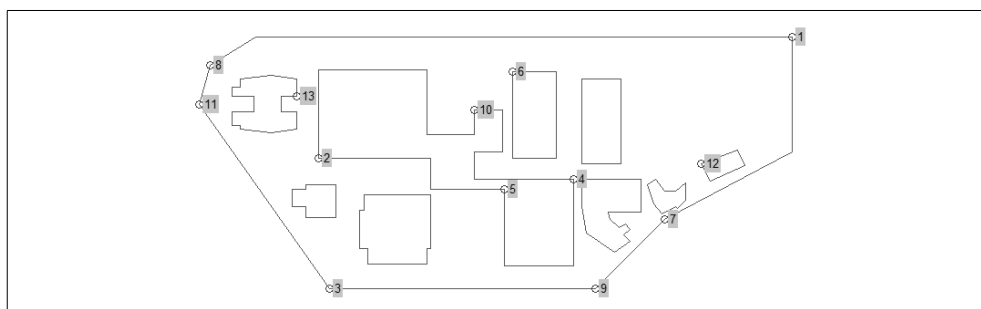


ISEL – INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
ADEETC – ÁREA DEPARTAMENTAL DE ENGENHARIA DE
ELECTRÓNICA E TELECOMUNICAÇÕES E DE COMPUTADORES

MERCM
MESTRADO EM ENG. DE REDES DE COMUNICAÇÃO E MULTIMÉDIA
DISSERTAÇÃO

Optimização do posicionamento de câmaras de vídeo-vigilância



Carlos Aníbal Xavier Nobre (11726)

Orientador

Doutor Paulo Manuel Trigo Cândido da Silva

Juri

Presidente: Doutor Arnaldo Joaquim Castro Abrantes
Arguente: Doutor Pedro Miguel Torres Mendes Jorge

Novembro 2013

Resumo

Um sistema de videovigilância tem o propósito de cobrir visualmente, através da utilização do menor número possível de câmaras, toda uma região sob a sua proteção.

Na indústria de segurança é prática corrente recorrer a métodos baseados na experiência, suportados por ferramentas simples, que servem para a determinação manual do posicionamento dessas câmaras.

A prática tem mostrado que estes métodos não garantem, usualmente, a utilização do menor número de câmaras para uma cobertura visual total.

O teorema das galerias de arte e as suas variantes fornecem um limite superior para o número mínimo de câmaras e prescrevem métodos (que exploram o espaço de relações geométricas) para a definição de soluções para o problema do posicionamento automático das mesmas (por exemplo, restrito aos vértices do polígono que representa a fronteira da região sob vigilância).

Mas é possível encontrar soluções (cobertura visual total de regiões), onde o número de câmaras é inferior ao limite superior, traduzindo-se numa redução de custos na implantação de projetos de videovigilância.

Este trabalho propõe um método, baseado na pesquisa informada em espaço de estados, para otimizar o posicionamento (minimizar o número de câmaras necessárias) para a cobertura total da região sob vigilância.

Os resultados experimentais mostram a possibilidade da redução efetiva do número de câmaras, garantindo uma cobertura visual total, quando comparados, quer com os valores obtidos pelo do teorema das galerias de arte, quer com os resultados práticos levados a cabo por um conjunto de profissionais da área da videovigilância.

Abstract

A video surveillance system is intended to visually cover an entire region under its protection through the use of the smallest possible number of cameras.

In the security industry it is common practice the use of methods based on experience, supported by simple tools to manually define the placement of these cameras.

The art gallery theorem and its variants provide an upper bound on the minimal number of cameras and prescribe methods (that explore the space of geometric relations) to construct solutions for the camera placement problem (e.g., constrained to the vertices of the polygon that represents the border of the region under surveillance).

But, it is possible to find solutions (set of cameras that fully cover the overall region) where the number of cameras is below that upper bound and therefore leading to economical savings in the implantation of surveillance projects.

This work proposes a method, based on the informed state-space search, to optimize (minimize) the number of cameras that are needed to fully cover the region under surveillance.

The experimental results show the possibility of reducing the effective number of cameras, ensuring a complete visual coverage, when compared either with the values obtained by the art gallery theorem or with the practical results carried out by a group of video surveillance professionals.

Agradecimentos

À Anabela, ao André e ao Filipe pela paciência que tiveram ao longo de todo o mestrado para me aturar. Não deve ter sido fácil. Espero poder retribuir o tempo que vos “roubei”.

Ao Prof. Dr. Paulo Trigo por ter aceitado ser meu orientador, neste desafio e por todo o apoio que deu.

Aos meus colegas de trabalho, sobretudo ao Nuno Figueiredo e ao Vasco Nogueira pela ajuda, sempre recheada de sentido crítico.

Ainda um especial agradecimento ao Fernando Figueiredo, Paulo Pádua, António Jesus, Miguel Vasconcelos, Pedro Quitério e João Afonso pela valiosa colaboração no estudo de caso.

”Se não consegue explicar algo de modo simples, é porque não entendeu bem”

”Albert Einstein”

Índice

Resumo	i
Abstract	iii
Agradecimentos	v
Índice	ix
Lista de Tabelas	xi
Lista de Figuras	xiii
Abreviaturas	xvii
1 Introdução	1
2 Trabalhos Relacionados	5
2.1 Indústria de Segurança	5
2.1.1 Ferramentas de Cálculo	7
2.2 Trabalhos de Investigação	12
2.2.1 Teorema das Galerias de Arte	12
2.2.2 Trabalhos Recentes	15
3 Modelo	23
3.1 Procura em Espaços de Estados	24
3.1.1 Caracterização do EE	25
3.1.2 Estratégias de Procura	27
3.2 Algoritmo	29
3.3 Funções de Suporte	30

3.3.1	Polígonos de Visibilidade	30
3.3.2	Triangulação e coloração de Vértices	37
3.3.3	Transformação de PCB em PSB	40
4	Validação e Testes	43
4.1	Ferramentas	43
4.2	Estratégias de procura	46
4.3	Estudo de Caso	50
5	Conclusões e Trabalho Futuro	55
5.1	Conclusões	55
5.2	Trabalhos Futuros	56
A	Anexo I - Poligonos	59
A.0.1	Polígonos Sem Buracos	59
A.0.2	Polígonos Com Buracos	60
A.0.3	Decomposição de Polígonos	61
B	AnexoII - Visibilidade	63
	Bibliografia	65

Lista de Tabelas

2.1	Campos de Visão	8
2.2	Cobertura em Função do Ângulo de Inclinação	10
2.3	TGA e suas variantes - Expressões fundamentais	14
4.1	Resultados previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PSB - Conjunto de teste A - PSB	44
4.2	Resultados previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PCB - Conjunto de teste A	45
4.3	Resultados TGA, tri-coloração para e métodos de procura PSB - Conjunto de Teste A	47
4.4	Resultados TGA, tri-coloração para e métodos de procura PCB - Conjunto de Teste A	48
4.5	Ganhos percentuais em relação ao TGA	49
4.6	Resultados do Estudo de Caso	52

Lista de Figuras

1.1	Modelação em Polígonos	1
1.2	Posicionamento de Câmaras	2
2.1	Relação entre Campo de Visão e Sensor	7
2.2	Exemplos de campos de visão	8
2.3	Ferramenta de cálculo de Lentes	9
2.4	Cobertura horizontal em função do ângulo	9
2.5	Ferramenta de Campos de Visão	11
2.6	Ferramenta PELCO 3D	11
2.7	Exemplo de um polígono onde $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ guardas são necessários	12
2.8	Passos para atribuição de guardas com a tri coloração	15
2.9	Transformação de um PCB num PSB	16
2.10	exemplos dos resultados práticos do método de Amit	17
2.11	Interface do Sistema DOTS	18
2.12	Obteção do Campo de Visão no espaço discretizado	19
2.13	Solução com método de discretização	20
2.14	Estratégias de Discretização	21
3.1	Tipos de Câmaras	24
3.2	Caracterização dos polígonos e dos estados	25
3.3	Operador	26
3.4	Expansão do nó inicial	26
3.5	Expansão do nó 0.3	26
3.6	Criação do polígono de visibilidade de um ponto no interior	31
3.7	Polígono de Visibilidade de um ponto interior	31
3.8	Fronteira Discreta - Resolução 10	32
3.9	Fronteira Discreta - Resolução 100	32

3.10	Polígono Equivalente - zoom	33
3.11	Ponto Interior Equivalente	33
3.12	Criação do polígono de visibilidade de um ponto na fronteira	34
3.13	Polígono de Visibilidade de um ponto na fronteira	34
3.14	Criação do polígono de visibilidade de um ponto no interior num PCB	35
3.15	Polígono de Visibilidade de um ponto interior num PCB	35
3.16	PCB - Poligonos Equivalentes - zoom	36
3.17	PCB - Ponto Interior Equivalente	36
3.18	Criação do polígono de visibilidade de um ponto na fronteira de um PCB	37
3.19	Polígono de Visibilidade de um ponto fronteira de um PCB	37
3.20	Triangulação e Tri-Coloração de polígonos Sem buracos - Exemplo 1	38
3.21	Triangulação e Tri-Coloração de poligonos Sem buracos - Exemplo 2	38
3.22	Falha na Tri-Coloração de PCB	39
3.23	Decomposição de um PCB	40
3.24	Vértices mais próximos	41
3.25	Pontos para a criação do canal	41
3.26	Canal criado	41
3.27	Decomposição de um PCB em PSB	42
4.1	comparação entre os valores previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PSB - Conjunto de teste A - PSB	44
4.2	comparação entre os valores previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PCB - Conjunto de teste A	45
4.3	Posicionamento por Tri-Coloração Exemplo de um PSB - Polígono de Teste 10	46
4.4	Posicionamento por Tri-Coloração Exemplo de um PCB - Polígono de Teste 16	46
4.5	Comparação de Resultados para PSB - Conjunto de Teste A	47
4.6	Comparação de Resultados para PCB - Conjunto de Teste A	48
4.7	Comparação de Resultados Polígonos Aleatórios - Conjunto B	49

4.8	Comparação de Ganhos das estratégias de procura em relação ao TGA	49
4.9	Modelo para o Case Study	50
4.10	Exemplos do Estudo de caso	51
4.11	Calculo através do método proposto - A^* Todos os Vértices . .	52
4.12	Resultados do Estudo de Caso	53
A.1	Curva poligonal fechada simples	59
A.2	Poligono com ângulos reflexos e convexos	60
A.3	tipos de PSB	61
A.4	tipos de PCB	62
A.5	Decomposição de Polígonos	62
B.1	Visibilidade entre pontos: O ponto a vê b, c e d mas não vê e	64
B.2	Região de visibilidade de p num PSB e num PCB	64
B.3	Um caso em que $V(p)$ não é um poligono	64

Abreviaturas

PCB Polígono Com Buracos

PSB Polígono Sem Buracos

EE Espaço de Estados

TGA Teorema das Galerias de Arte

TGAo Teorema das Galerias de Arte Ortogonais

TV Todos os Vértices

TC Tri-Coloração

Capítulo 1

Introdução

A prática corrente para a determinação dos locais de colocação de câmaras de videovigilância é baseada na experiência prática dos profissionais desta indústria. Esta prática leva muitas vezes à utilização de um número incorreto de câmaras, seja por excesso ou por defeito. Por excesso cria redundâncias, originando custos acrescidos de implantação e manutenção. Por defeito cria zonas de não cobertura podendo originar uma falsa sensação de proteção.

A motivação deste trabalho é poder contribuir para definição de uma metodologia que minimize o número de câmaras necessárias num sistema de videovigilância e que ajude os profissionais da área a chegar a resultados mais eficazes no menor período de tempo e que seja independente da experiência que possuam.

O ponto de partida é uma região a proteger, como a da fig. 1.1(a) que deverá ser modulada por um conjunto de polígonos como se ilustra na fig 1.1(b).

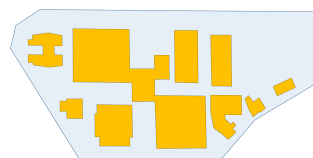
Como resultado da modulação, teremos um polígono com buracos (cf.anexo



(a) Local a Proteger



(b) Modelação com polígonos



(c) Polígono Resultante da Modelação

Figura 1.1: Modelação em Polígonos

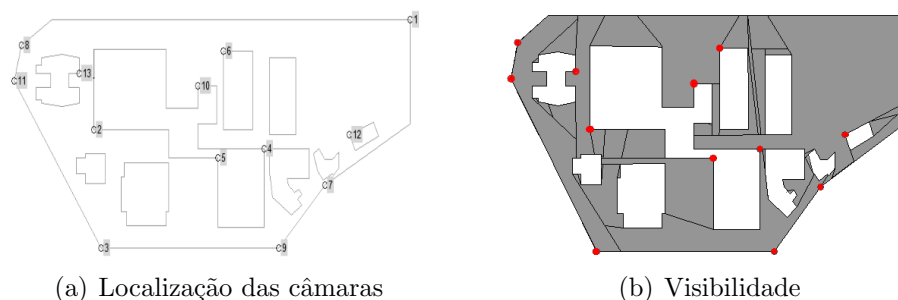


Figura 1.2: Posicionamento de Câmaras

A) representativo da região a proteger (figura 1.1(c)). Este polígono é composto por um polígono maior que representa o perímetro da região a proteger e um conjunto de polígonos no seu interior, denominados buracos, que são os obstáculos à visibilidade, tratando-se neste caso de edifícios.

O objectivo é determinar o menor número de câmaras (fig. 1.2(a)) e o seu posicionamento de modo a garantirem uma solução admissível (a visibilidade total do interior da região a proteger (fig. 1.2(b)))

Este é um tema que se enquadra no Problema das Galerias de Arte, colocado por Victor Klee em 1973 ao perguntar quantos guardas seriam necessários para guardar o interior de uma galeria de arte [O'Rourke, 1987]. Este problema deu origem ao Teorema das Galerias de Arte, onde em 1975 Chvatal enunciou que $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor^1$ guardas são ocasionalmente necessários e sempre suficientes para vigiar uma sala com n -paredes [Chvátal, 1975].

Este teorema e as suas variantes determinam um majorante para o número de câmaras mas não um valor ótimo. O facto de ser um majorante abre a possibilidade para a otimização do número de câmaras.

Este trabalho propõe um método, baseado na pesquisa informada em espaço de estados, para otimizar o posicionamento (minimizar o número de câmaras necessárias) para a cobertura total da região sob vigilância.

Para validar as hipóteses colocadas, foram avaliados comparativamente os resultados obtidos num estudo de caso e os obtidos pelo método proposto neste trabalho

Este documento está organizado em capítulos com o seguinte conteúdo:

Capítulo 1: Introdução - Apresentação da motivação, objectivos, pres-

¹ $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ a parte inteira da divisão de n por 3

supostos do trabalho e formulação das hipótese que se pretendem explorar e quais os critérios de avaliação.

Captítulo 2: Trabalhos Relacionados - Descrição dos trabalhos relacionados usados na investigação para determinar qual o estado da arte relativo a este tema.

Captítulo 3: Modelo - Descrição do modelo escolhido e a sua concretização.

Captítulo 4: Validação e Testes - Apresentação e comparação de resultados.

Captítulo 5: Conclusões e Trabalho Futuro - Conclusões do trabalho, contributos para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Trabalhos Relacionados

Os trabalhos relacionados no campo do posicionamento de câmaras tem seguido dois caminhos distintos. Um relacionando com a indústria da segurança electrónica e outro com origem em trabalhos de investigação.

2.1 Indústria de Segurança

A área da segurança electrónica é um ramo da segurança que lida com diversos sistemas, todos com o objetivo de proteção de pessoas e bens. São considerados sistemas na área da segurança electrónica, os sistemas automáticos de deteção de incêndio e gases, sistemas de alarme de intrusão, sistemas de controlo de acessos e os sistemas de videovigilância. Todos estes sistemas estão normalizados pelo CEN ¹ e CENELEC ² e são enquadrados nas áreas de Safety (Deteção e Incêndios e Gases) e Security (os restantes).

Dentro deste conjunto de sistemas, aquele que tem tido uma evolução maior nos últimos anos é o da videovigilância, especialmente na última década [analysts, 2013].

A videovigilância, também chamada CCTV³, é um sistema que utiliza câmaras de vídeo para a captação de imagem para efeitos de vigilância no âmbito da segurança. Na prática pretende-se que cada câmara funcione como um 'guarda' capaz de visualizar uma determinada área, protegendo-a de ameaças que coloquem em causa a segurança desse local.

¹Comité Europeu de Normalização - www.cen.eu

²Comité Europeu para a Normalização Electrotécnica - www.cenelec.eu

³Closed Circuit TV

Um sistema de videovigilância, é um conjunto desses “guardas” concebido para a obtenção de uma visão total de uma área que se deseja proteger. Para garantir essa visibilidade é necessário, em primeiro lugar, determinar os locais que garantam os melhores campos de visão, de modo a que se possam definir quantas câmaras se devem usar e onde devem ser posicionadas.

Um sistema de videovigilância surge de um projeto de arquitetura onde o projetista de segurança recorre à sua experiência para posicionar as câmaras numa planta representativa da região a proteger. Este posicionamento é feito de uma forma manual, com a ajuda de algumas ferramentas para o cálculo dos campos de visão das câmaras.

É uma prática intuitiva, já que quem elabora o projeto, relaciona uma câmara de videovigilância com o próprio sentido de visão. Não é, por isso, difícil a qualquer um destes profissionais, perante uma planta de arquitetura, colocar-se virtualmente num determinado local e imaginar o que veria a partir desse ponto.

Esta técnica, baseada na experiência e intuição, mesmo com a ajuda das referidas ferramentas, pode não garantir o melhor resultado. No final a região a proteger pode ficar incorrectamente coberta. É normal, perante a mesma região a proteger, surjam soluções muito diferentes em número total de câmaras e no seu posicionamento.

Trata-se de um problema de cobertura visual. Este problema de visibilidade é crítico. E a prática corrente para a determinação dos locais de colocação de câmaras de videovigilância baseada na experiência cria uma deficiente colocação da quantidade de câmaras, seja por excesso seja por defeito. Por excesso origina redundância de visualização e custos acrescido de implantação e manutenção enquanto, por defeito cria zonas de não-cobertura podendo originar uma falsa sensação de protecção.

Como já referido, não é conhecido na indústria nenhuma ferramenta que possa determinar automaticamente quais os melhores locais para posicionar câmaras e que garantam uma cobertura visual total. As ferramentas existentes apenas auxiliam no cálculo de ângulos de visão e mais recentemente dão uma noção em 3D do que a câmara irá ver quando instalada.

2.1.1 Ferramentas de Cálculo

Existem ferramentas de cálculo para a determinação dos campos de visão das câmaras. Estas ferramentas de cálculo são baseadas nas leis da ótica. A mais usual serve para determinar os ângulos de visão. Mais recentemente começaram a surgir formas mais eficazes de calcular a cobertura real de uma câmara para situações,

Ângulos de Visão

Os ângulos de visão de uma câmara derivam das regras da projeção ótica através de uma lente num plano de projeção. Estes ângulos são calculados em função da distancia focal da lente utilizada e do tamanho do plano de projeção, que no caso das câmaras é o sensor. O ângulo vertical θ_v e horizontal θ_h podem ser calculados através das seguintes equações:

$$\theta_h = 2 \times \arctan\left(\frac{w}{2f}\right)$$

$$\theta_v = 2 \times \arctan\left(\frac{h}{2f}\right)$$

onde h e w , são respectivamente a altura e largura do sensor e f a distancia focal da lente.

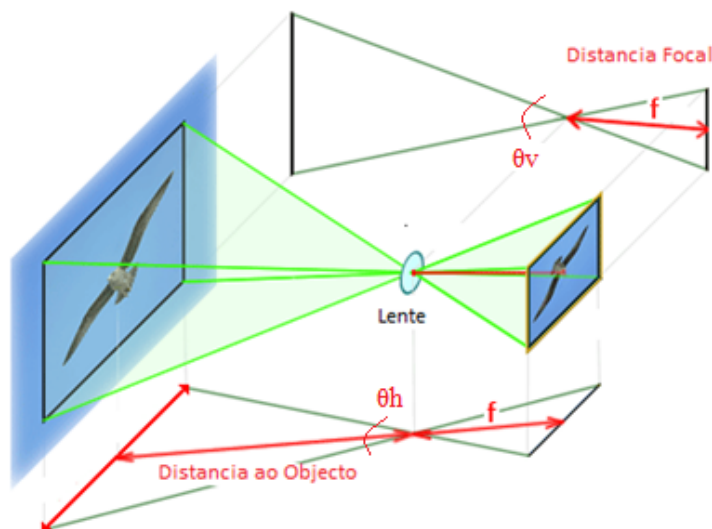


Figura 2.1: Relação entre Campo de Visão e Sensor

Os sensores das câmaras podem apresentar vários rácios entre a altura e largura. Os mais usuais têm um rácio de 4 : 3 ou 16 : 9. A título de exemplo um dos sensores mais comuns é o sensor de 1/3" com um rácio 4 : 3 e tem as seguintes dimensões: $w = 4.8mm$ e $h = 3.6mm$

Com esta formulação podemos obter os ângulos de cobertura de uma câmara. Na tabela 2.1 estão alguns exemplos.

Sensor	f (em mm)	θ_h (em graus)	θ_v (em graus)
1/3	2.8	81	65
1/3	8	33	25
1/3	12	23	17
1/3	16	17	13

Tabela 2.1: Campos de Visão

Para o posicionamento das câmaras, quando se usa esta técnica, é usado o ângulo horizontal θ_h que nos dá a noção de área de cobertura, como ilustrado na figura 2.2

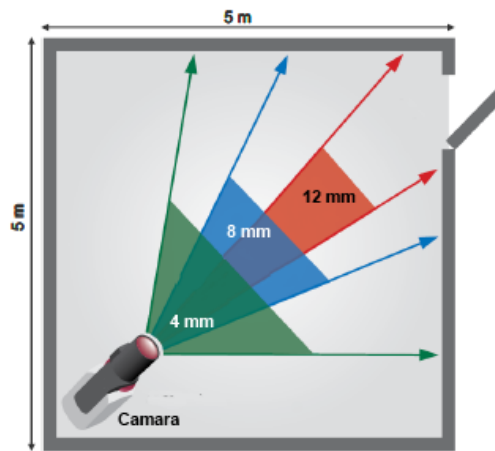


Figura 2.2: Exemplos de campos de visão

Normalmente não se aplicam as fórmulas diretamente para os cálculos mas usam-se ferramentas que os executem. A ferramenta mais conhecida e utilizada é uma régua de cálculo para escolha de lentes e cálculo do campo de visão (figura 2.3(a)).

Com esta régua é possível saber quais os ângulos de visão, vertical e horizontal, dado uma distância focal e um tipo de sensor. Também permite determinar qual a melhor lente a usar para cobrir um determinado ângulo horizontal ou vertical.

Com a massificação dos computadores e da Internet, esta régua foi substituída por programas ou folhas de cálculo disponibilizados pelos fabricantes, já existindo muitos sites com aplicações on-line para esse cálculo(figura 2.3(b)⁴).



(a) Régua de cálculo



(b) Calculador de Lentes

Figura 2.3: Ferramenta de cálculo de Lentes

Cobertura Simples

O cálculo do campo de visão não tem em conta nem a altura nem a inclinação da câmara. Sendo o campo de visão de uma câmara uma pirâmide, a cobertura depende não só do campo de visão, mas também da altura e da inclinação. A cobertura horizontal pode ser calculada por meios geométricos de uma forma simples, intersecando o ângulo vertical com o plano do chão, como mostra a figura 2.4

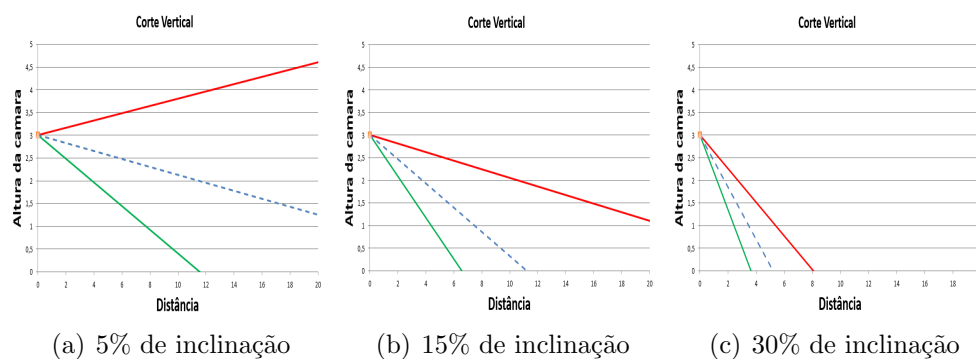


Figura 2.4: Cobertura horizontal em função do ângulo

Dependendo da inclinação da câmara e da sua altura, assim teremos maior ou menor área de cobertura, bem como um maior ou menor ângulo morto a partir

⁴<http://www.cctvlenscalculator.com/>

da vertical da câmara. Na tabela 2.2 estão indicados alguns exemplos, para uma câmara colocada a 3 metros de altura, da cobertura a nível do solo, para 5 inclinações diferentes. Este cálculo pode ser obtido através da simples construção de uma folha de cálculo usando as seguintes fórmulas:

$$d_i(h, \alpha, \theta) = \begin{cases} -h \div \tan(\alpha - \frac{\theta_v}{2}) & \text{se resultado positivo} \\ \infty & \text{se resultado negativo} \end{cases}$$

$$d_f(h, \alpha, \theta) = \begin{cases} -h \div \tan(\alpha + \frac{\theta_v}{2}) & \text{se resultado positivo} \\ \infty & \text{se resultado negativo} \end{cases}$$

Definida a altura de colocação da câmara - h , a cobertura depende da inclinação α da câmara, do tipo de sensor e da distancia focal da lente. A tabela 2.2 ilustra alguns resultados para câmaras com sensores de $1/4''$, com uma lente com distancia focal de 8mm para 4 inclinações diferentes.

Altura da Câmara (m)	3	3	3	3
Inclinação da Câmara (graus)	5	10	15	20
Cobertura horizontal $[d_i, d_f]$ (m)	[11.5, ∞ [[8.4, 407]	[6.6, 31.6]	[5.3, 16.31]

Tabela 2.2: Cobertura em Função do Ângulo de Inclinação

Existem algumas ferramentas que têm em conta o fator inclinação, como aquela indicada na figura 2.5. Esta ferramenta⁵, não gratuita, pode ser obtida através da internet, inclui os cálculos anteriormente indicados e oferece um interface gráfico simples, mostrando as coberturas horizontais e verticais. Na figura 2.5(a) está indicada cobertura vertical com indicação das distancia a partir da qual a o solo é visível e qual a extensão de visibilidade. A figura 2.5(b) mostra-nos outra perspectiva, indicando qual é a zona útil de visibilidade.

⁵<http://www.jvsg.com/ip-video-system-design-tool/>

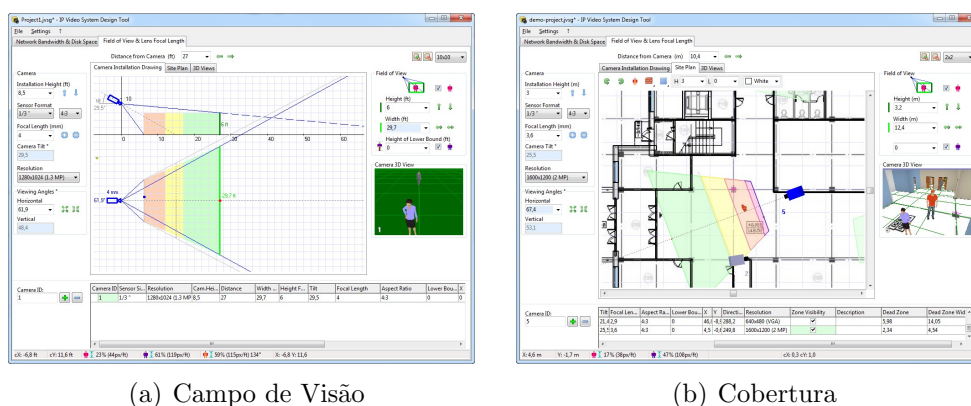


Figura 2.5: Ferramenta de Campos de Visão

Cobertura com obstáculos

As ferramentas e métodos indicados nas secções anteriores, são úteis para ter uma noção mais precisa de qual a visibilidade de uma câmara, mas não tem em conta a eventual existência de obstáculos e quais as sombras ou ângulos mortos que estes criam. Até muito recentemente não se conhecia existência de mais do que as ferramentas e métodos já indicados. No entanto um dos maiores fabricantes mundiais lançou recentemente (2012), um pacote de software que vai um pouco mais longe.

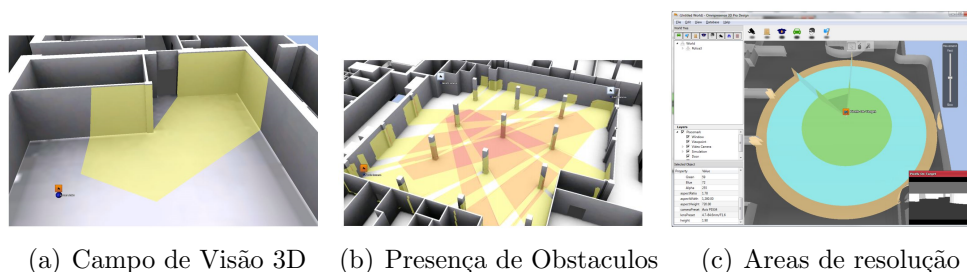


Figura 2.6: Ferramenta PELCO 3D

Esta aplicação chamada *Pelco 3D Design Tool*⁶ é uma ferramenta de apoio a projeto onde o utilizador pode colocar manualmente as câmaras em plantas 3D e verificar não só qual o campo de visão e cobertura, mas também os ângulos mortos criados pelos obstáculos.

No entanto nenhuma das ferramentas anteriores recorre a processo de otimização no posicionamento das câmaras. Cabe sempre ao projetista a escolha dos melhores locais e aferir intuitivamente ou com a ajuda destas ferramentas qual a melhor solução.

⁶<http://www.pelco.com/>

2.2 Trabalhos de Investigação

Ao contrário da indústria, nos meios académicos, as questões relacionadas com a visibilidade e otimização do posicionamento de guardas têm sido bastante estudadas. Estas questões estão normalmente enquadradas na áreas da geometria, especialmente na geometria computacional.

A geometria computacional tem sido o catalisador destes temas desde o final dos anos 70 do século passado. É uma já uma disciplina reconhecida, com uma larga comunidade de investigadores, com um número elevado de conferências e artigos. Este crescimento deve-se à aplicação em diversos domínios - como a computação gráfica, sistemas de informação geográfica, robótica, entre outros, onde os algoritmos geométricos têm um papel fundamental [de Berg et al., 2008].

É uma área vasta, que apesar de ainda não ter sido aproveitada em pleno para apoiar a videovigilância, será de futuro, crucial no desenho de soluções cada vez mais complexas na área da segurança.

A abordagem académica nesta área e no contexto deste trabalho, está cingida apenas nas questões de visibilidade em polígonos e no posicionamento de “guardas” (câmaras de vídeo).

2.2.1 Teorema das Galerias de Arte

Em 1973 Victor Klee, um matemático da Universidade de Washington, colocou, numa conferência em Standford, um interessante problema geométrico: Quantos guardas seriam necessários para guardar o interior de uma galeria de arte [O’Rourke, 1987]. Passado 2 anos Chvatal estabeleceu o Teorema das Galerias de Arte - TGA, onde enunciou que $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ ⁷ são ocasionalmente necessários e sempre suficientes para vigiar uma sala com n paredes [Chvátal, 1975].

Neste contexto, entende por guarda, uma pessoa posicionada num local fixo (guarda estacionário) que tem um ângulo de visualização de 360 graus

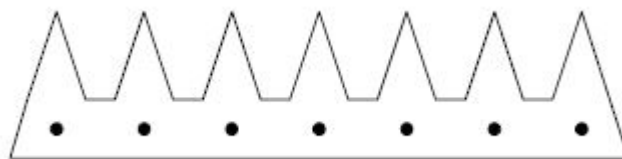


Figura 2.7: Exemplo de um polígono onde $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ guardas são necessários

Este teorema revelou-se muito útil ao tornar-se a base de muitos estudos relacionados com problemas de visibilidade, incluindo robótica, planeamento de movimento, visão, CAD/CAM, reconhecimento de padrões, entre outros [Shermer, 1992].

⁷ $\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$ guardas a parte inteira da divisão de n por 3

Este teorema estabelece um limite superior para a quantidade mínima de guardas necessários. Não define a sua posição nem se são necessários menos que os suficientes. Significa que para um determinado polígono com n lados, a parte inteira da divisão por 3 é número de guardas que garante uma cobertura visual total do interior do polígono, independentemente do seu posicionamento. Mas podem ser menos, como indicado no termo *ocasionalmente*. Podemos afirmar então que o TGA nos dá um majorante para o número de guardas. Ou seja está implícito que pode haver situações onde são necessários menos guardas. Logo pode haver hipótese de otimizar a solução apresentada pelo teorema. A figura 2.7 foi usada por Chvatal para ilustrar a solução. Esta figura tem 21 lados sendo necessários apenas 7 guardas.

Variantes do TGA

Desde logo, o TGA levantou outras questões. Os polígonos considerados no TGA são polígonos simples ou polígonos sem buracos - PSB⁸. Não dá solução a polígonos com buracos - PCB⁹. Para solucionar esta questão surgiram outros dois teoremas, um enunciado por O'Rourke e outro enunciado por Shermer. O primeiro enunciou que $\lfloor \frac{n+2h}{3} \rfloor$ guardas são suficientes e o segundo enunciou que $\lfloor \frac{n+h}{3} \rfloor$ guardas são ocasionalmente necessários [O'Rourke, 1987]. Esta diferença entre necessidade e suficiência revelou que este problema não era de fácil resolução.

O polígonos podem tomar enúmeras formas. Uma das subclasse de polígonos considerada importante são os polígonos ortogonais. Têm a particularidade ter as suas arestas paralelas a um sistemas de coordenadas ortogonais. O Teorema das Galerias de Arte Ortogonais - TGAo, foi enunciado e provado em 1980 por Kahn, Klawe, and Kleitman [O'Rourke, 1987], no livro cujo o titulo é elucidativo: "*As Galerias de arte tradicionais necessitam de menos guardas*". Este conceito baseia-se na constatação do facto que as galerias de arte são normalmente regiões que podem ser moduladas por polígonos ortogonais. A prova, feita através de quadriláteros convexos, levou a uma formulação particular para este caso. O TGAo enuncia que $\lfloor \frac{n}{4} \rfloor$ ¹⁰ são ocasionalmente necessários e sempre suficientes para vigiar uma galeria de arte com n paredes ortogonais.

Também para polígonos ortogonais foi proposta uma generalização que incluisse polígonos ortogonais com buracos. No seu livro [O'Rourke, 1987] conjecturou que seriam necessários $\lfloor \frac{n+h}{4} \rfloor$ guardas colocados nos vértices para cobrir qualquer polígono ortogonal com n lados e h buracos. Também neste caso, esta formulação não estabelece o número de guardas suficientes. Aqui O'Rourke estabelece que são suficientes $\lfloor \frac{n+2h}{4} \rfloor$ guardas para guardar um polígono ortogonal com n vértices e h buracos.

Existem mais variantes sobre o TGA (importantes em computação gráfica) mas

⁸ver anexo A

⁹ver anexo A

¹⁰ $\lfloor \frac{n}{4} \rfloor$ guardas a parte inteira da divisão de n por 4

que não são incluídos neste trabalho, como por exemplo os grafos de visibilidade, para definição dos caminhos mais curtos a percorrer dentro de um polígono, úteis para sistemas de robótica ou, mais simplesmente, para definição de rondas de guardas. Mas estes são temas fora do contexto deste trabalho

Podemos resumir as expressões fundamentais do TGA e das variantes usadas neste trabalho na tabela 2.3

	PSB	PCB Necessários	PCB suficientes
Polígono Arbitrário	$\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$	$\lfloor \frac{n+h}{3} \rfloor$	$\lfloor \frac{n+2h}{3} \rfloor$
Polígono Ortogonal	$\lfloor \frac{n}{4} \rfloor$	$\lfloor \frac{n+h}{4} \rfloor$	$\lfloor \frac{n+2h}{4} \rfloor$

n - número de lados dos polígonos

h - número de buracos

Tabela 2.3: TGA e suas variantes - Expressões fundamentais

Posicionamento dos Guardas

O TGA, bem como as suas variantes dão-nos a quantidade de guardas mas não onde devem ser colocados. Na verdade, como estão enunciados, o local não importa desde que estejam contidos no interior polígono e não no seu exterior ou dentro dos buracos.

Mas de um ponto de vista prático interessa-nos saber onde devem ser colocados. Pode-se correr o risco de os colocar em locais onde não garantam uma solução admissível (considerando que uma solução admissível é a visibilidade total do interior do polígono). Por exemplo, se na figura 2.7 os guardas fossem colocados no picos dos triângulos, seriam necessários 8 guardas em vez de 7 como previsto pelo teorema.

Para provar o TGA, [Fisk, 1978] utilizou o método de Tri-Coloração (TC) dos vértices dos triângulos resultantes da triangulação de um PSB.

Prova de Fisk :

1. Fazer a triangulação do polígono - fig: 2.8 (b)
2. A cada vértice de cada triângulo resultante atribuir uma de 3 cores diferentes, de modo as cores não fossem repetidas em cada triângulo - fig: 2.8 (c)
3. Escolher os vértices cuja cor fosse a menos repetida - fig: 2.8 (d)

Esta prova demonstrou que o número de vértices obtidos com a cor menos repetida cumpria o TGA. Ao colocar guardas nesses vértices obtém-se a visibilidade total do interior do polígono.

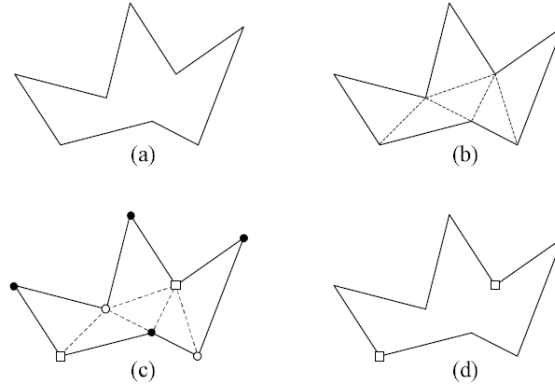


Figura 2.8: Passos para atribuição de guardas com a tri coloração

Este método é eficaz para PSB mas não pode ser usado em PCB. Embora um PCB possa ser triangulado, a prova de Fisk falha. Não é possível a tri-coloração dos vértices obtidos, porque ao aplicar este método irão aparecer vértices, aos quais podem ser atribuídos mais que uma cor.

Para resolver esta questão, um dos métodos propostos, é o da transformação de um PCB num PSB feito por [Bjorling-Sachs e Souvaine, 1995], através da criação de canais entre os diversos polígonos que compõem PCB.

Estes canais ligam os polígonos interiores (buracos) entre si ou com o polígono exterior (figuras 2.9(a) e 2.9(b)). Estes canais deverão ser quadriláteros convexos, de modo criarem um único vértice extra e que só necessitem de um único guarda para a sua cobertura. Depois de criados, os quadriláteros são retirados do PCB criando um PSB com estes espaços em vazio. Sobre este novo PSB pode ser aplicado o método Fisk de tri-coloração (figuras 2.9(c) e 2.9(d)). Caso seja necessário é colocado um guarda num dos vértices novos criados (no exemplo, foi aplicado um guarda no vértice extra criado pelo canal 1).

No entanto este método não garante a colocação dos guardas apenas nos vértices. Existe a possibilidade da colocação de guardas nas arestas.

2.2.2 Trabalhos Recentes

O TGA e as suas variantes não indicam caminhos para a obtenção de soluções ótimas. Trabalhos mais recentes, usando o TGA como base, procuram encon-

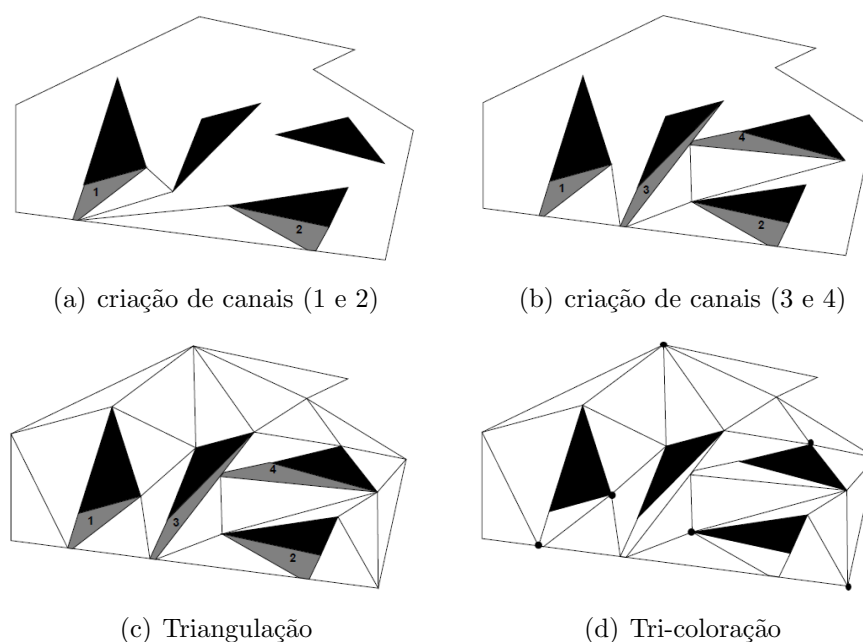


Figura 2.9: Transformação de um PCB num PSB

trar estratégias para a criação de algoritmos visando a obtenção automática do posicionamento ótimo de guardas. Mais recentemente começam a aparecer trabalhos onde os guardas já são substituídos por câmaras de videovigilância incluindo limitações no campo de visão e tendo em conta a degradação da resolução da imagem com distância.

Para ilustrar este conjunto de trabalhos selecionaram-se as seguintes abordagens.

- **Contínuo/Geométrico** - Cobertura total através de técnicas geométricas em espaço contínuo 2D, onde cada guarda/câmara tem a capacidade de visualização de 360° e sem degradação com a distância.
- **Discretização** - Cobertura total através de técnicas de discretização do espaço 2D, onde cada guarda/câmara tem a capacidade de visualização de 360° , mas tendo em conta a degradação com a distância.

Contínuo / Geométrico

[?] fazem uma abordagem heurística usando o espaço contínuo. O contributo deste trabalho é apresentar uma avaliação de resultados, provenientes da aplicação de diferentes heurísticas. Aqui não são referidas câmaras, mas usado o termo

“guardas”. Na referência a este estudo mantemos essa regra. Os guardas são por definição os mesmos do TGA.

Este estudo é baseado na decomposição de polígonos simples em sub-polígonos convexos. Cada sub-polígono é representado por um ponto/guarda que garante a visibilidade de todo o seu interior. A escolha destes pontos é feita segundo 3 critérios diferentes:

- Centros de massa dos sub-polígonos obtidos por partição por extensão de arestas e grafos de visibilidade.
- Centros de massa dos sub-polígonos obtidos por triangulação e transformados em polígonos “star-shape” por retirada de diagonais.
- Vértices que não sejam visíveis entre si.

Cada critério gera um conjunto de guardas/sub-polígonos, que são ordenados de acordo com determinada heurística. Entre as heurísticas usadas incluem-se: a atribuição de pesos a cada guarda em função da área que cobrem; quantos guardas cada guarda vê; entre outras. Após esta fase é aplicado um ciclo de uniões geométricas sucessivas dos sub-polígonos até se obter o polígono original. O objetivo é encontrar o conjunto que tenha o menor número de pontos.

Estes autores concluem que algumas das heurísticas propostas conseguem otimizar a colocação de guardas. Embora não o digam explicitamente, os valores obtidos em termos de quantidades de guardas, estão dentro dos valores preconizados pelo TGA. No entanto e como se pode ver na figura 2.10, os guardas (representados por pontos) podem ser colocados em qualquer local no interior do polígono.

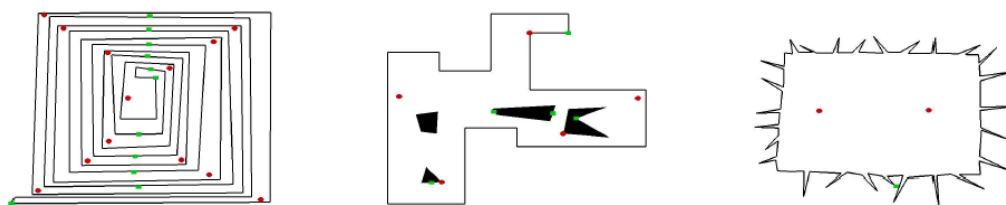


Figura 2.10: exemplos dos resultados práticos do método de Amit

Existem outras publicações que abordam a colocação de câmaras através ferramentas geométricas. A ferramenta descrita por [Rieffel et al., 2007], aplicada ao rastreo dinâmico de objectos (DOTS - Dynamic Object Tracking System) foi

criada e é usada pelos laboratórios de Palo Alto, na Califórnia. Este sistema é usado para o tratamento de vídeo a partir de gravadores de rede NVR (network video recorder) onde é feita análise de vídeo de cerca de 20 câmaras. Na figura 2.11 podemos ver o aspeto do interface com o utilizador. O sistema não coloca automaticamente as câmaras, mas usado para aferir e calibrar as melhores posições. Tal como pelco 3D design tool, já descrito.

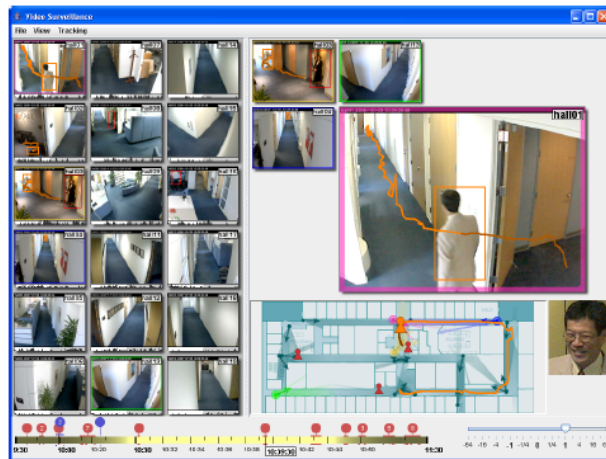


Figura 2.11: Interface do Sistema DOTS

Trata-se de uma aplicação não comercial mais dedicado ao estudo da análise de movimento e rastreo de pessoas.

Discretização

Em 2004 [Erdem e Sclaroff, 2004] propôs um método para otimização da colocação de câmaras tendo em conta as tarefas a que se destinam e os custos associados. Introduz uma noção mais realista, ao impor limitações às câmaras que não são previstas em outros estudos baseados nos guardas do TGA. As noções de campo de visão, resolução e profundidade de campo são tidas em conta no posicionamento. Chega inclusive a referir os tipos que câmaras que se usam na indústria, como câmaras fixas, câmaras PTZ e câmaras omnidirecionais.

O método é composto por duas partes:

1. determinação da área de visibilidade de cada câmara
2. determinação das melhores localizações

A determinação da área de visibilidade tem em conta as limitações impostas de campo de visão e resolução. Em vez de ser usado um espaço contínuo, este é discretizando numa grelha como ilustrado na figura 2.12

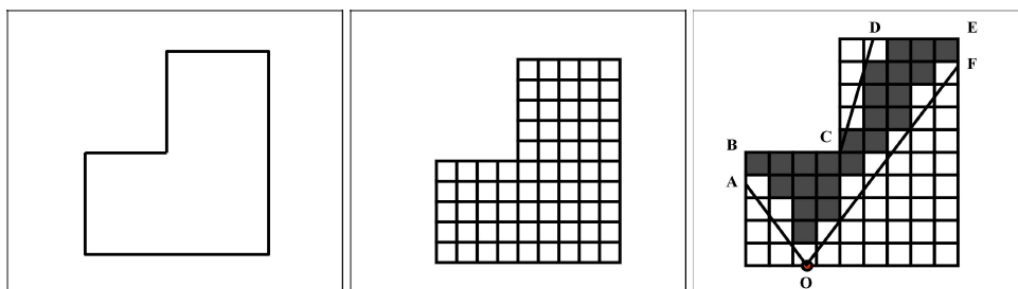


Figura 2.12: Obteccção do Campo de Visão no espaço discretizado

A escolha da grelha de discretização varia em função da resolução definida nos parâmetros iniciais do problema. Para obter a grelha de visibilidade têm que se ter em conta uma função de custo. Esta função determina qual o custo envolvido, que pode ser o preço das câmaras, largura de banda utilizada por cada uma, consumo, entre outros.

Com a função de custo definida, são escolhidas as câmaras e determina-se a grelha de visibilidade de cada uma. O posicionamento das câmaras é efetuado através de algoritmos de otimização para ambientes discretos.

No caso foi usado o método *Branch-and-bound* [Wolsey, 1998]. O objectivo foi garantir que todo o espaço seria visível com o mínimo de sobreposições possíveis. Este estudo propôs dois problemas para uma avaliação experimental, variando a função de custo no parâmetro resolução. No primeiro caso a resolução necessária era constante em toda a área (figura 2.13(a)) e no segundo caso foram impostos locais onde a resolução era maior (figura 2.13(b))

As conclusões obtidas revelam que esta pode ser uma solução para a otimização da colocação de câmaras tendo em conta funções de custo realistas, não só devido às limitações inerentes ao tipo de câmaras equipamentos, mas também associados ao orçamento disponível e à localização. No entanto o mais surpreendente neste trabalho foi intenção que a longo prazo um dos objetivos seria usar um método semelhante mas em espaço contínuo.

Por outro lado [Couto et al., 2009] usam uma abordagem de discretização do interior do polígono, para determinação do posicionamento ótimo de câmaras.

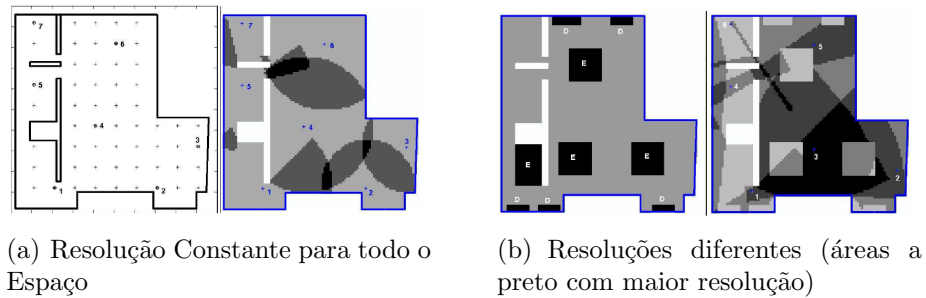


Figura 2.13: Solução com método de discretização

Mas neste caso não existe a preocupação de usar funções de custo nem se tem em conta a limitação visual das câmaras. O foco é a definição de estratégias para qualquer polígono simples e sem buracos, independentemente do número de lados.

A técnica usada consiste na transformação do polígono P num conjunto finito de pontos $D(P)$ de modo a possa ser tratado como um caso clássico de cobertura de conjuntos (SCP Set Cover Problem), através de programação inteira (IP - Integer programming). Com este processo pode-se minimizar o conjunto que contem todos os vértices de $D(P)$ que garantam a visibilidade total do interior do polígono.

Os autores deste trabalho dividem o processo em duas fases: a fase de pré processamento e a fase da solução. Na fase do pré-processamento determinam os polígonos de visibilidade dos vértices, em seguida aplicam um método de discretização e finalmente determinam o modelo adequado da programação inteira.

Na segunda a fase aplicam sucessivamente o algoritmo SCP para resolver as instâncias IP até que esteja garantida toda cobertura do espaço. Para isso testaram 4 estratégias de discretização e mediram os tempos necessários para obterem o resultado. A primeira uma grelha regular, a segunda uma grelha induzida por vértices convexos, a terceira usando apenas os vértices e a quarta usam, aquilo que chamam polígonos atómicos, através dos seus centros de massa. Estes polígonos atómicos são polígonos, que seja qual for o ponto escolhido, garantem sempre a visibilidade total.

Não é indicado se os resultados obtidos estão dentro dos valores definidos pelo TGA. Também apenas aplicam este método em polígonos sem buracos, genéricos [Couto et al., 2009] e ortogonais [Couto et al., 2008].

Os autores concluíram que apesar de terem obtidos resultados correctos e que a estratégia de discretização mais adequada era a de apenas utilizar os vértices, o

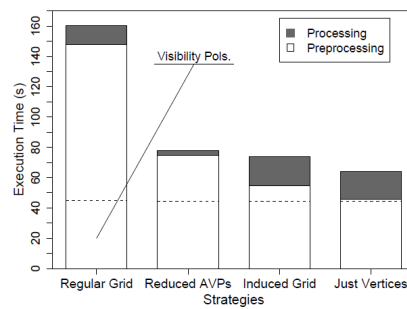


Figura 2.14: Estratégias de Discretização

factor mais penalizador era o pré-processamento, podendo colocar em causa todo o processo, em situações de polígonos com um elevado número de lados (figura 2.14).

Capítulo 3

Modelo

Como já referido, a motivação que levou a este trabalho derivou da dificuldade sentida no dia-a-dia, por parte dos profissionais da indústria de segurança na escolha de locais para posicionamento de câmaras que garantissem a menor quantidade possível, mas que cobrissem toda a região sob vigilância. Neste sentido o modelo parte dos seguintes pressupostos:

1. A região a proteger pode ser modulada por um conjunto de polígonos.
2. Apenas são consideradas regiões bi-dimensionais.
3. Os locais passíveis de posicionar as câmaras são os vértices dos polígonos
4. A câmaras podem funcionar como guardas, tendo a capacidade de visão de 360° em seu redor

Os pontos 1 e 2 dos pressupostos estão relacionados com a base de projeto normalmente utilizada: plantas de arquitetura. O pressuposto 3 deriva de uma questão prática e usual na instalação de sistemas de videovigilância. Normalmente não é possível a colocação de câmaras arbitrariamente no interior dos polígonos. Os locais mais habituais e de mais fácil instalação são normalmente os vértices dos polígonos que coincidem com cantos de edifícios ou de perímetros, onde já existe uma infraestrutura de eletricidade. Por fim o quarto pressuposto é uma simplificação sustentada por soluções tecnológicas existentes. Podem ser usados vários tipos de câmara que o garantam esta simplificação, seja através do uso de câmaras PTZ (figura 3.1(b) ¹) seja através do uso de câmaras 360 (figura 3.1(a) ²) ou ainda um conjunto de câmaras que satisfaça o campo de visão desejado (figura 3.1(c) ³).

¹www.utsfireandsecurityproducts.eu

²http://www.mobotix.com/por_PT/content/view/full/25611

³<http://www.mirassecurity.co.uk/cctv/>



Figura 3.1: Tipos de Câmaras

Poderão existir casos particulares em que o modelo aqui definido não seja totalmente eficaz, seja devido a distâncias de cobertura seja devido a questões de resolução. Nestes casos o problema deverá ser subdividido em problemas mais pequenos onde se possa aplicar o modelo.

No final será o fator humano o responsável pela melhor escolha. Mas pretende-se com este modelo, que esse tipo de decisão parta de um patamar mais avançado de modo poupar tempo na decisão da escolha dos melhores locais para colocação das câmaras.

Através do estudo dos trabalhos relacionados foi encontrada uma sustentação teórica, o TGA e as suas variantes, que permitiu antever a possibilidade de criação de processos automáticos para a escolha dos locais para o posicionamento de câmaras. Mas rapidamente se constatou que as soluções geradas a partir do TGA e das suas variantes poderiam ser otimizadas. Essa confirmação surgiu através da análise de alguns trabalhos mais recentes.

Na realidade e chegados a este ponto, ficou claro que poderia existir um outro caminho viável, através de uma fundamentação baseada numa abstração consistente com os pressupostos. Esta abstração é utilizada para que se possam ignorar os inúmeros detalhes que não contribuem para o problema e criar uma focagem apenas no âmbito dos pontos relevantes para a solução que queremos encontrar.

3.1 Procura em Espaços de Estados

Sendo o mundo uma realidade muito complexa e difícil de modelar, o Espaço de Estados - EE tenta, através de uma aproximação por abstração, a representação

desse mundo. Assim, o mundo é constituído por uma série de estados ligados por transições. As transições representam os caminhos possíveis para passar de um estado para outro. Ao modelar-mos o mundo, onde se encontra o nosso problema (e possivelmente a solução) em estados e transições, existem um conjunto de mecanismos que permitem alcançar a solução para o problema. Os problemas têm um início (estado inicial), um objetivo (estado final) e uma solução (percurso entre o estado inicial e estado final).

O objetivo é encontrar a melhor solução quando somos colocados perante um problema. Mas um espaço de estados pode ter uma complexidade tal, que poderá ser infinita. Também poderemos não ter todo o conhecimento à partida do espaço de estados. Normalmente, apenas sabemos o estado inicial e o estado final.

3.1.1 Caracterização do EE

Para caracterizar o espaço de estados, é necessário definir o que é um estado e quais os operadores de transição de estado.

Dado um determinado polígono, definido pelos seus vértices (fig 3.2(a)), partimos de um estado inicial, um polígono de visibilidade nula (fig 3.2(b)) e queremos chegar a um estado final, um polígono de visibilidade igual ao próprio polígono (fig 3.2(c))

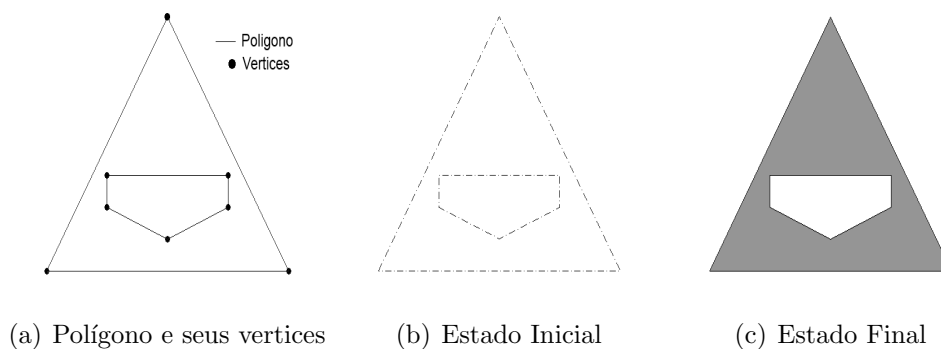


Figura 3.2: Caracterização dos polígonos e dos estados

O estado inicial corresponde o nó inicial. A procura será feita em árvore por expansão dos nós existentes na fronteira de exploração. A expansão de cada nó é feita por aplicação do operador a esse mesmo nó. Os nós sucessores surgem da operação das diversas ações do operador sobre o estado do nó pai. O operador

é constituído por um conjunto de polígonos de visibilidade (fig. 3.3) juntamente com a união geométrica de polígonos.

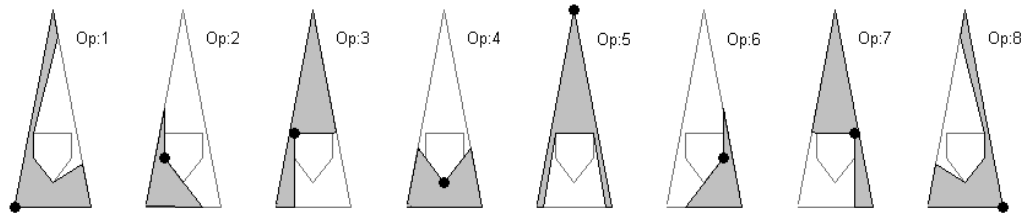


Figura 3.3: Operador

Por exemplo, ao aplicarmos o operador ao nó inicial, cujo estado é um polígono vazio (fig 3.2(b)), obtêm, para este caso oito nós sucessores representados na figura 3.4

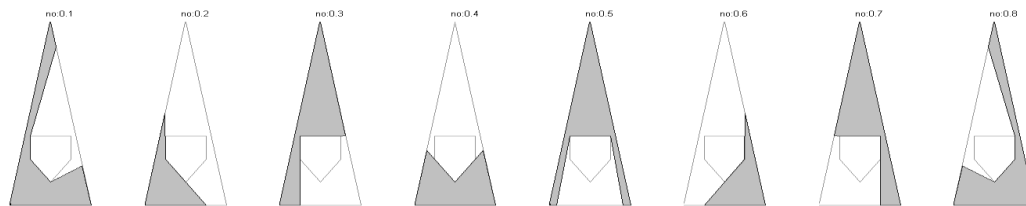


Figura 3.4: Expansão do nó inicial

Seguindo o exemplo, se aplicarmos o operador para expandir o nó 0.3 (fig 3.5) obtemos o conjunto de nós sucessores indicados na figura

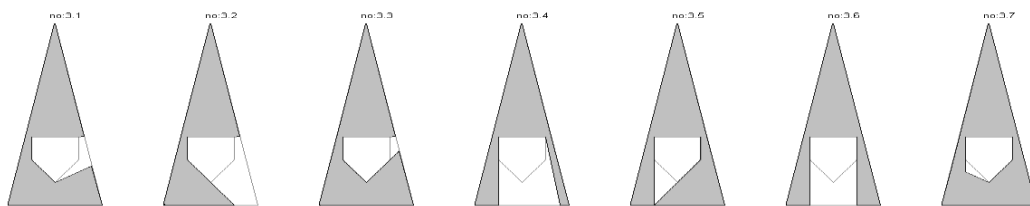


Figura 3.5: Expansão do nó 0.3

O operador não devolve nós cujo polígono seja igual ao polígono de visibilidade do nó pai, ou seja polígonos cujo resultado da união geométrica sejam iguais a eles próprios. Todos os nós expandidos e não explorados serão colocados na fronteira de exploração, que será utilizada de acordo com a estratégia de procura.

3.1.2 Estratégias de Procura

A obtenção de uma solução tem sempre um custo associado, seja ela um custo temporal ou espacial. Um solução que demore muito tempo a encontrar poderá não ser viável, ou uma solução que necessite de muitos recursos poderá não ser encontrada por falta dos mesmos. É por isso necessário encontrar a melhor estratégia.

A estratégia a implementar também depende do conhecimento do âmbito do problema. Podemos ter procuras não informadas, onde não se tira partido do conhecimento do domínio do problema para ordenar a fronteira de exploração, ou procuras informadas que tiram partido do conhecimento do domínio do problema, como a avaliação de estado e custos, para melhor ordenarem a fronteira de exploração e otimizarem a procura.

No presente caso estamos perante a possibilidade de aplicar procuras informadas, pois temos bastante conhecimento do domínio do problema. O modelo proposto pretende que a estratégia de procura informada seja completa e ótima ou seja:

- Ser completo - O método de procura garante que, caso exista solução, esta será encontrada
- Ser ótimo - O método de procura garante que, existindo várias soluções, a solução encontrada é a melhor

Designam-se por mecanismos de procura Informada as estratégias de exploração do EE (controlo da procura) que tiram partido do conhecimento do domínio do problema para ordenar a fronteira de exploração. Nas procuras informadas é utilizada uma função de avaliação $f(n)$ que pode ser representada da seguinte forma:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Onde:

- n é o nó actual
- $g(n)$ é o custo acumulado desde o nó inicial
- $h(n)$ é o custo estimado do nó n até ao nó objectivo
- $f(n)$ é a função de avaliação que representa o custo total

Assim, é necessário atribuir um custo a cada percurso e em cada nó da fronteira de exploração calcular qual o valor com um custo total mais baixo para que seja esse o escolhido como nó sucessor.

Para as procuras informadas, a fronteira de exploração é ordenada por ordem crescente dos valores de $f(n)$. Utilizando esta estratégia podemos escolher várias opções.

Custo Uniforme

A procura com Custo Uniforme só tem em conta o custo acumulado o que significa que é uma procura informada mas cega, por não ter em conta ou não conhecer nenhuma estimativa em relação ao objectivo. A função de avaliação apenas considera o percurso efectuado. O valor da função $g(n)$ indica o ganho de área do polígono de visibilidade do até ao nó actual.

$$g(n) = \text{area}(Pv_n)$$

$$h(n) = 0$$

Todos os nós expandidos são colocados na fronteira de exploração. sempre que é colocado um novo nó na fronteira de exploração, esta é reordenada pelo valor decrescente de $g(n)$.

Sôfrega

No caso da procura sôfrega apenas se considera a estimativa até ao objetivo. Esta procura é considerada uma análise local, porque não tem em conta o caminho percorrido. A heurística estabelecida é otimista contando com a área do polígono de visibilidade do nó actual e fazendo a diferença para a área do polígono de visibilidade total mais um δ . Este δ indica em percentagem o “otimismo” da contribuição do nó para o estado final.

$$h(n) = \text{area}(P_{vtotal} - Pv_n) * (1 + \delta)$$

$$g(n) = 0$$

Numa heurística admissível o valor de $h(n)$ será sempre igual ou inferior ao custo efectivo do nó pai n^* (até ao nó objectivo, sendo que no nó objectivo o seu valor é igual a zero.

$$0 \leq h(n) \leq h(n^*)$$

Para garantir uma heurística admissível, só são colocados na fronteira de exploração o nós que cumpram esse requisito. sempre que é colocado um novo nó na fronteira de exploração, esta é reordenada pelo valor crescente de $h(n)$.

A*

Neste mecanismo de procura pretende-se encontrar o caminho óptimo e para isso, em cada nó, além de se utilizar a estimativa até ao nó objectivo, conta-se com o percurso percorrido até ao nó n .

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Mas este método por si só não garante que o caminho seja óptimo. É necessário que a heurística além de admissível seja consistente. Ou seja, o valor obtido pela heurística escolhida deverá ser sempre menor ou igual a qualquer outro anteriormente escolhido.

Deve-se sempre escolher um caminho tal que a função de avaliação nunca diminua ao longo do caminho (se diminuísse estávamos perante um caminho melhor que deveria ter sido explorado anteriormente).

Heurística Consistente Para cada nó, n , o seu sucessor n' e custo da transição

$$c(n, n') : h(n) \leq c(n, n') + h(n')$$

Para isso, devem-se manter em memória os nós já abertos e verificar se o nó sucessor poderia ter sido atingido por outro caminho. Se for esse o caso, significa que o nó sucessor já foi aberto e pode ser atingido por um caminho mais curto e que deve ser explorado novamente. Este método garante a menor expansão de nós num percurso, obtendo-se um caminho óptimo e completo mas não resolvendo o problema da complexidade combinatória por obrigar a manter em memória os nós entretanto já abertos.

3.2 Algoritmo

O algoritmo utilizado é baseado nos algoritmos clássicos de procura em árvore, com as funções de custo e estratégias indicadas em 3.1.2. Antes da procura ser efetuada existe uma fase de pré-processamento para a determinação do operador a usar na procura. Neste fase são calculados os polígonos de visibilidade (através dos algoritmos descritos na secção 3.3.1, que determinam as ações do operador,

conforme já descrito. O número de ações do operador depende do número de vértices considerados.

Existem duas opções para o cálculo do número de vértices a usar para determinar o operador: todos os vértices - TV ou um conjunto mínimo garantido de vértices. O conjunto mínimo garantido de vértices é baseado no TGA e recorrendo às ferramentas do TGA descritas em 2.2.1, nomeadamente a tri-coloração e transformação de PCB em PSB.

3.3 Funções de Suporte

Esta secção serve para a descrição das funções de suporte ao algoritmo, que foram criadas no âmbito deste trabalho.

3.3.1 Polígonos de Visibilidade

A determinação da visibilidade a partir de um determinado ponto p do polígono P gera um novo polígono a que se chamou polígono de visibilidade P_v . Este polígono tem algumas características próprias. Contem arestas ou parte de arestas do polígono P , o que significa que os pontos que o definem não serão todos coincidentes com os de P . Normalmente são gerados novos pontos que estão contidos nas arestas de P . No entanto trata-se sempre de um polígono simples que pode ou não ser convexo.

O ponto para determinação da visibilidade estará sempre no interior ou na fronteira de P . Qualquer outro ponto não irá gerar nenhum polígono de visibilidade.

A técnica usada foi a de varrimento circular, com centro no ponto em que se deseja calcular o polígono de visibilidade, através de uma linha de visão definido por uma semi-recta com origem em p . Através de um varrimento de 360 graus em torno de p , o novo polígono de visibilidade será originado a partir das intersecções da semi-recta com as arestas de P , como ilustra a figura 3.6(a)

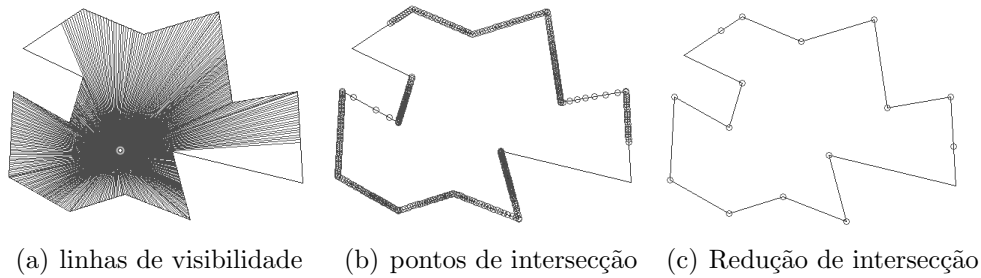


Figura 3.6: Criação do polígono de visibilidade de um ponto no interior

Depois de determinados os pontos de intersecção, como indicado na figura 3.6(b) é feita a redução de densidade de pontos repetidos na mesma aresta de modo a restarem apenas os pontos principais que definam o início e fim das arestas pertencentes ao polígono de visibilidade, como indicado na figura 3.6(c).

A partir destes pontos principais é criado o polígono de visibilidade, como indicado na figura 3.7

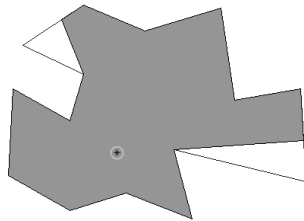


Figura 3.7: Polígono de Visibilidade de um ponto interior

A linhas de visão são determinadas criando uma fronteira discreta rectangular que contem o polígono e unindo o ponto p a cada um dos pontos da fronteira discreta. Os pontos de intersecção são os primeiros pontos a partir de p que intersectam as arestas de P . A resolução desta discretização é fundamental para determinar a precisão das linhas de visibilidade.

A resolução horizontal e vertical é calculada através das equações

$$rx = (maxX - minX)/resol$$

$$ry = (maxY - minY)/resol$$

onde $maxX$ é o valor máximo do polígono P em X e $minX$ é o valor mínimo do polígono P em X . O mesmo se passa com $maxY$ e $minY$ mas em Y . A

resolução *resol* foi obtida através de alguns testes sendo o valor 100 aquele que deu melhores resultados para os polígonos usados. Para caso de polígonos com ângulos mais apertados poderá ser usada outra resolução. De notar, que quanto maior o valor *resol* mais iterações são necessárias e mais tempo é necessário para calcular o polígono de visibilidade.

A figuras 3.8 e 3.9 exemplificam dois tipos de resolução: 10 e 100.

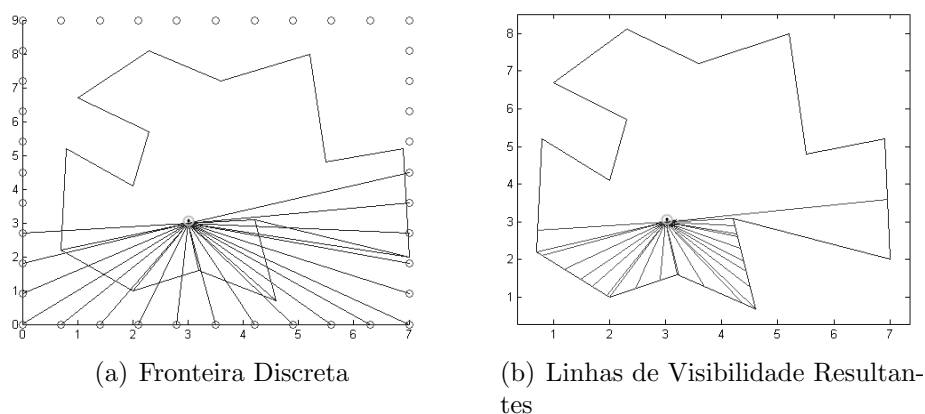


Figura 3.8: Fronteira Discreta - Resolução 10

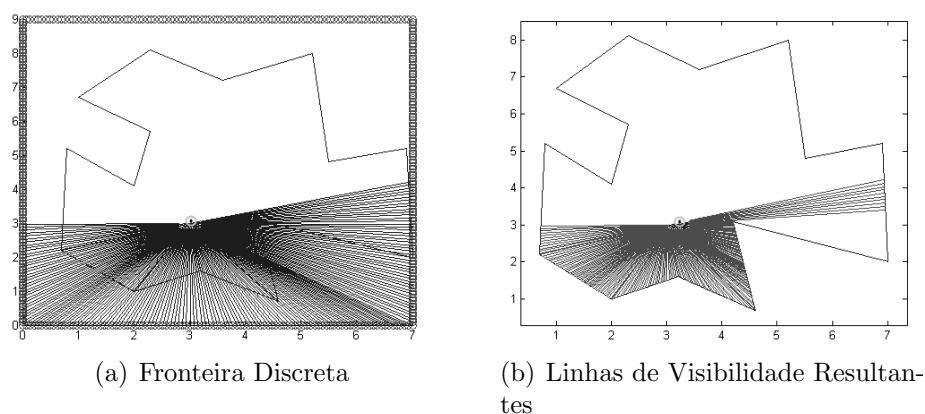


Figura 3.9: Fronteira Discreta - Resolução 100

Todas estas regras atrás definidas são válidas para o calculo do polígono de visibilidade a partir de pontos no interior do polígono, ou seja para pontos que não pertençam à fronteira de P . Para pontos pertencentes à fronteira é necessário efetuar um pré processamento para colocar esses pontos dentro do

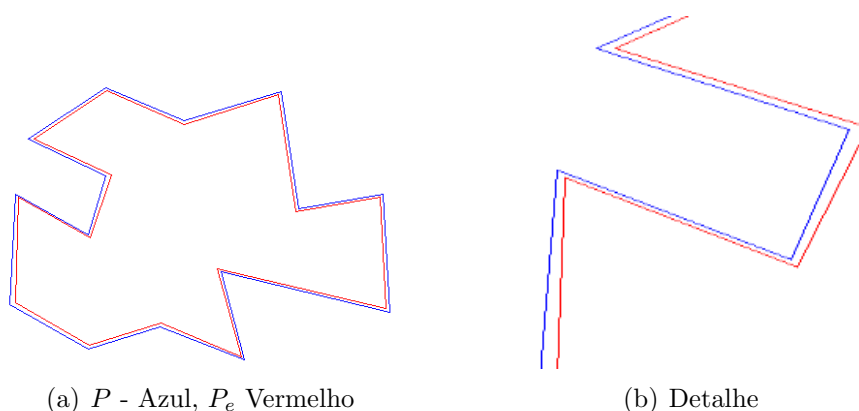


Figura 3.10: Polígono Equivalente - zoom

polígono. Este procedimento pode criar alguns erros de precisão na criação do polígono de visibilidade, mas como veremos são desprezáveis. Esta técnica de colocação, de um ponto de fronteira no interior de P , está mais de acordo com a realidade já que nenhuma câmara ou guarda se encontram exactamente na fronteira mas sim no interior do polígono.

O primeiro passo para determinar qual o ponto equivalente do ponto de fronteira no interior do polígono é criar um polígono igual mas com uma escala diferente, P_e que caiba no interior de P . Para criar esse polígono, determinaram-se as bissetrizes de cada ângulo em cada vértice e recuou-se cada vértice para o interior, de um determinado valor. Este efeito de zoom pode ser visto na figura 3.10(a) e com mais detalhe na figura 3.10(b)

Para determinar o ponto equivalente em P_e , é calculado o ponto mais

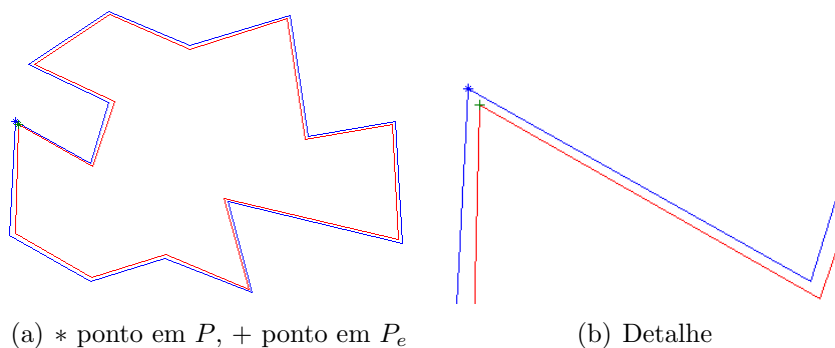


Figura 3.11: Ponto Interior Equivalente

próximo deste polígono do ponto em P que se quer determinar a visibilidade, como mostram as figuras 3.11(a) e 3.11(b)

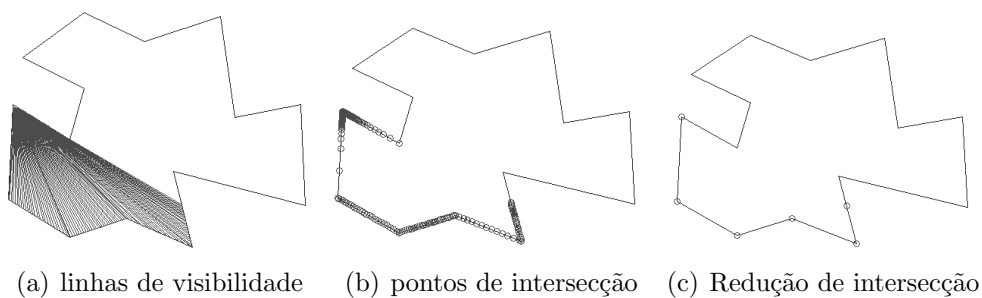


Figura 3.12: Criação do polígono de visibilidade de um ponto na fronteira

Após a determinação deste ponto interior, o cálculo volta a ser idêntico ao efetuado para os pontos interiores. A figura 3.12 mostra o processo descrito anteriormente e a figura 3.13 mostra o resultado final da determinação da visibilidade de um ponto na fronteira do polígono.

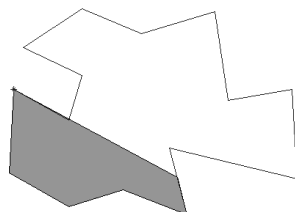


Figura 3.13: Polígono de Visibilidade de um ponto na fronteira

Para o cálculo dos polígonos de visibilidade em polígonos com buracos, para o caso de pontos no interior é usada a mesma técnica que a usada para polígonos sem buracos. A sequência mostrada na figura 3.14 ilustra o processo. São determinados as linhas de visibilidade a partir do ponto em que se quer determinar a visibilidade (fig: 3.14(a)). Depois de determinar os pontos de intersecção com o polígono (fig: 3.14(b)), são escolhidos apenas os pontos não repetidos (fig: 3.14(c)).

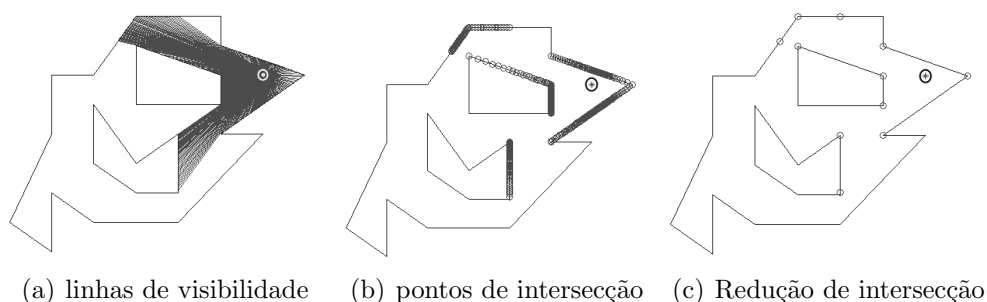


Figura 3.14: Criação do polígono de visibilidade de um ponto no interior num PCB

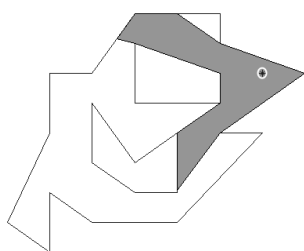


Figura 3.15: Polígono de Visibilidade de um ponto interior num PCB

A partir dos pontos principais é criado o polígono de visibilidade, como indicado na figura 3.15

No entanto, quando se trata de polígonos com buracos, o cálculo dos polígonos de visibilidade a partir de pontos de fronteira exige um procedimento extra na determinação dos pontos interiores equivalentes. Se o ponto fronteira se situar no perímetro exterior do polígono é aplicado o mesmo método usado nos polígonos sem buracos. Mas se o ponto para o qual se deseja obter a visibilidade se encontrar na fronteira de um buraco, é necessário criar um polígono auxiliar que esteja no interior do polígono com buracos. Para isso efectua-se uma operação inversa à redução. Ou seja os polígonos auxiliares que têm por base os polígonos representativos dos buracos, devem ser expandidos. A figura 3.16 ilustra a criação dos polígonos equivalentes exterior e interior.

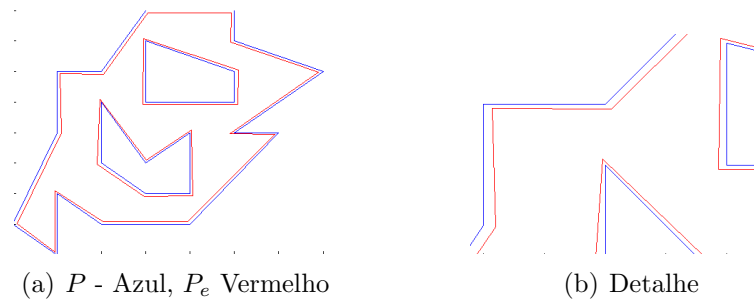


Figura 3.16: PCB - Poligonos Equivalentes - zoom

Para determinar o ponto equivalente em P_e , é calculado o ponto mais próximo deste polígono do ponto em P que se quer determinar a visibilidade, como mostram as figuras 3.17(a) e 3.17(b)

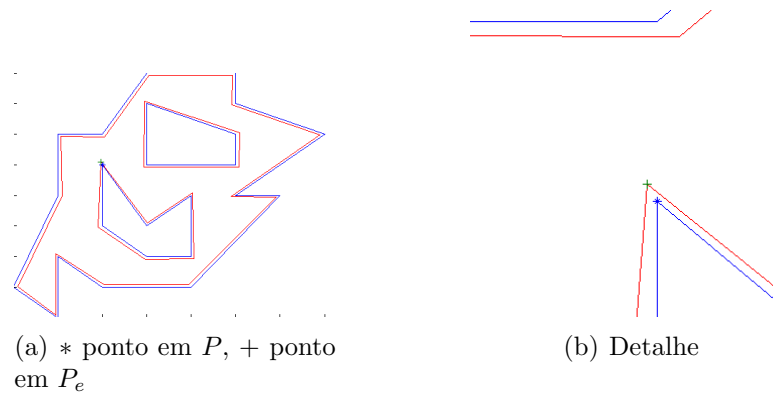


Figura 3.17: PCB - Ponto Interior Equivalente

A partir do calculo do ponto interior equivalente ao ponto fronteira de um buraco, aplica-se o procedimento já descrito. Os resultados são ilustrados na sequência da figura 3.18. A figura 3.19 ilustra o polígono de visibilidade obtido.

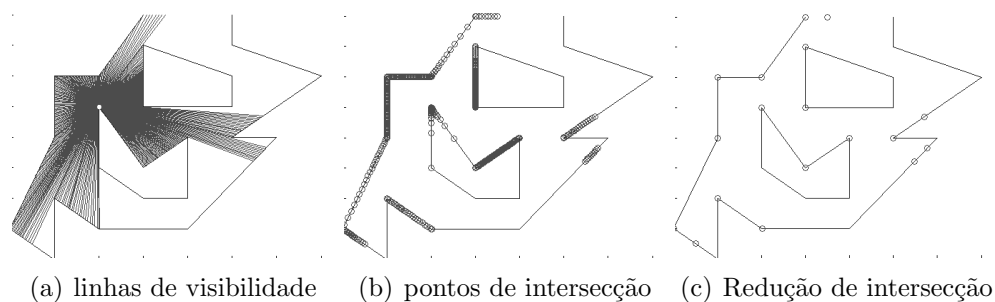


Figura 3.18: Criação do polígono de visibilidade de um ponto na fronteira de um PCB

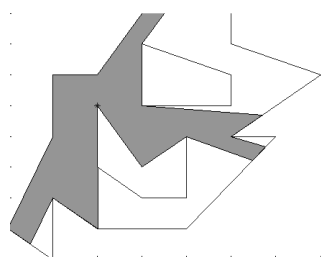


Figura 3.19: Polígono de Visibilidade de um ponto fronteira de um PCB

3.3.2 Triangulação e coloração de Vértices

Uma das provas usadas do TGA é a colorização dos vértices através da triangulação. Todos os polígonos podem ser decompostos em triângulos cf.A.0.3. É também possível atribuir uma cor a cada vértice dos triângulos resultantes, sem que estas sejam repetidas em cada triângulo.

As figuras 3.20 e 3.21 ilustram a triangulação e a tri-coloração

Para escolher quais os guardas que respeitem o TGA basta escolher os vértices cujas cores são menos repetidas. Estes vértices garantem que guardas neles posicionados têm uma visibilidade total do interior do polígono.

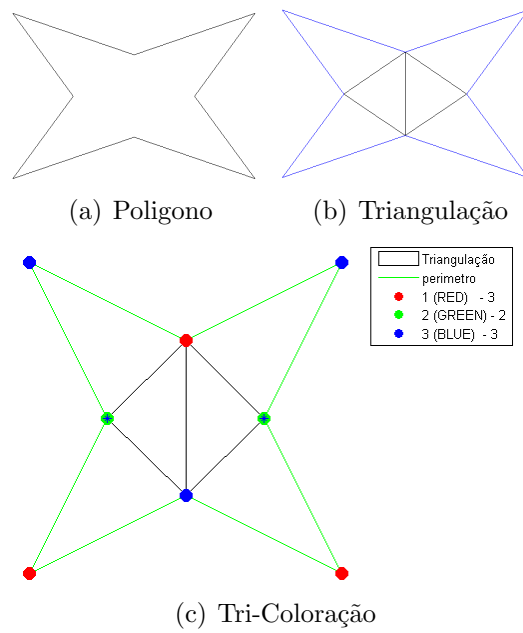


Figura 3.20: Triangulação e Tri-Coloração de polígonos Sem buracos - Exemplo 1

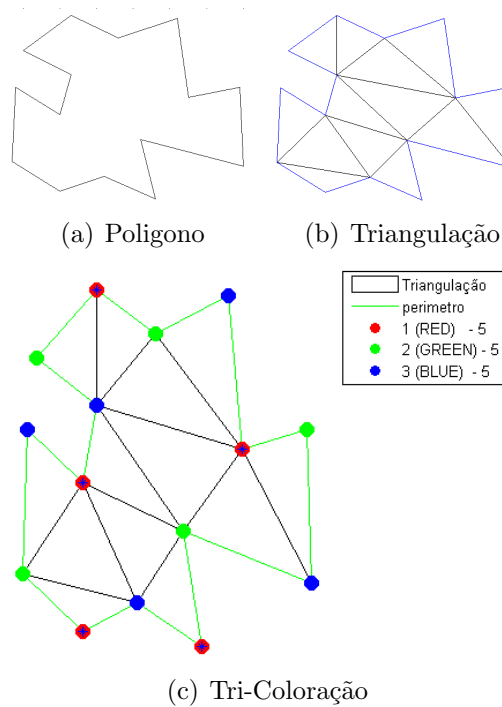


Figura 3.21: Triangulação e Tri-Coloração de polígonos Sem buracos - Exemplo 2

Para a tri-coloração foi usado um algoritmo de Kooshed e Moret bastante eficaz proposto por [Ho, 2004]:

Algoritmo 1 Tri-Coloração

```

cor( $V_0$ ) = 1
cor( $V_1$ ) = 2
areaTotal = Area( $P$ )
for  $i = 1; i < n; i++$  do
  if odd(deg( $v_i$ )) then
    Cor( $V_{i+1}$ ) = Cor( $V_{i-1}$ )
  else
    Cor( $V_{i+1}$ ) =  $6 - \text{Cor}(V_{i-1}) - \text{Cor}(V_{i-2})$ 
  end if
end for

```

Este método é eficaz em polígonos sem buracos, mas quando aplicado a polígonos com buracos, embora possam ser triangulados, não se pode usar a tri-coloração, pois podem surgir vértices que tenham as cores diferentes como mostra a figura 3.22.

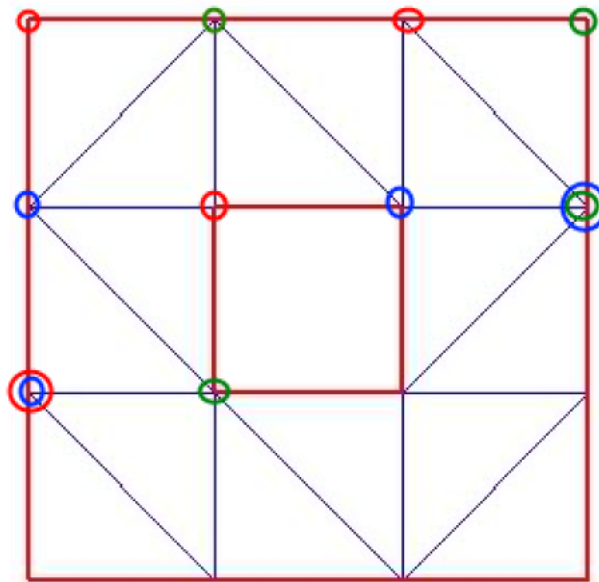


Figura 3.22: Falha na Tri-Coloração de PCB

Para se poder usar a tri-coloração é necessário transformar PCB em PSB.

3.3.3 Transformação de PCB em PSB

Uma das técnicas usadas para criar PSB a partir de PCB é através de criação de canais entre o polígono exterior (perímetro) e os polígonos interiores (buracos) ou entre polígonos interiores ou uma combinação das duas. Após a construção destes canais obtém-se um polígono sem buracos semelhante ao original mas com mais vértices. Além de ter mais vértices irão existir áreas que no novo polígono pertencem ao exterior, mas na realidade fazem parte do interior do polígono. O que se pretende é criar um PSB para que se possa fazer a triangulação e conseqüentemente a tri-coloração. Como surgem mais vértices, este poderia ser um problema. Iremos ver que é ultrapassado por uma eliminação de vértices muito próximos, criados por causa dos canais, e assim conseguiremos obter um polígono capaz de se aplicado o método de tricoloração.

Para isso é usada a seguinte técnica:

- Decompõe-se o PCB nos diversos polígonos de modo a obter uma lista de polígonos em que o primeiro da lista é o polígono que encerra todos os outros (Perímetro) (figura 3.23)

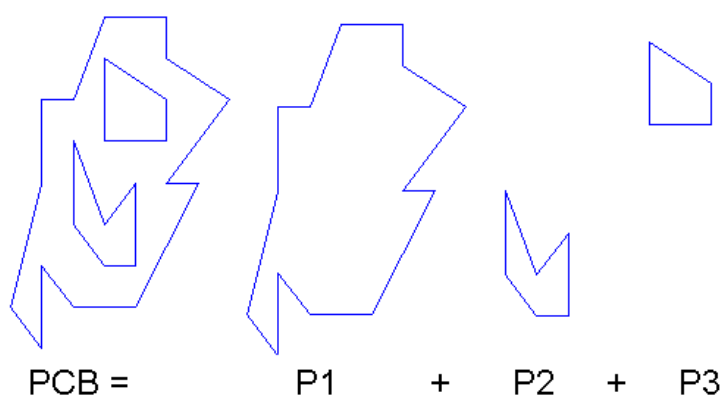


Figura 3.23: Decomposição de um PCB

- De seguida procuram-se os vértices mais próximos (figura 3.24).
- Nesses vértices abrem-se os polígonos criando dois pontos equidistantes do vértice, mas pertencentes às arestas do polígono (figuras 3.25(a) 3.25(b))
- achados estes pontos, é criado um canal para obter um PSB (figuras 3.26(a) 3.26(b))

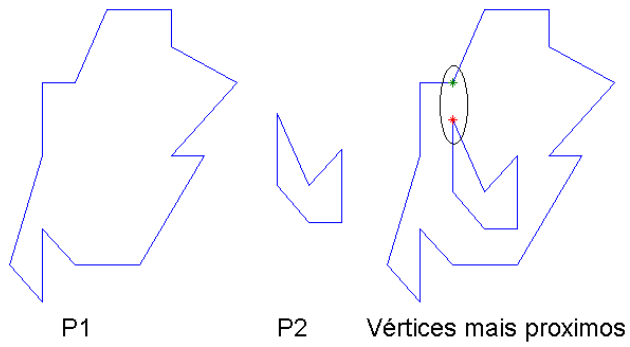


Figura 3.24: Vértices mais próximos

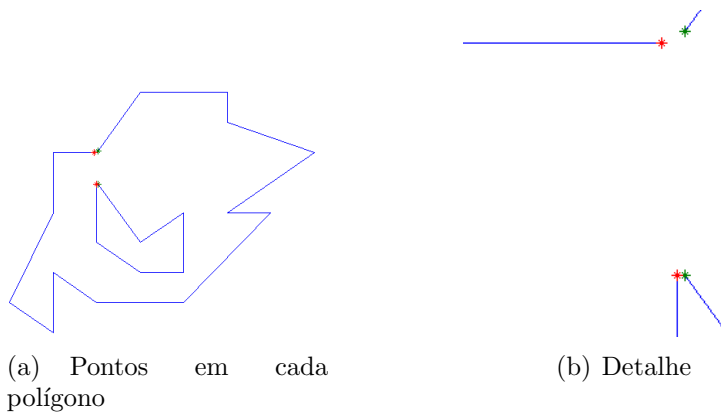


Figura 3.25: Pontos para a criação do canal

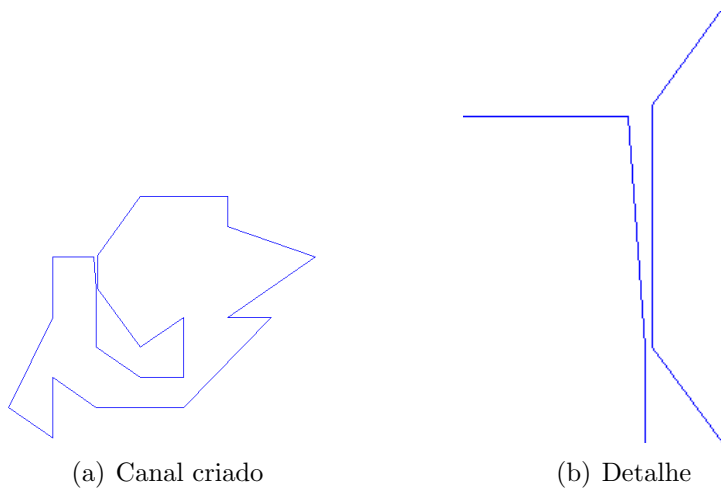


Figura 3.26: Canal criado

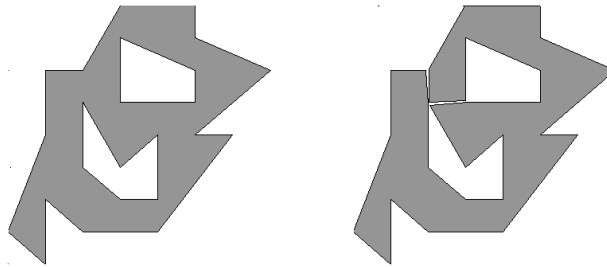


Figura 3.27: Decomposição de um PCB em PSB

- O processo é repetido até serem encontrados canais que unam todos os buracos e o perímetro e se obtenha o um PSB (figura 3.27).

Capítulo 4

Validação e Testes

No processo de testes de validação do modelo proposto e para poder aferir a utilidade deste trabalho em termos práticos (uma das suas motivações), foram usados 3 conjuntos de polígonos de teste:

1. **Conjunto A** - conjunto de PSB e PCB gerado manualmente.
2. **Conjunto B** - conjunto de PSB gerado aleatoriamente.
3. **Conjunto C** - Um “case-study” de um hipotético projecto de videovigilância.

Este processo inclui não só a aplicação do modelo proposto, mas também a validação das ferramentas criadas no seguimento das funções descritas em 3.3

4.1 Ferramentas

Para garantir a fiabilidade das ferramentas criadas foi usado o conjunto de PSB e PCB gerado manualmente.

Polígonos Sem Buracos A tabela 4.1 e equivalente representação gráfica (figura 4.1), mostram que os valores calculados estão dentro dos valores esperados ou ainda os melhoram. Esta validação em termos de quantidade satisfaz uma das premissas, mas para confirmar a segunda e mais importante, saber se a região é completamente coberta pela quantidade de câmaras calculadas, recorreu-se a ferramenta de cálculo de polígonos de visibilidade e aplicou-se a cada caso.

número de Lados	$\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$	Calculo por Tri - coloração	% de Cobertura	Poligono do conjunto de teste
3	1	1	100%	1
4	1	1	100%	2
8	2	2	100%	8
11	3	3	100%	9
12	4	3	100%	3
12	4	4	100%	5
12	4	3	100%	6
15	5	5	100%	10
20	6	5	100%	4
34	11	10	100%	7

Tabela 4.1: Resultados previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PSB - Conjunto de teste A - PSB

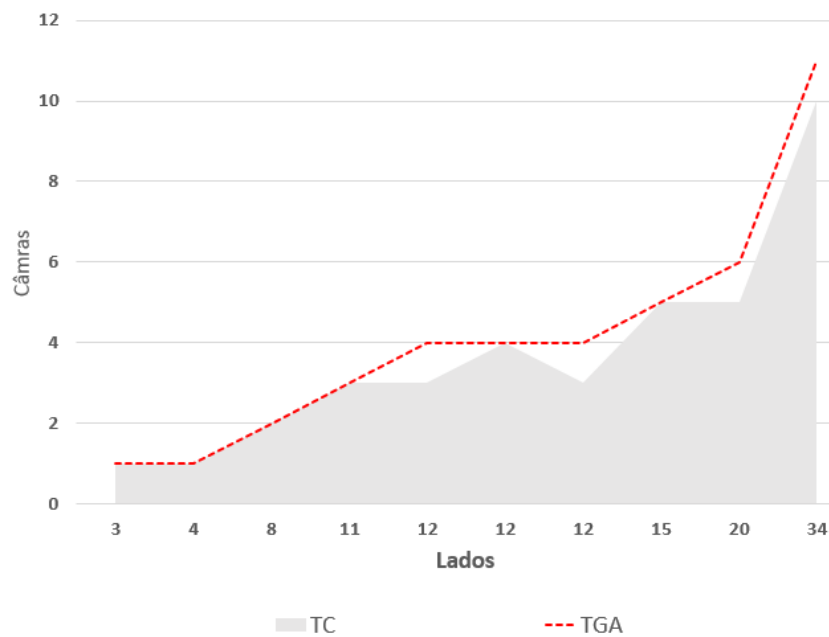


Figura 4.1: comparação entre os valores previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PSB - Conjunto de teste A - PSB

Polígonos com Buracos A tabela 4.2 e equivalente representação gráfica (figura 4.2), mostram que os valores calculados estão dentro dos valores esperados ou ainda os melhoram. Esta validação em termos de quantidade satisfaz uma das premissas, mas para confirmar a segunda e mais importante, saber se a região é completamente coberta pela quantidade de câmaras calculadas, recorreu-se a

ferramenta de calculo de polígonos de visibilidade e aplicou-se a cada caso.

número de Lados	número de Buracos	limite inferior $\lfloor \frac{(n+h)}{3} \rfloor$	limite Superior $\lfloor \frac{(n+2h)}{3} \rfloor$	Calculo por Tri - coloração	% de Cobertura	Poligono do conjunto de teste
8	1	3	5	3	100%	23
8	1	3	5	3	100%	24
15	1	5	10	4	100%	21
24	2	8	16	7	100%	16
27	2	9	18	10	100%	19
16	3	6	11	5	100%	11
18	4	7	13	8	100%	22
20	4	8	14	7	100%	12
23	4	9	16	8	100%	18
55	4	19	38	19	100%	20
25	6	10	18	11	100%	17
28	6	11	20	12	100%	15
34	7	13	25	13	100%	13
48	8	18	34	19	100%	14

Tabela 4.2: Resultados previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PCB - Conjunto de teste A

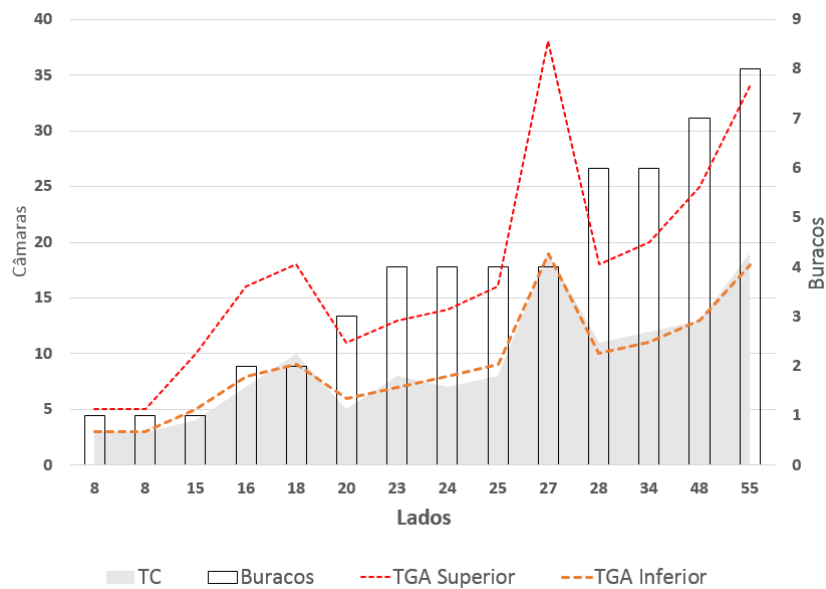


Figura 4.2: comparação entre os valores previstos pelo TGA e calculados através da ferramenta de tri-coloração (TC) para PCB - Conjunto de teste A

As figuras 4.3 e 4.4 e servem como exemplo para para ilustrar os resultados

obtidos quanto ao posicionamento e cobertura visual.

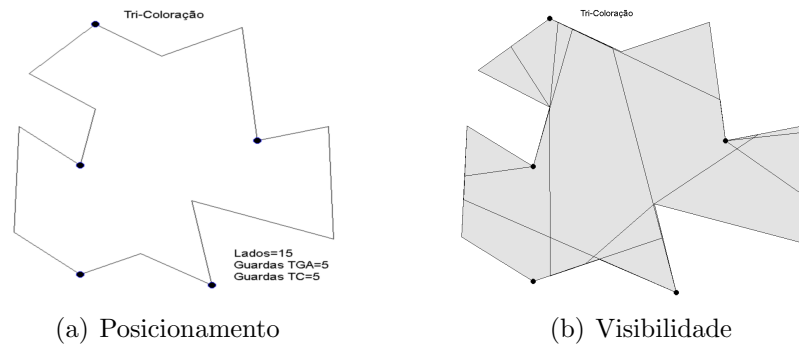


Figura 4.3: Posicionamento por Tri-Coloração Exemplo de um PSB - Polígono de Teste 10

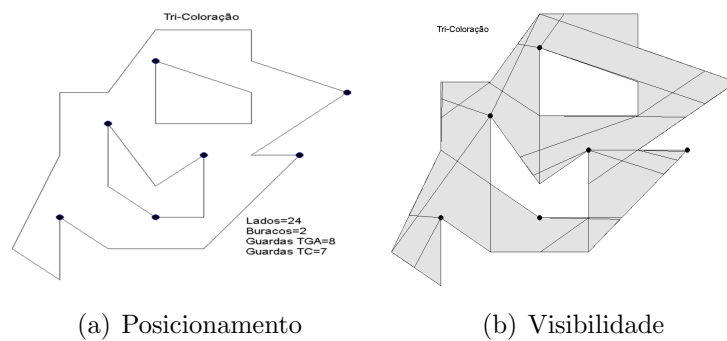


Figura 4.4: Posicionamento por Tri-Coloração Exemplo de um PCB - Polígono de Teste 16

Os resultado apresentados mostram que as ferramentas criadas cumprem os fins previstos. O uso da tri-coloração e transformação de PCB em PCB funcionam como o previsto, através da leitura dos valores previstos pelo TGA e suas variantes em comparação com os resultados obtidos.

4.2 Estratégias de procura

Para estes testes foram usados dois conjuntos de entrada diferentes. Um inclui todos os vértices possíveis (TV) e o segundo apenas os calculados pela ferramenta de tri-coloração (TC). A razão da escolha do segundo conjunto prende-se em, primeiro lugar, por garantir à partida uma solução admissível, em segundo lugar,

reduzir o tempo de procura e terceiro lugar para verificar se a solução obtida será melhor que utilizando todos os vértices. Os testes foram feitos com o conjunto de teste A e B. A tabela 4.3 e a figura 4.5 reflectem os resultados para o conjunto A - PSB.

número de Lados	$\lfloor \frac{n}{3} \rfloor$	Todos os Vértices				Vértices por Tri- color.		
		TC	Custo Unif.	Sofrega	A*	Custo Unif.	Sofrega	A*
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
8	2	2	1	1	1	1	1	1
11	3	3	2	2	2	3	3	3
12	4	3	1	1	1	1	1	1
12	4	4	3	3	3	3	3	3
12	4	3	3	3	3	3	3	3
15	5	5	3	3	3	2	2	2
20	6	5	2	2	2	2	2	2
34	11	10	5	5	4	6	6	5

Tabela 4.3: Resultados TGA, tri-coloração para e métodos de procura PSB - Conjunto de Teste A

O gráficos seguintes mostram de uma forma clara que os resultados obtidos pelo método proposto são melhores em todos os casos que os propostos pelo TGA. Também é possível verificar que a estratégia de procura que dá melhores resultados, embora com diferenças muito pequenas é A^* . Interessante reparar que restringindo o conjunto de vértices ao conjunto obtido por tricoloração, não se obtém melhores resultados.

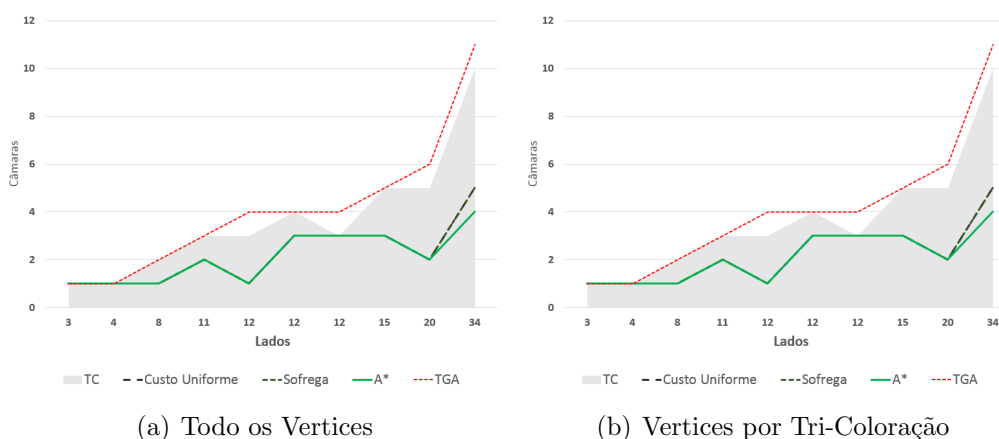


Figura 4.5: Comparação de Resultados para PSB - Conjunto de Teste A

Os mesmos testes foram feitos para o conjunto de testes, mas para PCB. Os resultados estão indicados na tabela 4.4 e ilustrados através das figura 4.6:

número de Lados	Num. de Buracos	$\lfloor \frac{n+h}{3} \rfloor$	$\lfloor \frac{n+2h}{3} \rfloor$	TC	Todos os Vértices			Vértices por Tri-color.		
					Custo Unif.	Sófrega	A*	Custo Unif.	Sofregrega	A*
8	1	3	5	3	3	3	2	2	2	3
8	1	3	5	3	3	3	3	3	3	3
15	1	5	10	4	2	2	2	4	4	3
16	3	6	11	5	5	5	3	5	5	5
18	4	7	13	8	5	5	4	5	5	4
20	4	8	14	7	5	4	4	4	4	3
23	4	9	16	8	6	5	4	5	5	4
24	2	8	16	7	6	5	4	7	7	5
25	6	10	18	11	5	5	5	8	8	6
27	2	9	18	10	7	6	6	6	6	6
28	6	11	20	12	10	4	4	7	4	4
34	7	13	25	13	8	7	5	7	7	6
48	8	18	34	19	11	10	10	13	14	10
55	4	19	38	19	14	14	10	13	13	11

Tabela 4.4: Resultados TGA, tri-coloração para e métodos de procura PCB - Conjunto de Teste A

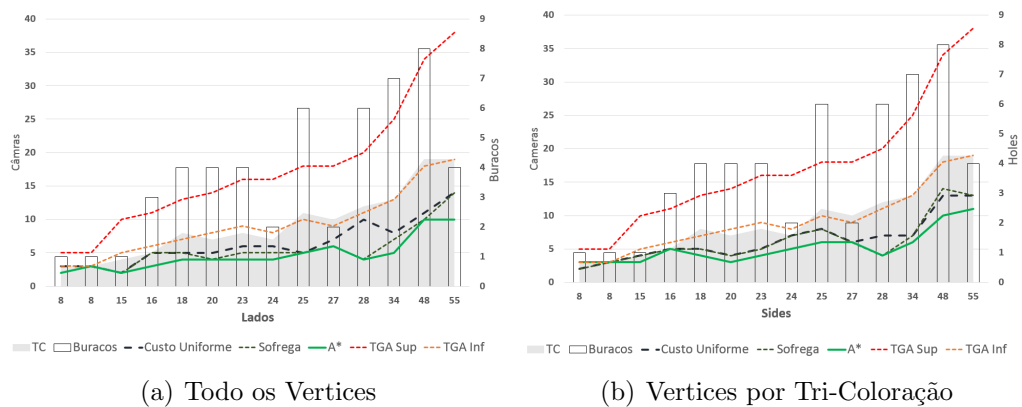


Figura 4.6: Comparação de Resultados para PCB - Conjunto de Teste A

Para obter um conjunto mais coerente de dados e verificar se a tendência observada pelo conjunto de teste, foi criado um segundo conjunto de teste apenas constituído por PSB gerados aleatoriamente. Foram gerados aleatoriamente polígonos entre três e duzentos lados. Todos os polígonos aceites para análise possuíam 100% de cobertura.

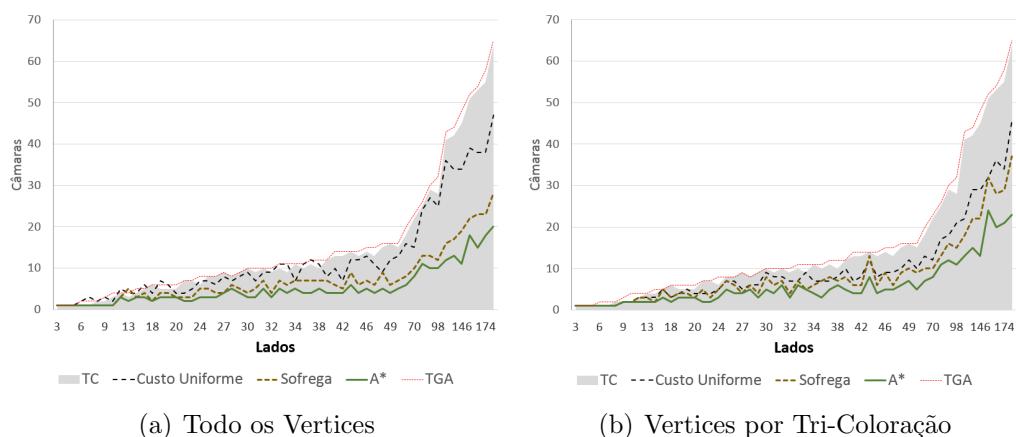


Figura 4.7: Comparação de Resultados Polígonos Aleatórios - Conjunto B

Na posse de todos os resultados e para ter uma ideia mais genérica sobre o ganho que as estratégias de procura inseriram neste método, estabeleceu-se uma media de ganho para cada conjunto de teste. Os resultados são idênticos em todos os casos. A tendência é a mesma para todos os casos: a solução usando todos os vértices é melhor que usando apenas os vértices obtidos por tri-coloração. A tabela 4.5 resume os valores percentuais dos ganhos em relação aos valores propostos pelo TGA. Estes resultados podem estar expressos graficamente na figura 4.8.

	PSB A		PCB A		PSB B	
	TV	TC	TV	TC	TV	TC
Custo Uniforme	37%	35%	28%	29%	15%	9%
Sofrega	37%	35%	36%	30%	46%	32%
A*	38%	36%	46%	38%	59%	55%

Tabela 4.5: Ganhos percentuais em relação ao TGA

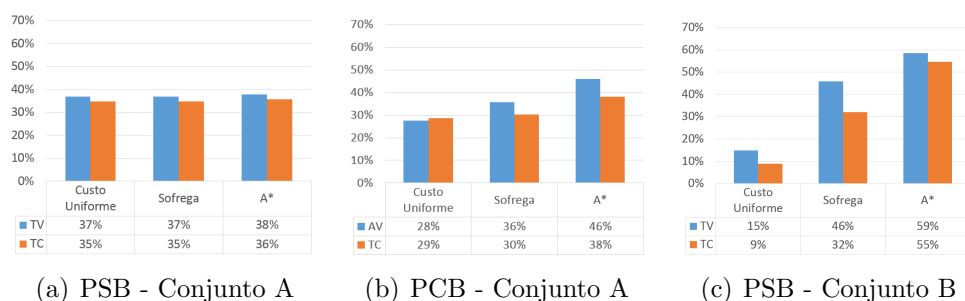


Figura 4.8: Comparação de Ganhos das estratégias de procura em relação ao TGA

4.3 Estudo de Caso

Sendo a motivação original a aplicação prática e viabilidade deste trabalho, foi criada uma situação que se aproximasse da realidade do dia-a-dia de um profissional de segurança incumbido de fazer um estudo para colocação de câmaras num local em concreto. Para tal usaram-se como exemplo as instalações do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. O local foi modulado por um conjunto de polígonos de acordo lógica estabelecida ao longo deste trabalho. Este polígono é constituído por um polígono que representa o perímetro e conjunto de 9 polígonos (buracos) que representam os edifícios.

Para elaborar um projecto de implantação de câmaras foi reunido um conjunto de 7 profissionais da área e foi-lhes solicitado a sua solução para o posicionamento de câmaras. A base foi a planta representada na figura 4.9 sendo o requisito a protecção total através da utilização de câmaras PTZ, com a restrição do posicionamento das câmaras nos vértices de qualquer um dos polígonos.

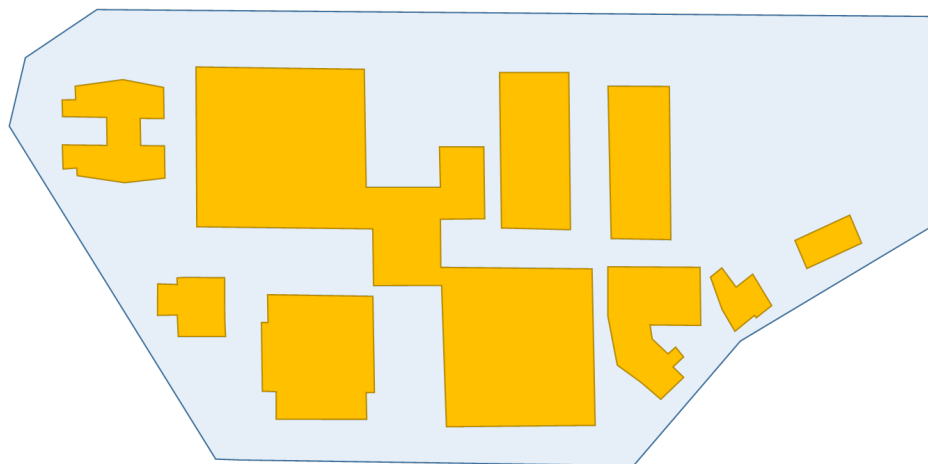


Figura 4.9: Modelo para o Case Study

Este teste serviu para aferir como são as respostas dos profissionais da área e poder validar o método proposto. Os profissionais convidados a participar, tem todos mais de 5 anos de experiência na área. A cada um foi atribuído um nome, de p0 a p6. Em nenhum dos casos conseguiram propor uma solução que garantisse a visibilidade total.

Alguns resultados são mostrados nas figuras 4.10.

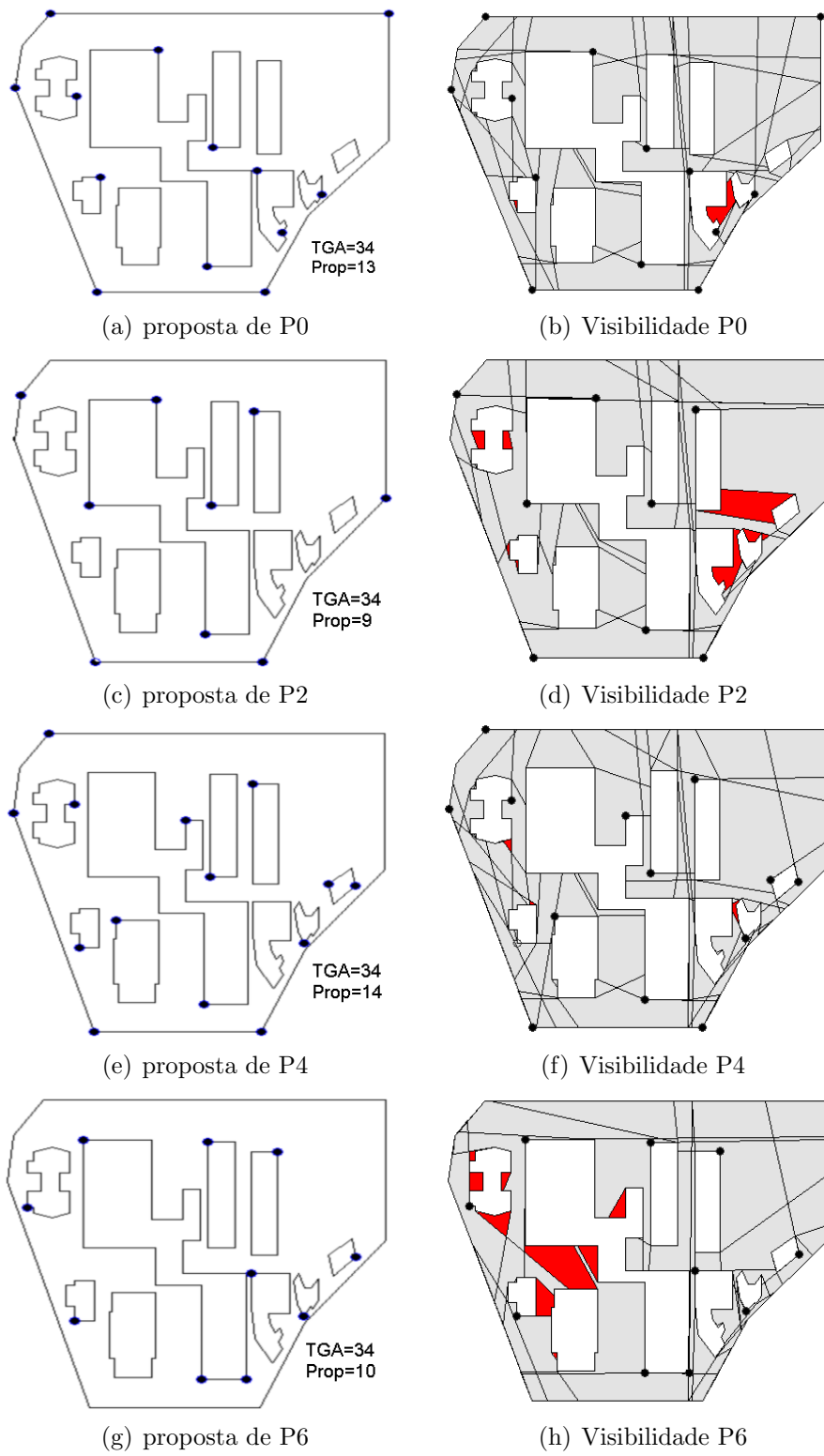


Figura 4.10: Exemplos do Estudo de caso

A figura 4.11 mostra o melhor resultado obtido através da aplicação do método proposto, com a estratégia de procura A^* usando todos os vértices.

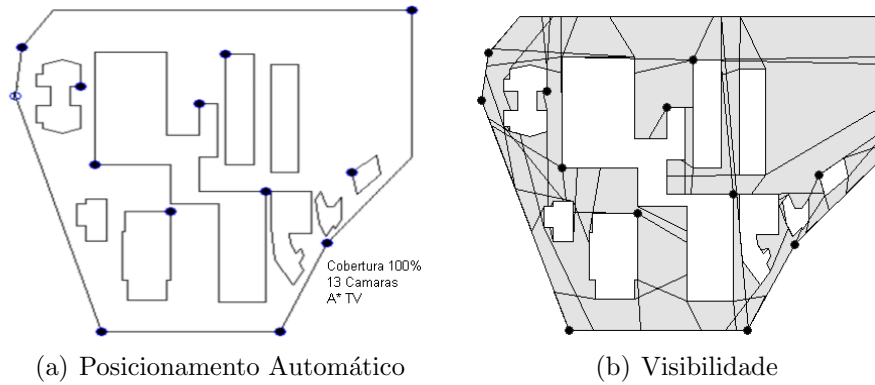


Figura 4.11: Cálculo através do método proposto - A^* Todos os Vértices

Para poder comparar com os resultados do método proposto, foi acrescentado em cada caso quantas câmaras seriam necessárias para obter a visibilidade total. Os resultados estão descritos na tabela 4.6 e indicados graficamente na figura 4.12. Esta tabela também inclui os resultados das várias estratégias do método proposto.

Proposto por	câmaras		Garante visibilidade
	colocadas	em falta	
P0	13	2	não
P1	9	7	não
P2	9	6	não
P3	11	3	não
P4	14	2	não
P5	17	1	não
P6	10	6	não
Custo Uniforme - Tri-Coloração	28	0	sim
Sôfrega - Tri-Coloração	20	0	sim
A^* - Tri-Coloração	19	0	sim
Custo Uniforme - Todos os Vértices	26	0	sim
Sôfrega - - Todos os Vértices	14	0	sim
A^* - Todos os Vértices	13	0	sim

Tabela 4.6: Resultados do Estudo de Caso

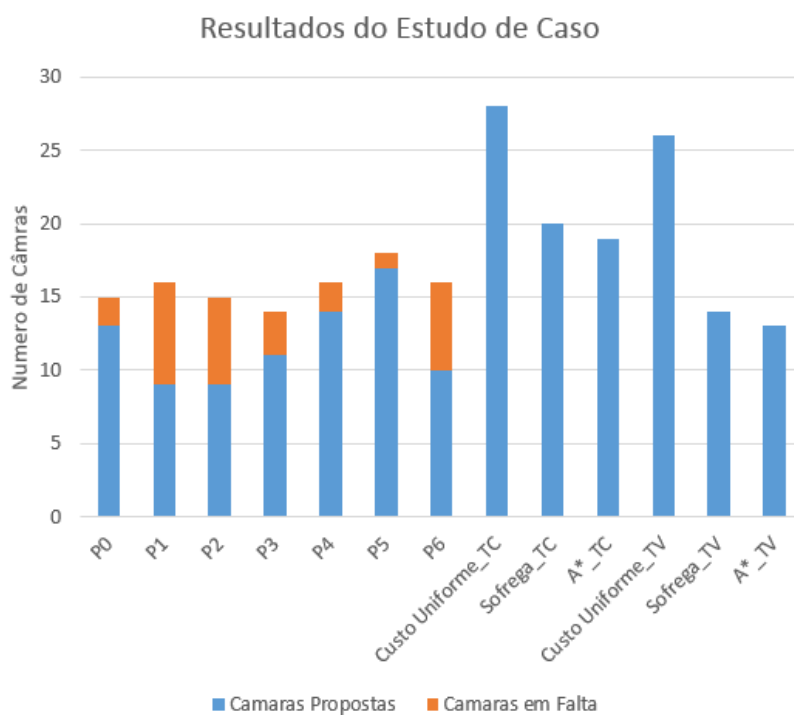


Figura 4.12: Resultados do Estudo de Caso

O melhor resultado foi conseguido através da estratégia de procura A* quando utilizados todos os vértices. Não sendo exaustivo este é um resultado que se pode aplicar concretamente e valida o método proposto

Capítulo 5

Conclusões e Trabalho Futuro

5.1 Conclusões

Este trabalho partiu de uma motivação concreta e prática: a necessidade sentida pelos profissionais da indústria de segurança, no ramo da videovigilância de uma ferramenta que permitisse o auxílio no posicionamento de câmaras em projetos desta área. Como referido, nesta indústria não é conhecida nenhuma ferramenta do género e as que existem são aquelas referidas no capítulo dos trabalhos relacionados. Uma dessas evidências foi o estudo de de caso apresentado. Não sendo exaustivo, o painel de profissionais escolhidos representou a maneira como são feitos os projectos de videovigilância na sua componente de posicionamento de câmaras. O resultado do estudo de caso revelou o que normalmente se passa. Dos 7 profissionais envolvidos nenhum deu uma solução que cobrisse a 100% a região proposta. A adicionar a este facto as quantidades e posicionamentos propostos têm uma variância considerável. Numa região que se verificou poder ser protegida por 13 câmaras, este grupo apresentou resultados que variaram entre as 9 e as 17 câmaras, sem que conseguissem a melhor solução.

Neste contexto a primeira conclusão a tirar é que realmente existe a necessidade de uma ferramenta que harmonize o processo de posicionamento de câmaras. Este trabalho contribuí para atingir esse objetivo. E diz-se contribuir e não resolver, porque se trata de um tema com alguma complexidade. Constatou-se que existem muitos estudos e trabalhos académicos que podem contribuir para encontrarem caminhos que possam levar a soluções eficazes. Mas esta constatação também revelou que podem existir inúmeros caminhos, porque este problema de visualização têm muitas variáveis envolvidas, que eleva a complexidade do tema a patamares

que se possam tornar difíceis de alcançar.

Tratando-se um problema complexo aplicou-se a máxima usada em engenharia: para resolver um problema grande, há que dividi-lo em problemas mais pequenos. Apesar de toda a documentação estudada, foram necessárias criar ferramentas básicas, sem as quais não se podia avançar. Ferramentas para a obtenção de polígonos de visibilidade, para criação de polígonos sem buracos a partir de polígonos com buracos, para a aplicação do TGA, são também uma contribuição importante deste trabalho.

Mas o TGA por si só não oferece soluções optimizadas. As estratégias de procura em espaço de estados provaram a possibilidade de optimizar os posicionamentos das câmaras, dando melhores resultados que os previstos no TGA e obtidos por profissionais experientes. Estes resultados são tanto mais importantes, pois foram baseados em restrições normalmente usadas na prática. Outros trabalhos estudados também garantiram bons resultados, mas sem restrições no posicionamento das câmaras.

Este trabalho é um contributo para encontrar soluções melhores. Como profissional da área, o autor deste trabalho atingiu o seu principal objectivo. Propor um método que optimize o posicionamento de câmaras em projectos de videovigilância. Mas também a sua experiência e prática transmitem-lhe que, não obstante ter conseguido algo de útil, ainda há um longo caminho a percorrer.

Concluindo, este trabalho revelou a possibilidade de criação de uma ferramenta que coloque automaticamente e optimize o posicionamento de câmaras aplicável em ambiente profissional.

5.2 Trabalhos Futuros

Existe uma panóplia de possibilidade para trabalhos futuros. Sendo o primeiro a libertação das restrições impostas neste trabalho, tendo em conta os reais campos de visão das câmaras e a sua resolução. Alguns dos caminhos a seguir: determinar o menor número de câmaras e o seu posicionamento possível, de modo a garantir:

- a menor sobreposição de campos de visão possível
- uma determinada percentagem mínima de sobreposição de campos de visão. Importante para o acompanhamento de movimento dos objectos e pessoas.

-
- um determinado nível de resolução mínimo em toda a região coberta. Importante para o reconhecimento de pessoas e objectos.
 - que todas as câmaras se vejam uma ás outras.

Estes trabalhos futuros são algumas das necessidades da industria de segurança.

Apêndice A

Anexo I - Polígonos

Os polígonos são a forma de modular uma planta arquitectónica, que serve de base para um projecto de videovigilância. Esta forma bidimensional de representação de uma realidade a três dimensões, fornece a de informação necessária para que se possa definir os conceitos de visibilidade derivados do posicionamento de câmaras e permitir efectuar processos de optimização. Para esta modulação é necessário lidar com dois tipos de polígonos: os polígonos sem buracos (PSB) e os polígonos com buracos (PCB).

A.0.1 Polígonos Sem Buracos

Os PSB são usados para modelar locais onde não existam obstáculos no seu interior. Podemos definir como sendo uma curva poligonal fechada e constituída por um conjunto ordenado e finito de pontos do plano, v_0, \dots, v_{n-1} , onde cada ponto v_n é um vértice e ligado através dos n segmentos de recta $a_0 [v_0v_1], \dots, a_i [v_iv_{i+1}], \dots, a_{n-1} [v_{n-1}v_0]$ e onde no ciclo ordenado, a intersecção de cada par de segmentos adjacentes é o simples ponto partilhado entre eles e o segmentos adjacentes não se intersectam, com indicado na figura A.1.

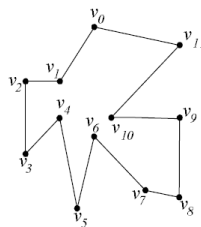


Figura A.1: Curva poligonal fechada simples

Quanto ao ângulos interiores de cada vértice pode ser classificados de convexos se tiverem amplitude inferior ou igual a π radianos, ou dir-se-á reflexo ou côncavo se a amplitude for superior a π radianos, como ilustra a fig. A.2

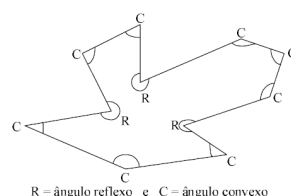


Figura A.2: Polígono com ângulos reflexos e convexos

Um polígono diz-se convexo se qualquer segmento de recta, que une dois pontos de P, esteja totalmente contido em P ou se todos os ângulos forem convexos, como indicado na figura A.3(a).

Outros tipos de polígonos que interessam conhecer:

- o polígono não convexo ou côncavo. Exemplo de um polígono não convexo ou côncavo com 6 lados, exemplificado na fig. A.3(b)
- o polígono ortogonal, que se caracteriza por ter as suas arestas paralelas aos eixos coordenados exemplificado na fig. A.3(c)

Um PSB pode ser definido por uma matriz constituída por um vector em X e outro vector Y, em que cada linha da matriz representa um vértice. Por convenção, os vértices estão ordenados pela ordem em que aparecem ao percorrer a fronteira do polígono no sentido anti-horário.

$$PSB(n_lados) = \begin{vmatrix} V_{x0} & V_{y0} \\ V_{x1} & V_{y1} \\ \dots & \dots \\ V_{x(n-1)} & V_{y(n-1)} \end{vmatrix}.$$

A.0.2 Polígonos Com Buracos

A representação bidimensional de um interior de uma sala pode ser sempre representada por um PSB, desde que o interior esteja vazio. Mas caso exista algum obstáculo no seu interior, essa representação é incompleta. O mesmo se passa quando se trata de representação, por exemplo, de um local composto por um conjunto de edifícios, que estão dentro de um determinado perímetro.

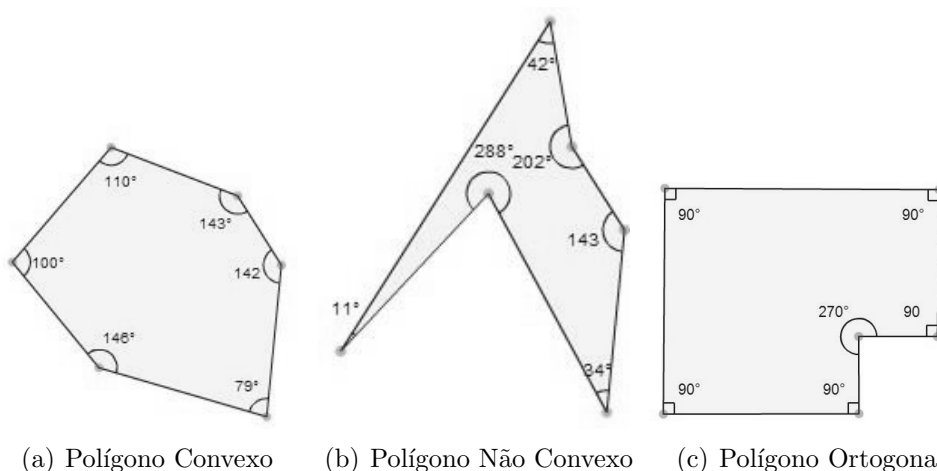


Figura A.3: tipos de PSB

Um polígono P é um polígono com buracos se contiver no seu interior um conjunto de h polígonos simples e disjuntos, H_1, \dots, H_h , denominados por buracos, como indicado na figura A.4(a)¹.

Podemos definir um PCB por uma lista de matrizes de vectores em cada uma representa um polígono, onde o primeiro representa o perímetro ou a fronteira exterior e os restantes representam os buracos ou as fronteiras interiores. Por convenção o polígono que representa a fronteira exterior deve ter os seus vértices ordenados no sentido anti-horário, enquanto os buracos devem ser os seus vértices ordenados no sentido horário.

$$PCB(h_buracos) = \{P, H_1, \dots, H_n\}$$

Se tanto o polígono P como os seus buracos H forem ortogonais, estamos perante um polígono com buracos ortogonal, como indicada na figura A.4(b)².

A.0.3 Decomposição de Polígonos

Da geometria sabe-se que qualquer polígono simples pode ser decomposto num conjunto de triângulos. De facto para cada polígono P com n lados pode ter várias triangulações possíveis, mas terá sempre $n - 2$ triângulos.

Existem diversos algoritmos de para a efectuar a triangulação. Quando se tratar de polígonos ortogonais pode-se também fazer uma quadrilaterização do

¹fonte:<http://planning.cs.uiuc.edu/node85.html>

²fonte:<http://article.sapub.org/10.5923.j.ajcam.20120202.04.html>

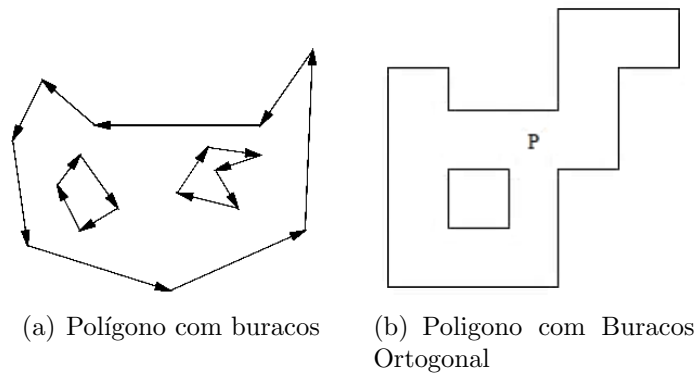


Figura A.4: tipos de PCB

polígono. Uma quadrilaterização consiste em transformar o polígono em quadriláteros, convexos. Esta técnica de decomposição de polígonos é particularmente útil em polígonos ortogonais.

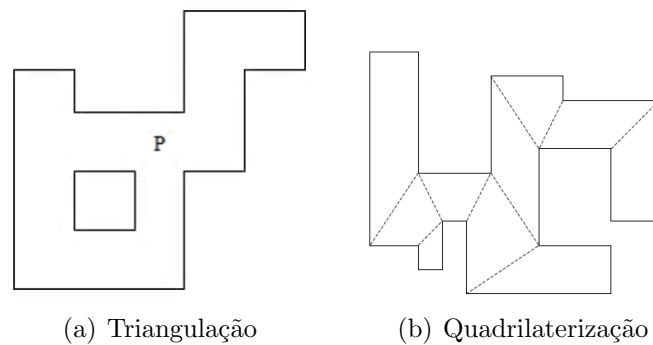


Figura A.5: Decomposição de Polígonos

Mais formalmente uma quadrilaterização dum polígono ortogonal P é uma partição de P formada por um conjunto de quadriláteros convexos tal que as arestas desses quadriláteros são arestas ou diagonais de P ,

Apêndice B

AnexoII - Visibilidade

A noção de visibilidade é um dos tópicos fundamentais neste trabalho. Interessamos explorar o conceito de visibilidade no interior de polígonos sejam eles PSB ou PCB.

Os conceitos de visibilidade têm sido abordados, nomeadamente na área da computação gráfica, cartografia e robótica. existindo vários algoritmos estudados para a obtenção da visibilidade de um ponto pertencente a um polígono [ElGindy e Avis, 1981] [B. Joe, 1985] e da visibilidade de uma partir de uma aresta [Avis e Toussaint, 1981].

O conceito de visibilidade define-se de uma maneira bastante simples, não obstante a maneira de a obter não ser um processo simples.

Definição 1. *Visibilidade entre dois pontos u e v : Dois pontos u e v de um polígono P vêm-se claramente se o segmento $[uv]$ estiver totalmente contido em P , [ElGindy e Avis, 1981].*

O conceito de visibilidade num PCB é idêntico ao conceito de visibilidade num PSB. Para isso basta considerar que o interior dos buracos pertence ao exterior do polígono.

De uma forma mais abrangente, o conceito de visibilidade não se quer restrinvido a dois pontos mas a uma área. Veremos que essa área de visibilidade pode ser definida por um polígono simples, cujos lados são a fronteira do núcleo de visibilidade.

Definição 2. *Seja x um ponto no interior de P . O polígono de visibilidade de x , definido como $V(P, x)$, é o conjunto de pontos de P visíveis a partir de x*

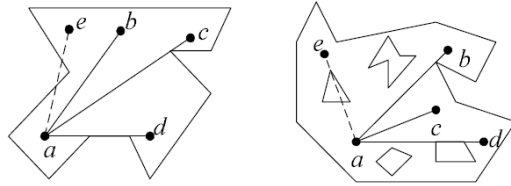


Figura B.1: Visibilidade entre pontos: O ponto a vê b , c e d mas não vê e

Os pontos de visibilidade pertencentes a P nem sempre coincidem com os vértices de P o que significa que o polígono resultante da determinação da visibilidade a partir de x além de conter alguns dos vértices de P terá novos vértices resultantes da intersecção da linha de visibilidade com os segmentos de recta que constituem os lados do polígono.

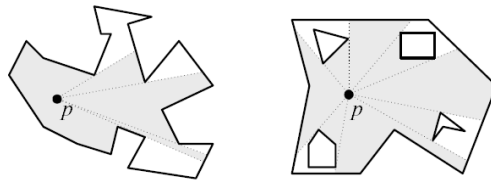


Figura B.2: Região de visibilidade de p num PSB e num PCB

A região de visibilidade geralmente é um polígono, mas nem sempre isto acontece, com ilustra a figura B.3

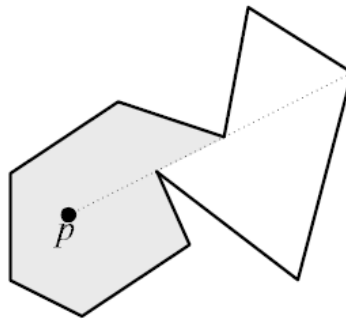


Figura B.3: Um caso em que $V(p)$ não é um polígono

O método sugerido por [B. Joe, 1985] utiliza o varrimento entre $[0; \pi]$ de uma semi-recta centrado no ponto que se deseja obter o polígono de visibilidade. O polígono é construído pelos pontos de intersecção com o polígono P que satisfaçam a condição de visibilidade entre 2 pontos.

Bibliografia

- [analysts, 2013] analysts, R. (2013). Cctv market outlook 2017.
- [Avis e Toussaint, 1981] Avis, D. e Toussaint, G. T. (1981). An optimal algorithm for determining the visibility of a polygon from an edge. *IEEE Transactions on Computers*, 30(12):910–914.
- [B. Joe, 1985] B. Joe, R. S. (1985). Visibility of a simple polygon from a point. Technical Report CS-85-38, Dept. of Math and Computer Science, Drexel University; Department of Computer Science, University of Waterloo.
- [Bjorling-Sachs e Souvaine, 1995] Bjorling-Sachs, I. e Souvaine, D. L. (1995). An efficient algorithm for guard placement in polygons with holes. *Discrete and Computational Geometry*, 13:77–109.
- [Chvátal, 1975] Chvátal, V. (1975). A combinatorial theorem in plane geometry. *Journal of Combinatorial Theory Series B* 18, 39–41.
- [Couto et al., 2009] Couto, M. C., de Rezende, P. J., e de Souza, C. C. (2009). Instances for the Art Gallery Problem.
- [Couto et al., 2008] Couto, M. C., de Souza, C. C., e de Rezende, P. J. (2008). Experimental evaluation of an exact algorithm for the orthogonal art gallery problem. In *WEA*, p. 101–113.
- [de Berg et al., 2008] de Berg, M., Cheong, O., van Kreveld, M., e Overmars, M. (2008). *Computational Geometry, Algorithms and Applications*. Springer, third edition.
- [ElGindy e Avis, 1981] ElGindy, H. A. e Avis, D. (1981). A linear algorithm for computing the visibility polygon from a point. *J. Algorithms*, 2(2):186–197.

- [Erdem e Sclaroff, 2004] Erdem, U. M. e Sclaroff, S. (2004). Optimal placement of cameras in floorplans to satisfy task requirements and cost constraints. In *In Proc. of OMNIVIS Workshop*.
- [Fisk, 1978] Fisk, S. (1978). A short proof of chvátal s watchman theorem. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 24(3):374.
- [Ho, 2004] Ho, T. K. (2004). Art gallery problem. *American Economic Review: Papers & Proceedings*.
- [O'Rourke, 1987] O'Rourke, J. (1987). *Art Gallery Theorems and Algorithms*, cap.: 1. Polygon Partitions, p. 1. Oxford University Press.
- [Rieffel et al., 2007] Rieffel, E. G., Girgensohn, A., Kimber, D., Chen, T. P., e Liu, Q. (2007). Geometric tools for multicamera surveillance systems. In *ICDSC*, p. 132–139.
- [Shermer, 1992] Shermer, T. C. (1992). Recent results in art galleries.
- [Wolsey, 1998] Wolsey, L. A. (1998). *Integer programming*. Wiley-Interscience, New York, NY, USA.