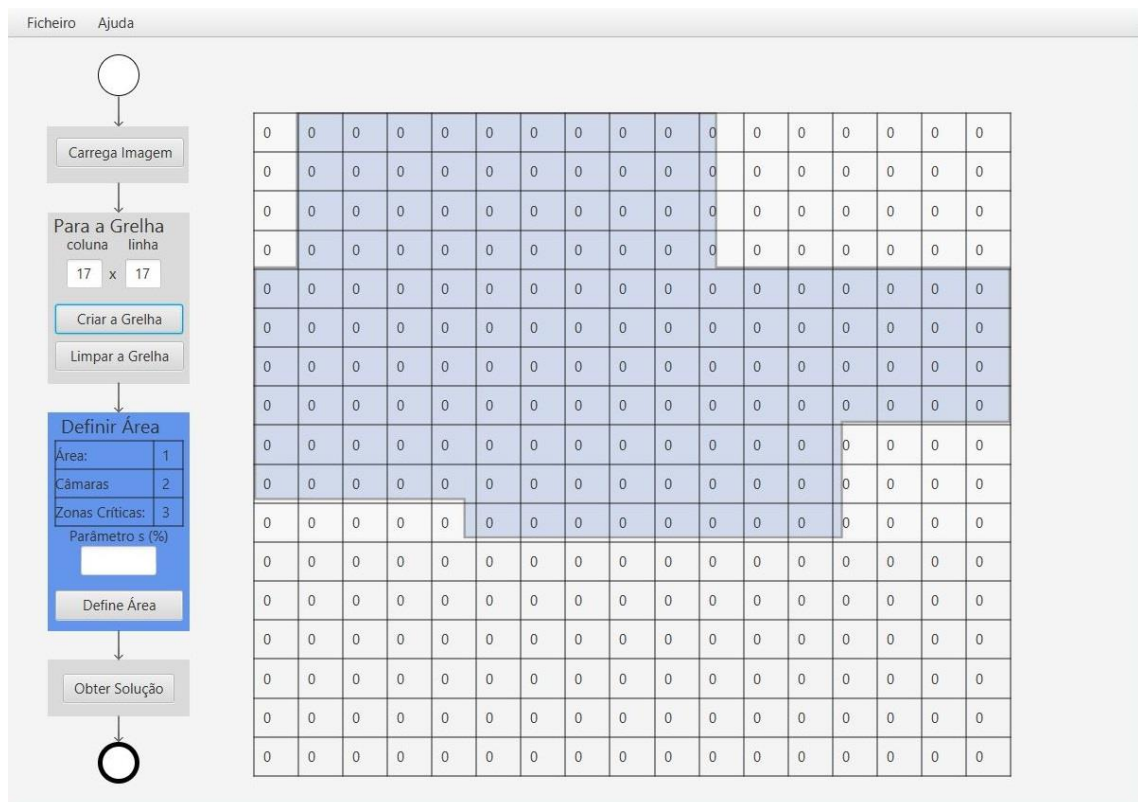


Figura 6.9 Passo 2 - Criar grelha

Neste passo, o utilizador pode limpar a grelha e reajustar os valores introduzidos para o número de colunas e linhas, de modo a conseguir melhores alinhamentos em relação à imagem que está por trás da grelha.

6.3.4 Passo 3 – Definir área

Após a grelha estar criada, no passo 3, o utilizador irá preencher as células com 3 tipos de valores, correspondendo a: área a ser monitorizada, possíveis localizações das câmaras de vigilância e número de zonas críticas que o utilizador pretenda localizar na planta.

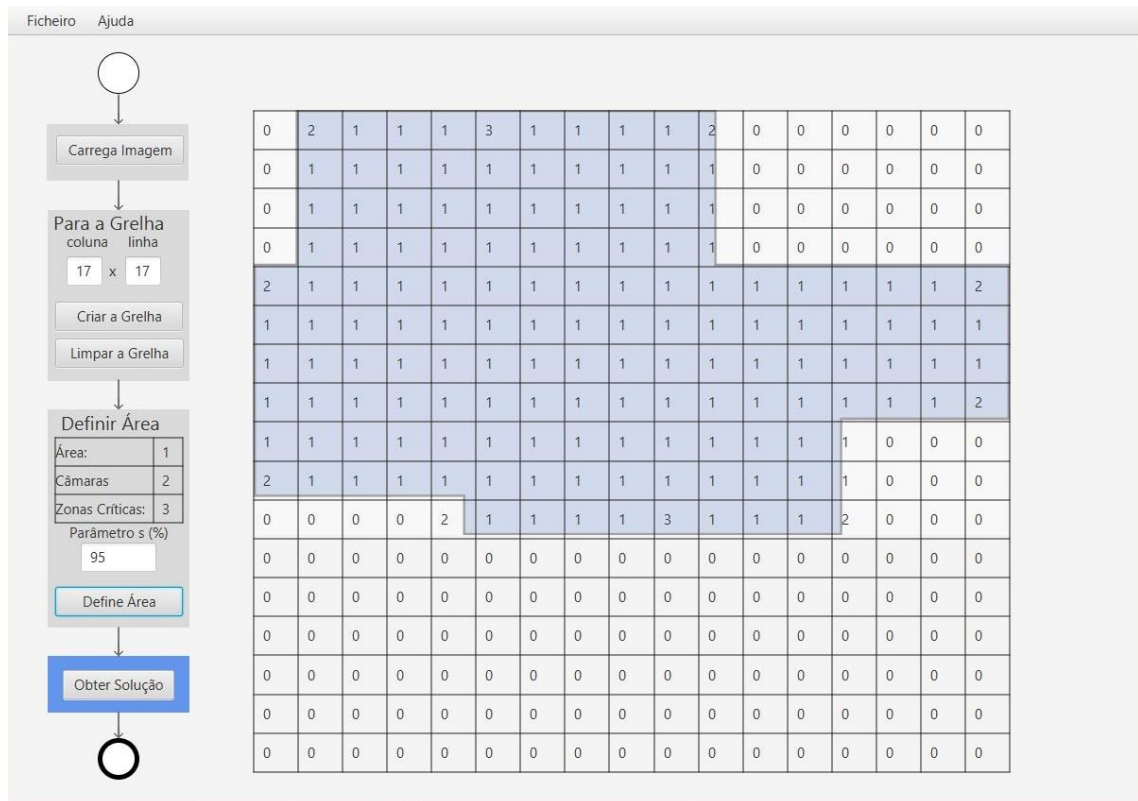


Figura 6.10 Passo 3 - Definir área

Na **Figura 6.10** podemos observar células com 4 valores distintos: o valor 0 indica que essas células não pertencem à área a ser monitorizada; o valor 1 indica a zona da área a ser monitorizada; o valor 2 indica possíveis localizações para as câmaras de vigilância; finalmente, o valor 3 indica uma zona crítica, ou seja, zonas que têm que ser obrigatoriamente cobertas por uma ou mais câmaras.

Neste passo, no campo “Parâmetro s (%)”, o utilizador introduz a percentagem mínima da área que tem que ser monitorizada. No exemplo em análise, 95% da área terá que estar monitorizada pelas câmaras de vigilância instaladas.

Foi definido que todas as células que incidissem com uma parte da imagem pertenciam à área com o valor 1, o que explica o facto de haver células com o valor 1 e 2 que só incidem numa parte da área.

6.3.5 Passo 4 – Obter solução

No último passo o utilizador clica no botão “Obter Solução” para ativar a função que irá recolher todos os dados introduzidos até aqui e chamar também a função que implementará a nossa formulação matemática através do Ipsolve versão 5.5, para determinar a solução ótima da formulação específica (**Figura 6.11**).

A cor amarelo identifica as localizações das câmaras escolhidas, a cor azul claro mostra as células que estão a ser monitorizadas e a cor azul escura mostra as células que não estão a ser cobertas pelas câmaras.

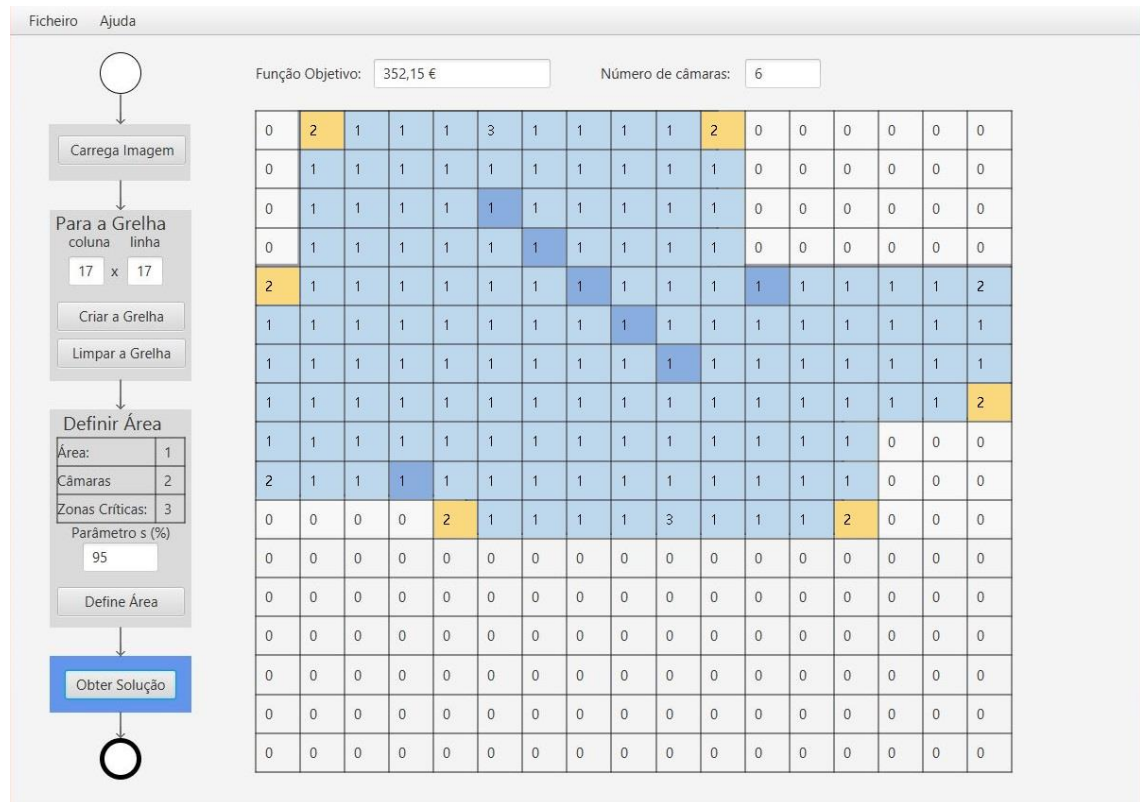


Figura 6.11 Passo 4 - Obter Solução

Neste exemplo, (ver **Figura 6.11**), o valor da função objetivo é de 352,15 € e são precisas 6 câmaras de vigilância para monitorizar pelo menos 95% da área total.

7 CONCLUSÃO

O estudo conduzido no presente trabalho incidiu num problema de localização de pontos de instalação de um sistema de videovigilância, evidenciando aspetos da sua aplicabilidade. Destacaram-se também fatores relacionados com a segurança que este tipo de sistema confere, tanto a proprietários como a utentes.

Numa primeira etapa, foi feita uma revisão da literatura sobre o problema de cobertura, incidindo em aplicações semelhantes nas quais o problema de cobertura desempenha um papel central. Foram apontados os aspetos que relacionam esses outros problemas com o problema de videovigilância proposta na presente tese.

Foram descritos os aspetos legais e regulamentares que envolvem a instalação de sistemas de videovigilância. Os elementos caracterizadores dos vários tipos de câmaras foi também alvo de análise.

Após todo o tratamento da informação analisada, apresentou-se uma formulação linear inteira para o problema, com a qual se discutiram duas aplicações: um caso fictício e um caso real. Em ambos os casos foram elaborados vários testes, envolvendo a variação de parâmetros.

Este projeto visa apoiar a instalação de sistemas de videovigilância e otimizar os recursos disponíveis, procurando minimizar os custos de instalação do sistema.

A formulação proposta permite responder de forma eficiente e simples a problemas reais, tornando-se uma boa ferramenta de apoio às empresas de instalação de sistemas de videovigilância, permitindo a análise de cenários alternativos, decorrentes da alteração de parâmetros de especificação do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleixo, P. (2016). BancoX21 Sistema de Informação de Gestão Bancária e Pré-Dados, 1–4.
- Alonso-Ayuso, A., Escudero, L., & Martín-Campo, F. (2014). On modeling the air traffic control coordination in the collision avoidance problem by mixed integer linear optimization. <http://doi.org/10.1007/s10479-013-1347-y>
- Boyer, V., Gendron, B., & Rousseau, L.-M. (2014). A branch-and-price algorithm for the multi-activity multi-task shift scheduling problem.
- Casautomatica.net. (2004). CASAUTOMATICA - Sistemas de Segurança.
- Church, R. L. (1984). The Planar Maximal Covering Location Problem.pdf. *Journal of Regional Science*. <http://doi.org/http://www.blackwellpublishing.com/journal.asp?ref=0022-4146>
- Conci, N., & Lizzi, L. (2009). Camera placement using particle swarm optimization in visual surveillance applications. *16th IEEE International Conference on Image Processing*, (December), 3485–3488. <http://doi.org/10.1109/icip.2009.5413833>
- Conesa-Muñoz, J., Bengochea-Guevara, J. M., Andujar, D., & Ribeiro, A. (2016). Original papers: Route planning for agricultural tasks: A general approach for fleets of autonomous vehicles in site-specific herbicide applications. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.012>
- Couto, M. C., de Rezende, P. J., & de Souza, C. C. (2011). An exact algorithm for minimizing vertex guards on art galleries. *International Transactions in Operational Research*, 18(4), 425–448. <http://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2011.00804.x>
- Crepaldi, B. E., de Rezende, P. J., & de Souza, C. C. (2015). Solving the natural wireless localization problem to optimality efficiently. <http://doi.org/10.1016/j.comgeo.2014.12.004>
- Erdem, U. M., & Sclaroff, S. (2004). Optimal placement of cameras in floorplans to satisfy task requirements and cost constraints. *Proceedings of the International Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical Cameras (OMNIVIS)*, 30–41. <http://doi.org/10.1.1.85.8589>
- Erdem, U. M., & Sclaroff, S. (2006). Automated camera layout to satisfy task-specific

- and floor plan-specific coverage requirements. *Computer Vision and Image Understanding*, 103(3), 156–169. <http://doi.org/10.1016/j.cviu.2006.06.005>
- Ghazzai, H., Yaacoub, E., Alouini, M.-S., Dawy, Z., & Abu-Dayya, A. (2016). Optimized LTE Cell Planning With Varying Spatial and Temporal User Densities. <http://doi.org/10.1109/TVT.2015.2411579>
- González-Banos, H. (2001). A randomized art-gallery algorithm for sensor placement. *Proceedings of the seventeenth annual symposium on Computational geometry - SCG '01*, 9, 232–240. <http://doi.org/10.1145/378583.378674>
- Hameed, I. A., la Cour-Harbo, A., & Osen, O. L. (2016). Side-to-side 3D coverage path planning approach for agricultural robots to minimize skip/overlap areas between swaths. <http://doi.org/10.1016/j.robot.2015.11.009>
- Java, G. (2007). Java: Principais Características. Obtido 10 de Outubro de 2015, de <http://lpjava.blogspot.pt/2007/11/principais-caractersticas.html>
- Kuo, Y., Luo, C.-M., & Wang, C.-C. (2013). Bus route design with limited travel time. <http://doi.org/10.3846/16484142.2013.865103>
- Kwatirayo, S., Almhana, J., Liu, Z., & Siblini, J. (2014). 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC). <http://doi.org/10.1109/ICC.2014.6883382>
- Laguna, M. (1998). Applying Robust Optimization to Capacity Expansion of One Location in Telecommunications with Demand Uncertainty.
- Lei n.º 34/2013, de 16 de Maio, Regime do Exercício da Atividade de Segurança Privada, Pub. L. No. Diário da República, 1.ª série — N.º 94 (2013).
- Lei n.º 9/2012, de 23 de Fevereiro de 2012, Segurança Online, Pub. L. No. Diário da República, 1.ª série — N.º 39 (2012).
- Lin, S.-W., & Ying, K.-C. (2014). Innovative Applications of O.R.: Minimizing shifts for personnel task scheduling problems: A three-phase algorithm. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.01.035>
- Maksimović, M., & Milošević, V. (2016). Evaluating the optimal sensor placement for smoke detection. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 26(1), 33–50. <http://doi.org/10.2298/YJOR140312002M>
- Murray, A. T., Kim, K., Davis, J. W., Machiraju, R., & Parent, R. (2007). Coverage

- optimization to support security monitoring. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(2), 133–147. <http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.06.002>
- Murray, A. T., & Tong, D. (2007). Coverage optimization in continuous space facility siting. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(7), 757–776. <http://doi.org/10.1080/13658810601169857>
- Peyronne, C., Conn, A. R., Mongeau, M., & Delahaye, D. (2015). Innovative Applications of O.R.: Solving air traffic conflict problems via local continuous optimization. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.08.045>
- Portaria n.º 273/2013, de 20 de agosto, Segurança Privada, Pub. L. No. Diário da República ° 159, Série I (2013).
- Ruan, N., & Gao, D. Y. (2014). Global optimal solutions to general sensor network localization problem. <http://doi.org/10.1016/j.peva.2014.02.003>

ANEXOS

ANEXO 1

CARATERÍSTICAS DAS CÂMARAS FICTÍCIAS

<i>Câmara (r)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
<i>Graus (°)</i>	90	90	180	180	90	360	360	90	90	90	360	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
<i>Raio (m)</i>	7	7	6	6	8	5	7	5	5	5	4	4	4	10	8	7	5	4	5	8	6	6
<i>Área (n.º de células)</i>	30	30	36	36	38	67	112	13	13	13	43	20	8	64	42	30	33	8	33	41	45	45
<i>Custo (€)</i>	60	60	72	72	76	134	224	26	26	26	86	40	16	128	84	60	66	16	66	82	90	90

ANEXO 2

CARATERÍSTICAS DAS CÂMARAS FICTÍCIAS COM PREÇOS REAIS

<i>Câmara (r)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
<i>Graus (°)</i>	90	90	180	180	90	360	360	90	90	90	360	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
<i>Raio (m)</i>	7	7	6	6	8	5	7	5	5	5	4	4	4	10	8	7	5	4	5	8	6
<i>Área (n.º de células)</i>	30	30	36	36	38	67	112	13	13	13	43	20	8	64	42	30	33	8	33	41	45
<i>Custo (€)</i>	42,59	42,59	62,43	62,43	42,59	341,4	341,4	42,59	42,59	42,59	341,4	42,59	42,59	42,59	42,59	42,59	42,59	42,59	42,59	53,01	53,01

ANEXO 3

CARATERÍSTICAS DAS CÂMARAS REAIS

<i>Câmara (r)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Graus (°)</i>	90	90	90	180	180	90	180	180	360	90	180	180	360	180
<i>Raio (m)</i>	20	20	40	20	40	20	40	20	50	20	40	20	50	40
<i>Área (n.º de células)</i>	57	57	117	296	381	191	423	296	415	243	465	275	424	315
<i>Custo (€)</i>	42,59	42,59	53,01	62,43	71,07	42,59	71,07	62,43	341,4	42,59	71,07	62,43	341,4	71,07

<i>Câmara (r)</i>	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
<i>Graus (°)</i>	180	90	90	90	180	180	90	180	180	90	90	90	90
<i>Raio (m)</i>	20	20	20	40	40	20	20	20	40	20	20	40	20
<i>Área (n.º de células)</i>	254	54	57	129	198	138	105	259	366	157	57	117	63
<i>Custo (€)</i>	62,43	42,59	42,59	53,01	71,07	62,43	42,59	62,43	71,07	42,59	42,59	53,01	42,59

ANEXO 4

Câmera $r = 5$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0					
10	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0					
11					0	0	0	0	0	0	0	0	0					

Câmera $r = 6$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0	1	1	1	1	1	0	0	0	0							
2		1	1	1	1	1	1	1	0	0	0							
3		1	1	1	1	1	1	1	1	0	0							
4		1	1	1	1	1	1	1	1	0	0							
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11						0	0	0	0	0	0	0	0					

Câmera $r = 7$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
4		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0				
10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0				
11						1	1	1	1	0	0	0	0					

Câmera $r = 8$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11						0	0	0	0	0	0	0	0					

Câmară $r = 13$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1				
11					0	0	0	0	0	0	0	0	1	1				

Câmară $r = 14$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Câmară $r = 15$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Câmară $r = 16$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
11					0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Câmera $r = 17$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
11						1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Câmera $r = 18$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
11						0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0

Câmera $r = 19$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
11						0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Câmera $r = 20$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
11						1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

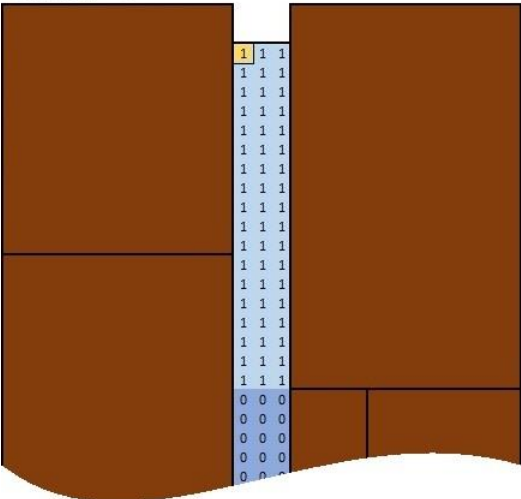
Câmară $r = 21$

(i,j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0			
10	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0			
11						1	1	1	1	1	1	1	0	0	0			

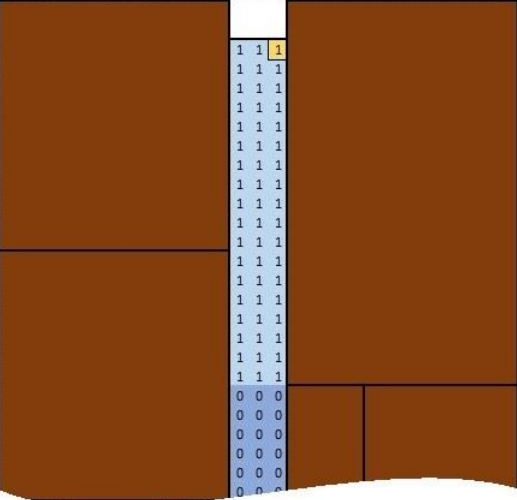
ANEXO 5

CAMPO DE VISÃO DAS CÂMARAS UTILIZADAS NO CASO REAL

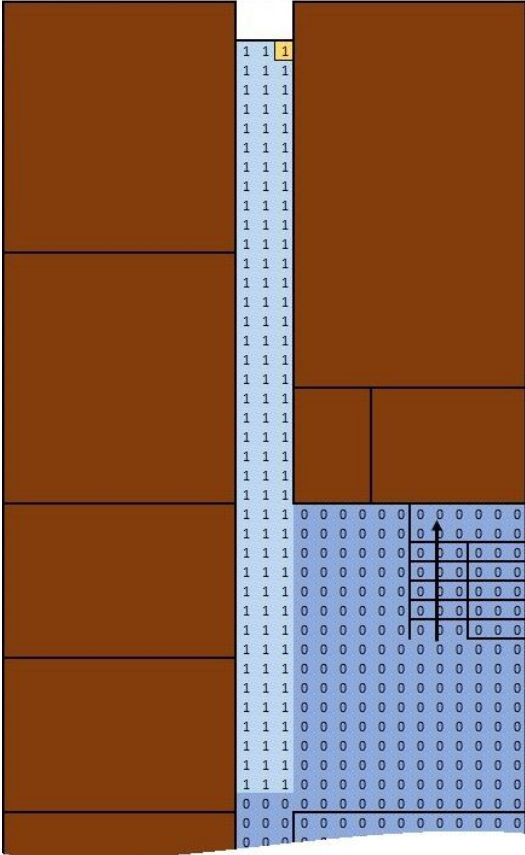
Câmara $r = 1$



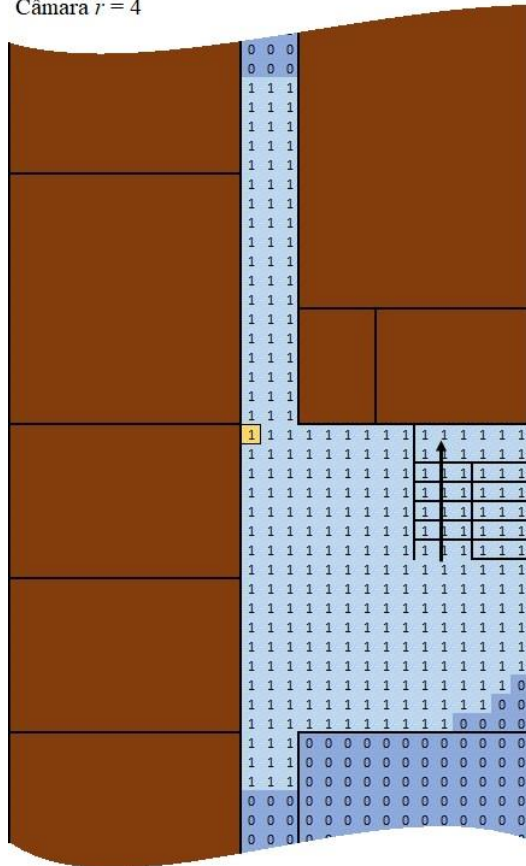
Câmara $r = 2$



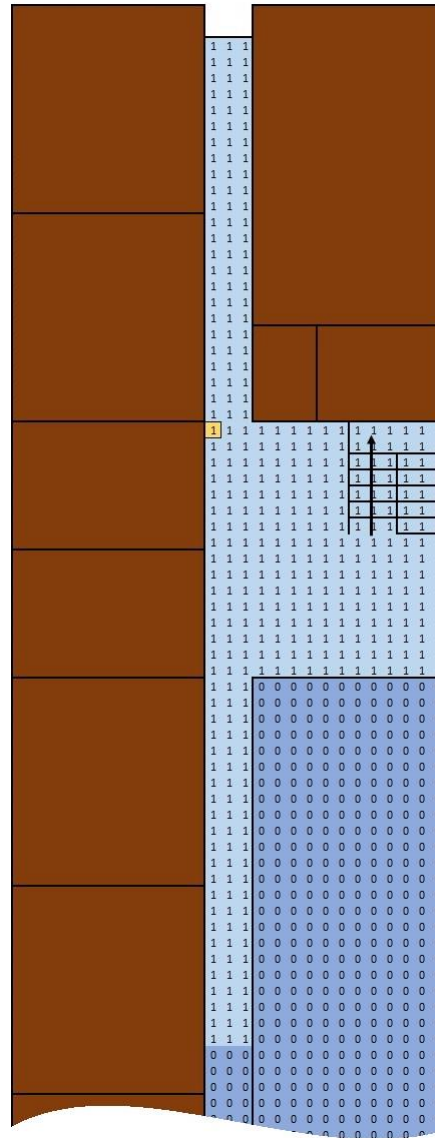
Câmara $r = 3$



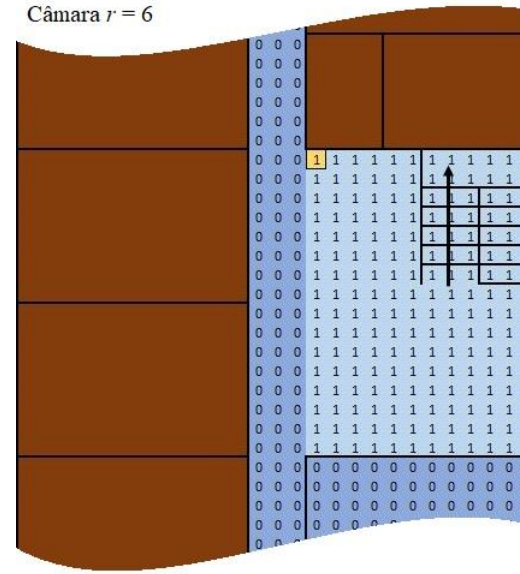
Câmera $r = 4$



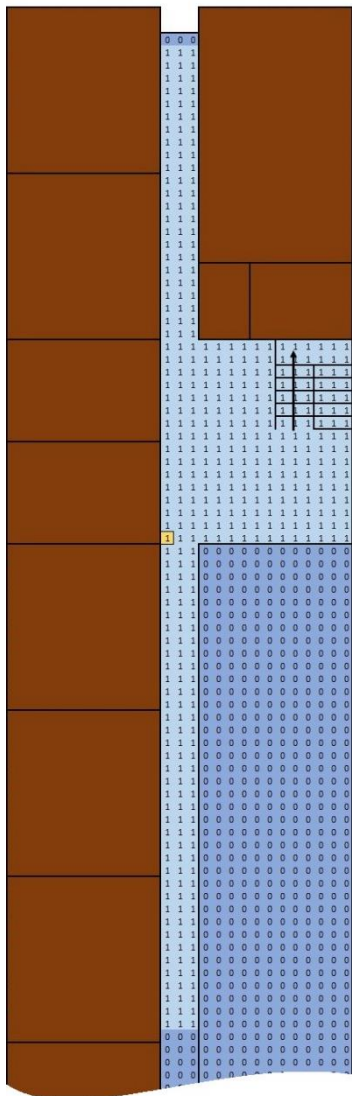
Câmera $r = 5$



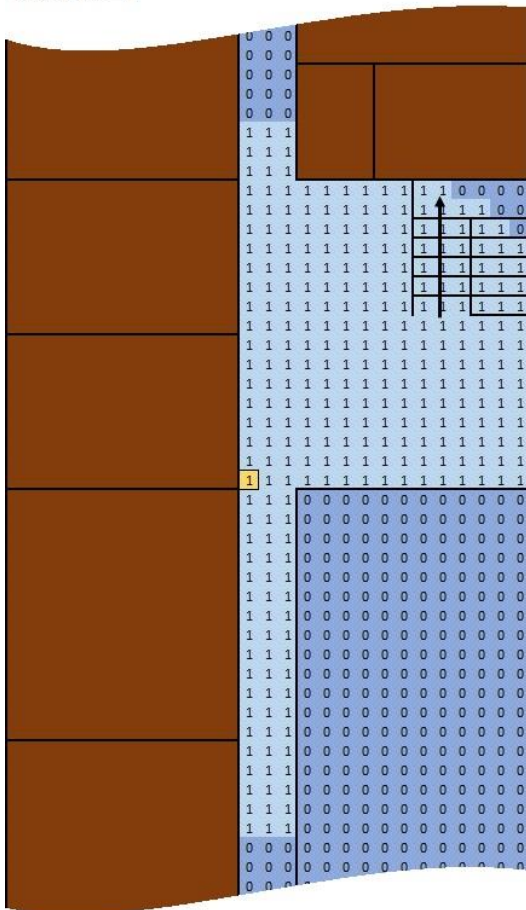
Câmera $r = 6$



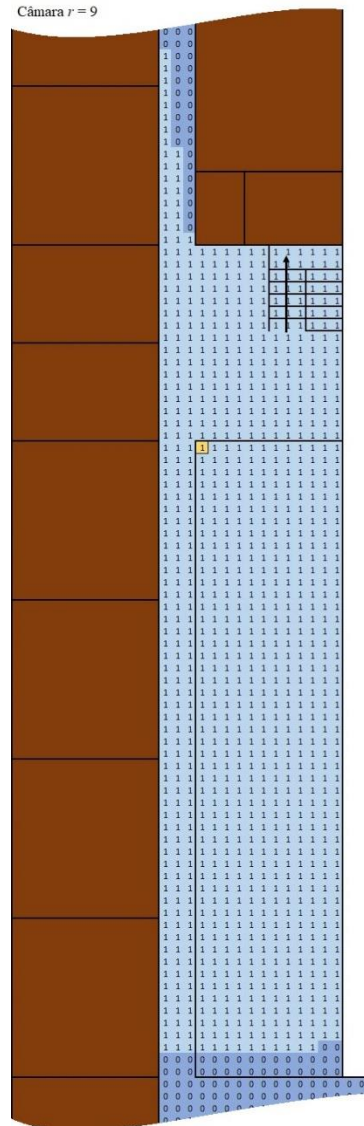
Câmara $r = 7$



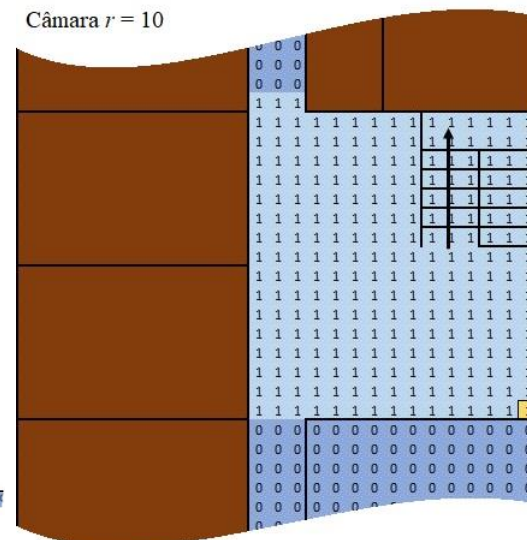
Câmara $r = 8$



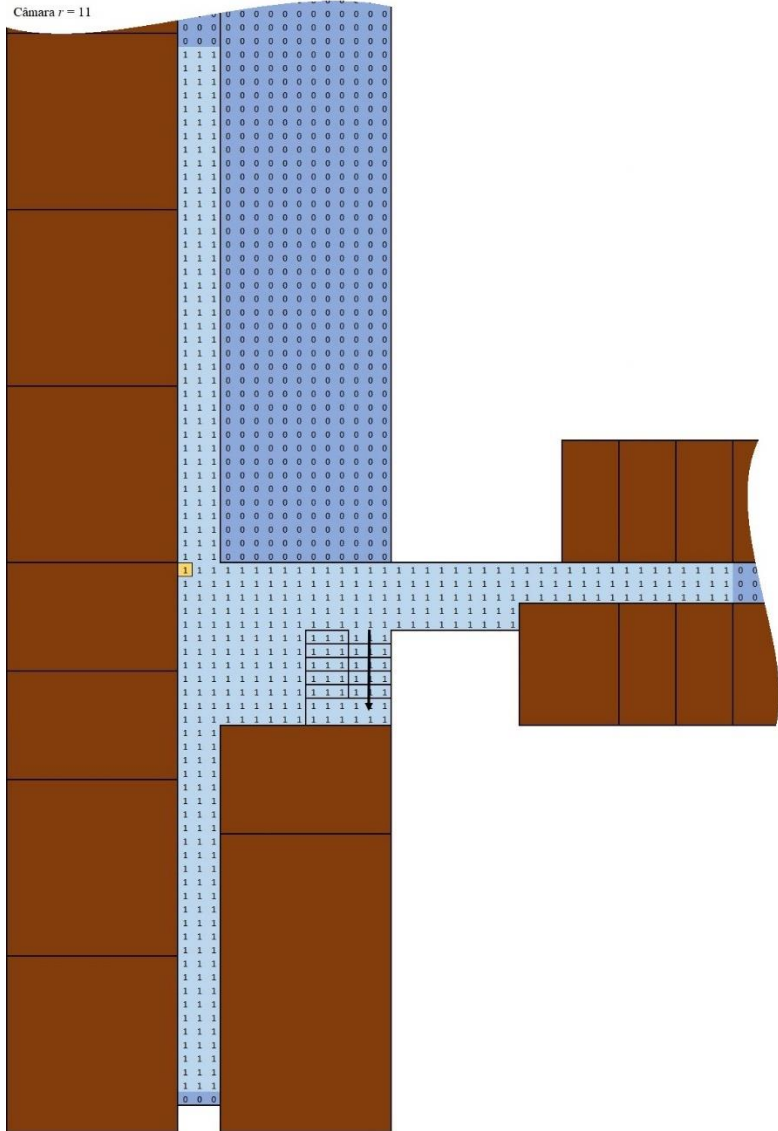
Câmara $r = 9$



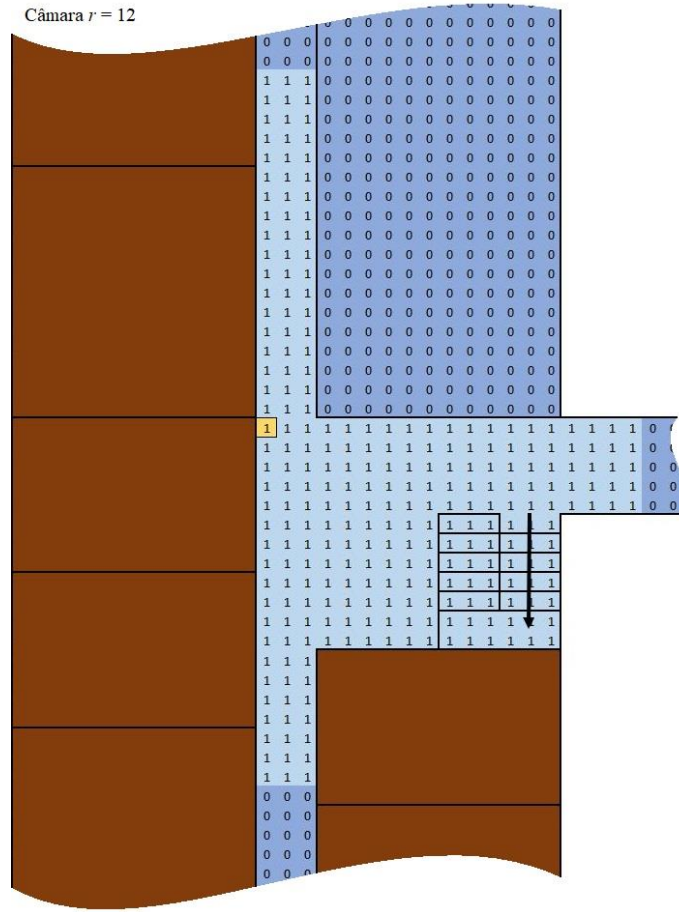
Câmara $r = 10$



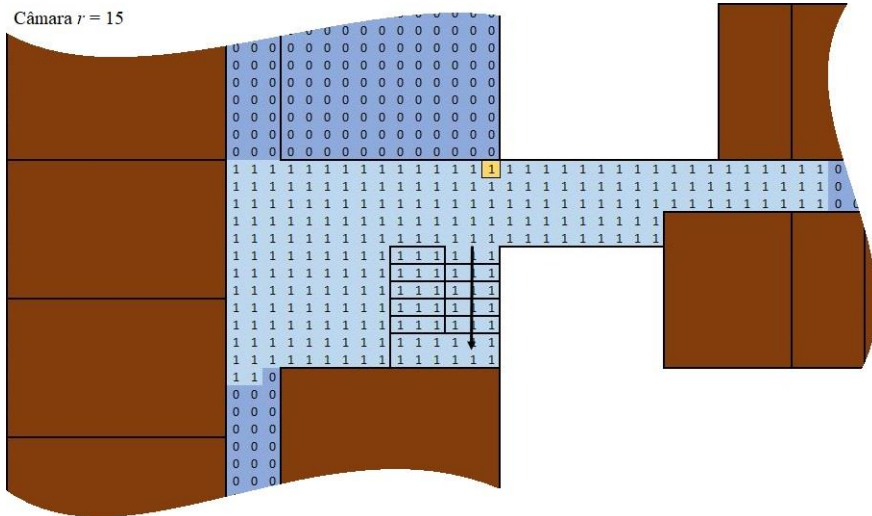
Cămara r = 11



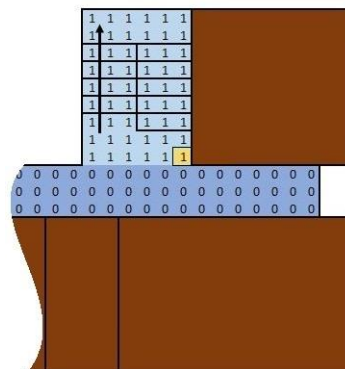
Cămara r = 12



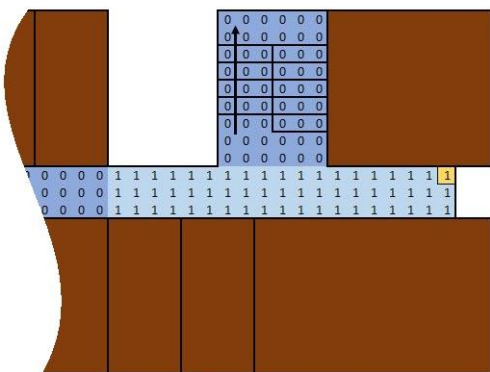
Câmera $r = 15$



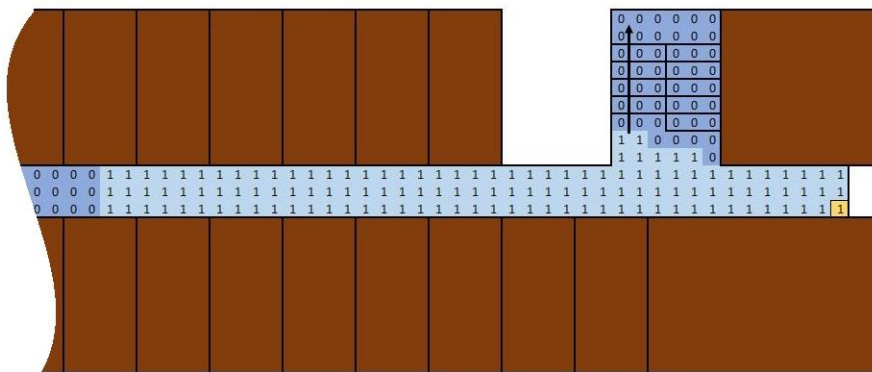
Câmera $r = 16$



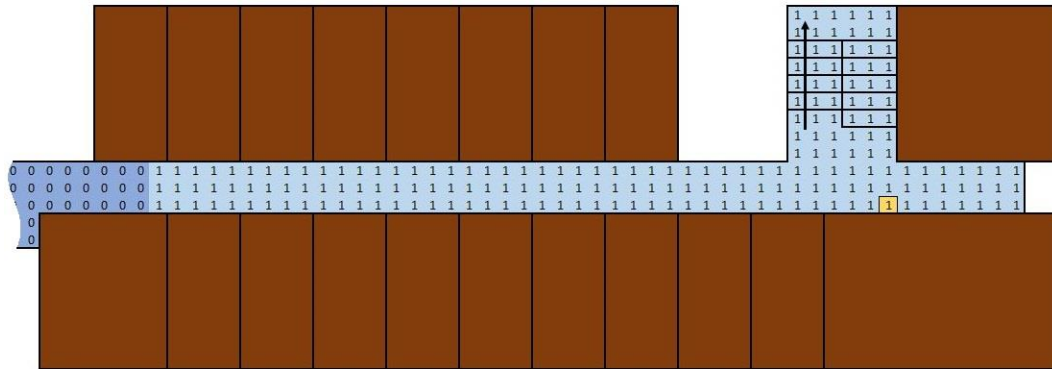
Câmera $r = 17$



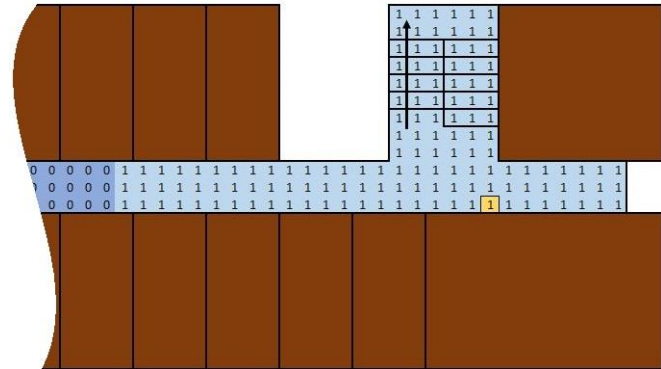
Câmera $r = 18$



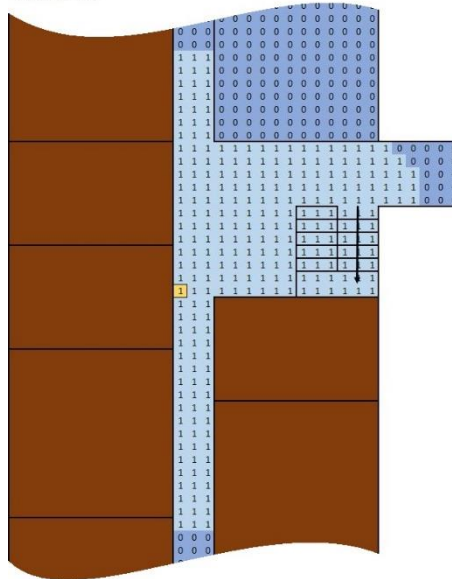
Câmară $r = 19$



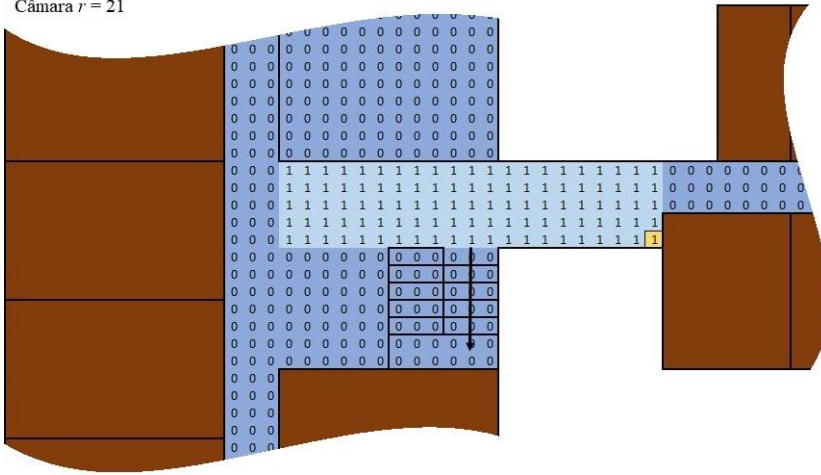
Câmară $r = 20$



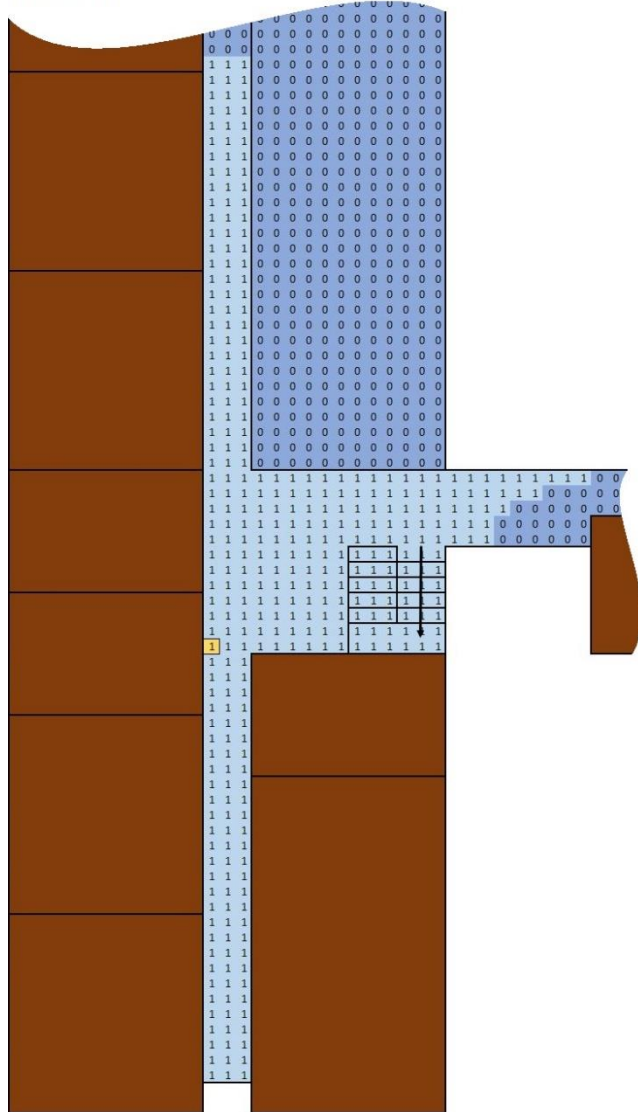
Câmară $r = 22$



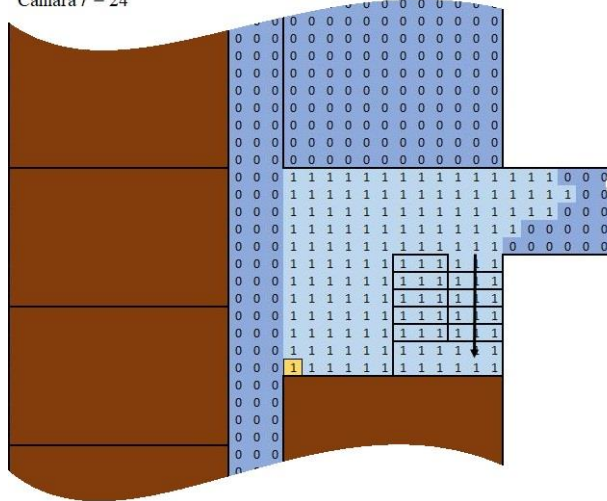
Câmară $r = 21$



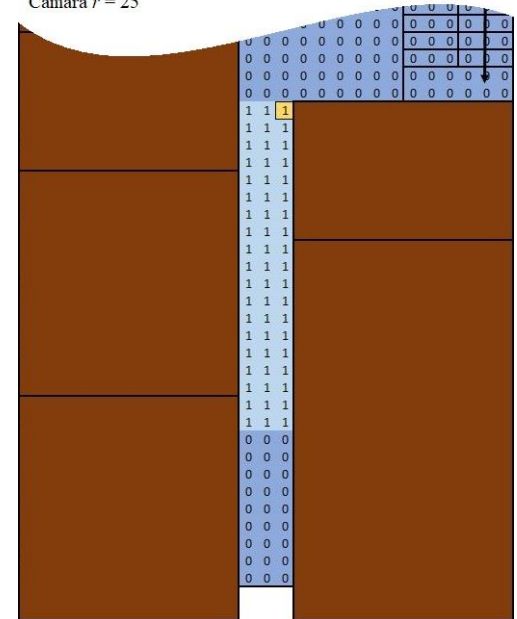
Cămara $r = 23$



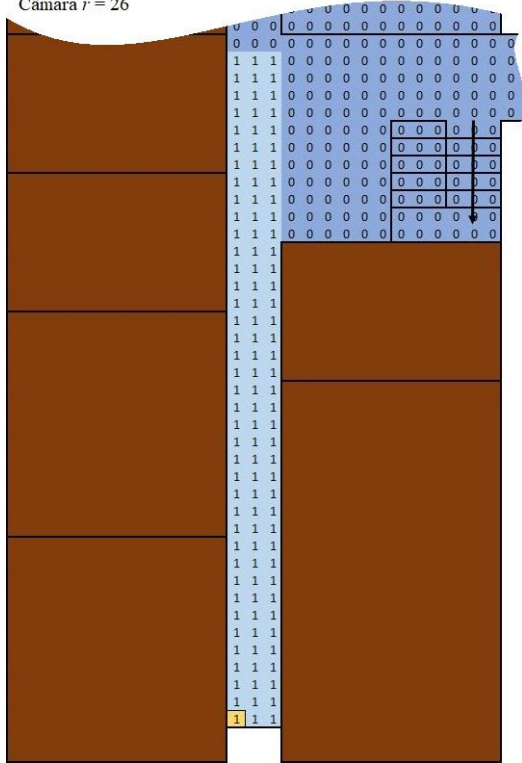
Cămara $r = 24$



Cămara $r = 25$



Cămara $r = 26$



Cămara $r = 27$

