

# MAPAS DE DISTÂNCIAS PARA A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS DE INTERESSE SOCIAL

## *DISTANCE MAPS FOR FIRE SAFETY IN BUILDINGS OF SOCIAL INTEREST*

Henrique Costa Braga <sup>1</sup>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, [bragaseg@yahoo.com.br](mailto:bragaseg@yahoo.com.br)

Gray Farias Moita <sup>2</sup>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, [gray@dppg.cefetmg.br](mailto:gray@dppg.cefetmg.br)

Paulo Eduardo Maciel de Almeida <sup>3</sup>

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, [pema@lsi.cefetmg.br](mailto:pema@lsi.cefetmg.br)

### Resumo

Algumas Habitações de Interesse Social (HIS), pela sua natureza, podem ter seu Processo de Segurança e Combate a Incêndio e Pânico o mais simplificado possível de forma a contribuir na redução, ao máximo, do custo da edificação. Devido a estas simplificações, a realização de estudos adicionais da segurança, inclusive de desempenho, torna-se especialmente relevante. O mapa de distâncias é um instrumento tecnológico que pode contribuir com o conhecimento da segurança da edificação, trazendo informações tais como a distância máxima a ser percorrida até a saída mais próxima, a distância pontual em qualquer posição do ambiente até a saída e as melhores rotas de movimentação. Também permite se estimar os tempos gastos na movimentação. Neste trabalho são definidos o que são mapas de distância e como podem ser gerados. São apresentadas duas variações dos mesmos com o estabelecimento do mais vantajoso a ser usado. Verificou-se que o mapa de distância gerado pelo algoritmo de busca pela vizinhança de Moore (VM) e seleção aleatória como gerador de rotas mais realistas que as obtidas pela busca pela vizinhança de Von Neumann (VFN) e outros critérios de seleção. Uma HIS de cinco pavimentos é então detalhadamente descrita, e um mapa de distâncias é gerado para a mesma. A partir deste mapa de distâncias, são avaliados diversos dados da edificação como a distância máxima a ser percorrida, a rota de fuga e o tempo estimado para o escape em caso de emergência. Diversas discussões sobre a segurança contra incêndio da edificação são apresentadas.

Palavras-chave: Segurança contra incêndio. Habitação de Interesse Social. Mapa de distâncias. Algoritmo de busca.

### Abstract

*Some Social Interest Housing (SIH), by their nature, can have an oversimplified safety process against fire and panic to reduce the cost of the building. Due to these simplifications, additional studies for safety, including performance, becomes especially relevant. The distance maps is a technological tool that can contribute to the knowledge of the safety of the building, providing information such as the maximum distance to be traveled to the nearest exit, the distance of any environment position to the exit, and the best escape routes. It also allows estimating the time spent in an evacuation. This work defines what a distance map is and how they can be generated. Two variations thereof are presented, and the most advantageous are selected. It was found that the distance maps produced by Moore's neighborhood search algorithm (VM) and random selection, as a route generator was more realistic than the obtained by Von Neumann neighborhood search (VFN) and other selection criteria. A five-floor SIH is described in detail, and a map of distances is generated. From these distance maps, various features of the building such as the maximum distance to be traveled, the escape route and the estimated time for escape in an emergency situation are evaluated. Several discussions about fire safety of the building are presented.*

Keywords: Fire safety. Social Interest Housing. Distance maps. Search algorithm

---

### How to cite this article:

BRAGA, Henrique Costa; MOITA, Gray Farias; ALMEIDA, Paulo Eduardo Maciel de. Mapas de distâncias para a segurança contra incêndio em edifícios de interesse social. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 32-45, mar. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8647977>>. Acesso em: 09 set. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i1.8647977>..

## Introdução

Diversas ferramentas relacionadas às Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) se encontram disponíveis e em pleno uso nos mais variados segmentos relacionados ao ambiente construído (KOWALTOWSKI *et al.*, 2006). Entretanto, algumas ferramentas de TIC demandam mudanças de paradigmas organizacionais, políticos, ou mesmo culturais que vão muito além de apenas se utilizar de um programa de computador ou um novo equipamento. Como exemplo, há o modelo de processo de projeto utilizando BIM (*Building Information Modeling*), que, pelos mais variados motivos, ainda está distante da realidade cotidiana da maioria dos escritórios do Brasil (NASCIMENTO; SANTOS, 2003; GARBINI; BRANDÃO, 2014). Outro exemplo são os modelos baseados em desempenho, que podem ser usados tanto para o projeto, como para a valoração da qualidade ou mesmo para a aprovação de uma solução.

Especificamente para os modelos de desempenho na área de proteção contra incêndio e pânico (HADJISOPHOCLEOUS, BÉNICHOU, 2000; LUNDIN, 2005), foco principal deste trabalho, sua efetiva aplicação ao Brasil é hoje um assunto em discussão (TAVARES, 2008), sendo a legislação brasileira de natureza basicamente prescritiva (CLARET; MATTEDI, 2011). Entretanto, mesmo neste cenário o uso de programas de desempenho pode contribuir para o projeto e, conseqüentemente, para a obtenção de ambientes construídos mais seguros, complementando a aplicação das normas.

Dentro dos programas de desempenho, a modelagem computacional e a simulação da movimentação de pessoas em um ambiente construído, tanto em situações de normalidade quanto de emergência, são ferramentas tecnológicas que já se encontram disponíveis (PELECHANO; ALLBECK; BADLER, 2008), mas que também estão distantes de serem cotidianamente utilizadas. O estudo do perfil do deslocamento humano em um ambiente possibilita a obtenção de uma gama de informações que permitem uma melhor compreensão dos sistemas em que estão inclusos, facilitando ou promovendo seu aprimoramento e otimização. Além de sua aplicação na segurança contra incêndio e pânico, tais abordagens podem ser aplicadas a diversos outros segmentos tais como planejamento, logística, pesquisa operacional, roteirização, robótica, automação, entre outros.

São muitas as informações que uma simulação da movimentação humana pode fornecer como, por exemplo, verificar as distâncias a serem percorridas e os tempos estimados gastos na movimentação, fornecer exemplos de percursos a serem seguidos, estudar o surgimento de efeitos emergentes entre as pessoas (complexidade),

observar as interações entre pessoas-estrutura-ambiente, analisar o desempenho de uma edificação em relação a algum quesito específico, dentre outros. Isto pode ser valoroso tanto na etapa de projeto como também para estudo do impacto da realização de eventuais alterações na edificação.

Algumas destas ferramentas computacionais podem ser bem sofisticadas, permitindo, por exemplo, o estudo da movimentação humana durante o abandono de um ambiente em uma situação de emergência provocada por um incêndio e seu relacionamento com a alteração das condições ambientais (temperatura, fumaça) da edificação (RODRIGUES; BONITESE, 2008; GALEA *et al.*, 2008). Entretanto a utilização correta destes recursos computacionais pode também exigir grande conhecimento e experiência por parte do responsável pelo uso desta ferramenta.

Contudo, existem alguns recursos tecnológicos mais simples e que não requerem grandes investimentos na aquisição de software e nem de treinamento ou suporte especializado, mas que podem fornecer algumas informações úteis ao projetista relacionadas à movimentação de pessoas em um ambiente, incluindo os mapas de distâncias. A geração dos mapas de distâncias pode ser realizada por algoritmos relativamente simples, portanto podem ser diretamente incorporados em ferramentas tecnológicas tradicionais de suporte ao projeto arquitetônico, não necessitando de programas específicos. A partir de um mapa de distâncias pode ser obtido o deslocamento a ser percorrido entre pontos quaisquer do ambiente, o tempo estimado para este deslocamento ocorrer, assim como o próprio percurso a ser seguido.

Ressalva-se que os mapas de distâncias já são conhecidos (THOMPSON; MARCHANT, 1995); entretanto, quase que exclusivamente estão associados a programas de desempenho mais completos, servindo apenas como uma ferramenta de suporte a esses programas. Além disso, os algoritmos empregados para a geração dos mapas de distâncias são, normalmente, minimamente detalhados e muito raramente tem os erros inerentes ao seu uso informados.

Adicionalmente, há atualmente um esforço no aprimoramento das tecnologias envolvidas na melhoria da qualidade e produtividade relacionadas ao segmento da Habitação de Interesse Social (HIS). A situação brasileira é grave, pois uma parcela significativa da população carece de acesso a moradias dignas (KOWALTOWSKI *et al.*, 2015).

As edificações populares são projetadas normalmente para terem seus custos de construção reduzidos ao extremo, de modo a se tornarem acessíveis à maior parcela possível da população. No quesito de qualidade da segurança contra

incêndio e pânico, contudo, algumas vezes estas edificações podem não possuir elevado desempenho em situação de incêndio em relação a eventuais sinistros. Isto pode acontecer, pois ainda no momento do projeto, visando a redução nos custos envolvidos na execução, os itens relacionados ao Processo de Segurança Contra Incêndio e Pânico (PSCIP) podem ser minimizados ao máximo dentro dos limites legais. Existe inclusive até mesmo a indicação que algumas simplificações adotadas podem estar desrespeitando alguns dos requisitos mínimos (SILVA; TINÓCO, 2013).

Existem edificações residenciais multifamiliares do segmento de HIS que possuem no seu projeto apenas alguns extintores de incêndio, sinalização básica de saída e iluminação de emergência, sem outros recursos tais como sistema de hidrantes, chuveiros automáticos, compartimentações horizontal e/ou vertical, formação de uma efetiva brigada de incêndio, controle formal dos materiais utilizados no acabamento, entre outros.

Dessa maneira, torna-se especialmente relevante a realização de estudos de desempenho nestas edificações, de forma a verificar se a simplificação dos requisitos de segurança contra incêndio e pânico, mesmo quando acontece rigorosamente amparada pelos limites da legislação prescritiva, não coloca em risco a segurança da edificação e de seus usuários. Neste sentido, apesar dos mapas de distâncias de modo algum substituírem a realização de um estudo de desempenho mais aprofundado, os mesmos podem contribuir com o aumento do conhecimento da edificação de uma forma simples e rápida.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar os mapas de distâncias e a sua geração por dois diferentes critérios de pesquisa do algoritmo de busca (pesquisa direta pelas primeiras vizinhanças de Von Neumann ou de Moore), além da seleção do critério considerado como o mais adequado pela avaliação qualitativa do perfil do melhor percurso gerado. Também tem como objetivo gerar o mapa de distâncias para uma HIS de cinco pavimentos e, com base nos dados obtidos da modelagem, realizar uma discussão de aspectos relacionados à qualidade da segurança contra incêndio e pânico desta edificação.

## Fundamentação

### Mapas de Distância: definição e algoritmos

O mapa de distâncias é uma matriz usualmente bidimensional, suficientemente refinada para representar o ambiente construído em estudo. Ele contém, em cada um dos seus elementos, que estão associados no ambiente real as regiões que podem servir como rota de movimentação, o valor da distância desse elemento a outro elemento, previamente definido como sendo o elemento alvo. Estes

elementos alvo podem ser uma saída de emergência ou uma zona de refúgio, por exemplo. O mapa de distâncias pode ser gerado por algoritmos de busca e exploração.

Existe uma grande variedade de algoritmos de busca e exploração, mas de modo geral estes podem ser considerados como estratégias de inteligência computacional para a resolução de problemas (RUSSELL; NORVIG, 2004). Os algoritmos de busca e exploração aqui tratados são especificamente da classe *pathfinder*, pois visam encontrar melhores percursos entre dois pontos distintos de um ambiente (STOUT, 1996).

No presente estudo, o melhor percurso ou rota entre dois pontos pode ser obtido pelo mapa de distâncias. Para isso, estando inicialmente em qualquer lugar do ambiente discretizado, basta selecionar aquele elemento imediatamente vizinho ao seu, que possua a menor distância ao alvo indicado no mapa de distâncias, e se transferir para este elemento vizinho. Feita esta movimentação, continua-se pesquisando e se transferindo para aquele elemento imediatamente vizinho que sempre contenha a menor distância ao alvo. Repetindo sucessivamente este processo de pesquisa, seleção e transferência, em um número finito de iterações será encontrado o objetivo final, através da rota (ou por uma das rotas) de menor comprimento ou custo. Decorre daí relevância do algoritmo de geração do mapa de distâncias para se encontrar a rota de menor percurso.

Simplificadamente, um algoritmo intuitivo capaz de gerar um mapa de distâncias em um ambiente construído consiste em realizar uma pesquisa nas casas imediatamente vizinhas aos elementos alvos, identificando as casas livres para movimentação. Considerando o ambiente discretizado na forma de uma matriz bidimensional, nos elementos imediatamente vizinhos aos elementos alvos do mapa de distâncias que representam casas livres são então registradas as distâncias de cada um destes elementos à casa alvo. Neste momento, estas casas livres no mapa de distância terão o valor "1", pois se trata da primeira iteração. Nota-se que para isso a vizinhança considerada abrange apenas os elementos da matriz que estão imediatamente acima, abaixo, à direita e à esquerda dos elementos alvos.

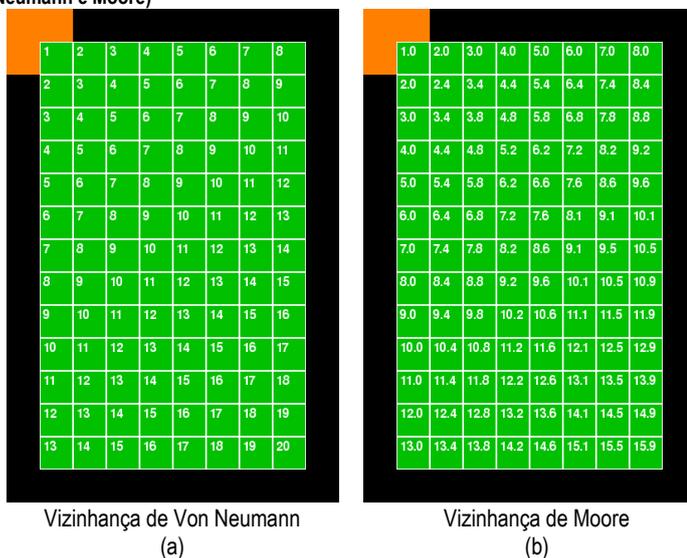
Tendo sido pesquisadas todas as casas imediatamente vizinhas do alvo, a busca segue pesquisando todas as novas casas vizinhas destas últimas casas anteriormente pesquisadas, identificando seus elementos vizinhos livres para movimentação e ainda não pesquisados. Nos elementos do mapa de distâncias que representam estas novas casas livres identificadas são registrados a nova distância de cada um destes elementos da casa objetivo mais próxima. O procedimento é repetidamente seguido até que todo o ambiente tenha sido pesquisado. Ao final do processo, o respectivo mapa de distâncias do ambiente terá

sido obtido.

No caso acima apresentado, a primeira vizinhança considerada foi apenas a vizinhança de Von Neumann (VVN). Uma alteração neste algoritmo seria considerar a vizinhança de Moore (VM), onde os elementos imediatamente vizinhos nas diagonais também são considerados (WOLFRAM, 1983). O raciocínio do algoritmo modificado é o mesmo, entretanto, no mapa de distâncias do elemento vizinho pesquisado, ao invés de acrescentar o valor de “1” elemento de distância, deve-se acrescentar o valor de “ $\sqrt{2}$ ” elemento de distância quando a casa livre vizinha considerada estiver em diagonal a casa base. Este algoritmo em ambas variações de vizinhança de pesquisa é detalhadamente descrito e ilustrado em Braga, Moita e Almeida (2016a).

Para melhor ilustrar um ambiente construído e seu respectivo mapa de distâncias, a Figura 1 apresenta uma representação em vista de topo de um ambiente simples (sem escala), de geometria retangular com uma saída em um dos cantos, onde as paredes estão na cor preta e a saída na cor laranja. Também mostra os mapas de distância com o número de elementos até a saída mais próxima (fundo na cor verde), para cada um dos elementos livres do ambiente obtidos para ambas as vizinhanças de pesquisa.

Figura 1 – Representações em vista de topo de um ambiente construído (sem escala) com as paredes na cor preta, a saída na cor laranja, e a região livre para movimentação em verde, tendo ao fundo os respectivos mapas de distâncias obtidos para as duas variações de vizinhança de pesquisa consideradas (Von Neumann e Moore)



Fonte: Os autores

Do mapa de distâncias, diversas grandezas importantes podem ser facilmente obtidas, como a distância pontual ( $D_p$ ) entre um ponto qualquer do ambiente e o alvo considerado, a identificação visual e a determinação numérica do ponto do ambiente mais distante ao objetivo ( $D_{max}$ ), da evolução qualitativa e quantitativa do distanciamento do ambiente em relação ao objetivo, assim

como do melhor percurso a ser seguido até o objetivo. Muitas vezes, o mapa de distâncias é representado por faixas de cores (THOMPSON; MARCHANT, 1995), onde cada faixa de cor representa uma faixa de distanciamento fixa em relação ao ponto objetivo.

Apesar do ambiente da Figura 1 ter sido, por motivos didáticos, propositalmente simples, os mapas de distâncias podem ser diretamente gerados pelos algoritmos *pathfinder* para ambientes de qualquer tamanho (desde um único cômodo até uma grande indústria ou condomínio), com qualquer tipo de leiaute interno ou externo e com qualquer número de pavimentos (BRAGA *et al.*, 2016b).

Adicionalmente, foi verificado na comparação com valores reais da distância entre pontos específicos do ambiente e o alvo, que os erros quantitativos encontrados nos mapas de distância gerados pelo algoritmo segundo a VM são muito inferiores aos erros gerados pelo algoritmo segundo a VVN (BRAGA *et al.*, 2016a). De qualquer maneira, necessita-se ainda da comparação qualitativa das diferenças entre os percursos gerados entre ambas as variações do algoritmo.

#### Detalhamento da HIS em estudo

A edificação específica a ser tratada neste estudo consiste em uma unidade habitacional de baixo custo estruturada em aço, já utilizada em programas habitacionais da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano de São Paulo (CDHU-SP). Esta edificação apresenta uma tipologia tipo “H” com cinco pavimentos de dois blocos cada, interligados pela caixa da escada. Cada pavimento de um bloco possui dois apartamentos, possuindo portanto dez apartamentos por bloco ou vinte apartamentos por edificação.

Além dos motivos já expostos, a escolha desta edificação também se deu pela mesma já ter sido detalhadamente descrita na literatura, havendo inclusive um estudo de desempenho contra incêndio e pânico (BONITESE, 2007; RODRIGUES; BONITESE, 2008), o que facilita sua modelagem e também permite a comparação de alguns dos resultados obtidos pelas diferentes metodologias empregadas.

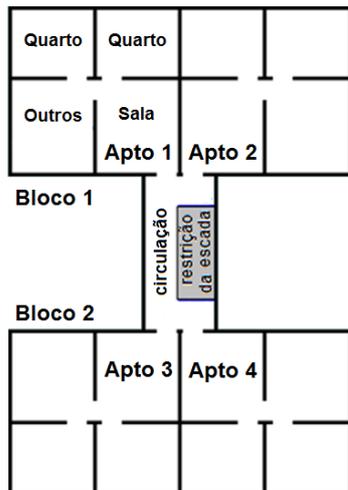
Conforme o projeto (BONITESE, 2007), cada apartamento possui dois dormitórios de 8,65 m<sup>2</sup> cada, um banheiro (2,59 m<sup>2</sup>), sala (11,88 m<sup>2</sup>), cozinha (4,32 m<sup>2</sup>), e pequena área de serviço, perfazendo um total de 46,29 m<sup>2</sup> de área construída. A área construída considerada por bloco é de 462,90 m<sup>2</sup> e a altura da edificação (relativo ao nível do piso do quinto pavimento) é de 10,40 m.

Além disso, percebe-se que na concepção do projeto desta edificação foram realizados esforços para que, mesmo sempre procurando atender a todos os requisitos legais pertinentes, o processo de proteção contra incêndio e

pânico fosse simplificado ao máximo de modo a se reduzir os custos de sua implantação. Este é um ponto importante a ser discutido, ou seja, até que ponto estas simplificações são aceitáveis, mesmo que legalmente permitidas?

A Figura 2 apresenta uma representação esquemática da planta tipo da edificação. Para facilitar as simulações, foram feitas algumas pequenas simplificações em relação ao projeto original em pontos que não interferem nos resultados das simulações. Na Figura 3 é apresentada uma foto de HIS já construídas com esta tipologia na cidade de Limeira-SP.

Figura 2 - Representação em vista de topo (sem escala) de um andar tipo da HIS de cinco pavimentos em estudo



Fonte: Os autores, baseado no projeto arquitetônico apresentado por Bonitese (2007)

Figura 3. Imagem da HIS de cinco pavimentos cuja tipologia é estudada neste trabalho (Limeira-SP)



Fonte: imagem adaptada do sítio Google Street View (acessado em 24 mar. 2016)

## Resultados

Todos os algoritmos computacionais aqui apresentados foram implementados em linguagem Python 3.4 e constam do programa Fuga v. 1.0 (BRAGA *et al.*, 2016b). O programa Fuga possui diversos módulos, entre eles o CAD, o GRID e o PATH. O módulo CAD permite a representação gráfica discretizada do ambiente construído real, o módulo GRID gera o mapa de distâncias para a edificação, conforme o algoritmo *pathfinder* selecionado, e o módulo PATH gera a respectiva rota de encaminhamento.

Tanto na implementação como nas simulações foi utilizado um computador pessoal simples (sistema operacional Windows XP, 32 bits, processador Intel Pentium Dual, 2 GHz de processamento). A resolução da discretização do ambiente empregada nas modelagens foi de 5 cm.

## Geração de percursos

Estando num posicionamento inicial qualquer, o percurso ótimo indicado pelo algoritmo é aquele que permitir alcançar o objetivo seguindo uma trilha perpassando sempre pelo menor valor disponível de Dp apresentado no mapa de distâncias. Entretanto, no ambiente podem existir muitos pontos, a partir dos quais, existe mais de uma opção de movimentação com o mesmo custo. Esta característica é resultado da discretização do ambiente e da natureza da evolução imposta pelos algoritmos.

Na Figura 1, por exemplo, percebe-se que existem muitas casas cujo valor de distância indicado por duas casas vizinhas é o mesmo. Na Figura 1a, o elemento no canto inferior direito possui um valor de Dp de “20” (será o elemento referência deste exemplo). O elemento vizinho à esquerda deste elemento referência possui um valor de Dp de “19”, entretanto o elemento vizinho acima deste elemento referência também possui este mesmo valor de Dp.

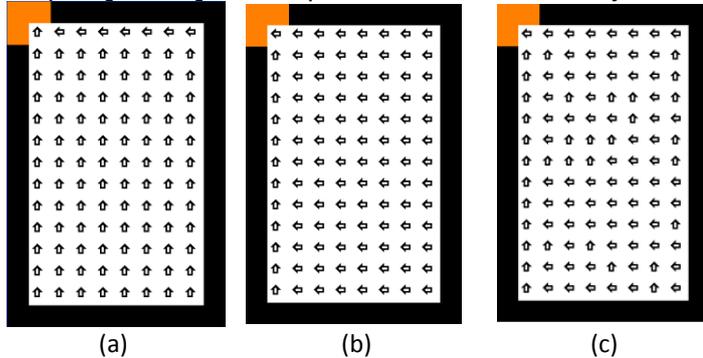
Assim, a partir do elemento referência considerado, uma rota rumo à saída passando inicialmente pelo elemento à esquerda, ou uma rota rumo à saída passando inicialmente pelo elemento acima, podem possuir exatamente o mesmo custo. Diante do exposto, não existe necessariamente um único melhor caminho indicado, mas usualmente vários melhores caminhos. Torna-se necessário definir uma estratégia para seleção de qual o melhor caminho deve ser escolhido.

São vários os possíveis critérios de seleção que podem ser adotados. Pode-se, por exemplo, escolher sempre o elemento com a menor distância linear em relação à saída, ou escolher uma direção preferencialmente em relação às outras, ou, simplesmente escolher aleatoriamente entre as opções de casas com mesmo Dp. O perfil de deslocamento ao longo do ambiente poderá variar enormemente em função do critério de seleção do melhor caminho, mas todos sempre apresentam o mesmo custo.

Na Figura 4 são apresentadas, por meio de setas para o ambiente da Figura 1, três possibilidades distintas de deslocamentos até os alvos fornecidos pelo algoritmo de busca conforme a VVN. Na Figura 4a a seleção do melhor caminho indicado, em caso de mais de uma opção similar, foi definida pela escolha da direção “acima”, em detrimento das demais. Já na Figura 4b foi adotada que, em caso de mais de uma opção similar, a direção “à esquerda” teria preferência sobre as demais. Finalmente,

na Figura 4c, foi adotada como critério de seleção a escolha aleatória entre direcionamentos com custos similares (sem preferências).

Figura 4 - Ambiente da Figura 1 estilizado com setas indicando o melhor caminho a ser escolhido entre um ponto qualquer no ambiente até o alvo (na cor laranja) obtido pelo algoritmo segundo a VVN para três diferentes critérios de seleção



Fonte: Os autores

Ressalta-se que, independente do roteiro indicado, as rotas propostas pelas Figuras 4a, 4b e 4c realizam uma movimentação até o alvo sempre rigorosamente com o mesmo custo, segundo o algoritmo utilizado, e considerando um ponto específico único de origem.

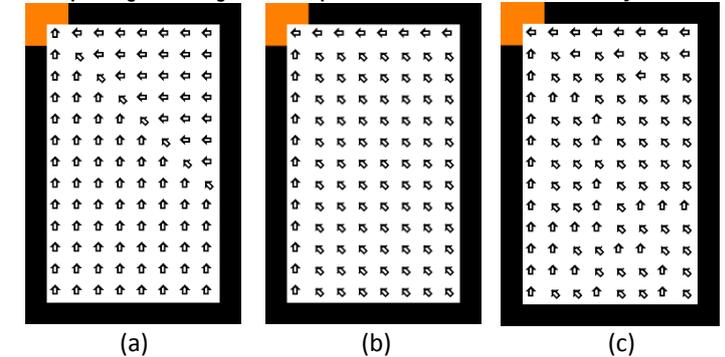
A Figura 5 repete o exemplo da Figura 4, mas agora sobre o mapa de distâncias gerado pelo algoritmo utilizando a VM.

São apresentadas na Figura 6 exemplos das diferentes rotas de encaminhamento que podem ser obtidas. Assim, é possível uma melhor visualização das diferenças entre as rotas que podem ser obtidas pela aplicação do algoritmo de busca em função da vizinhança de pesquisa adotada e do critério de desempate para a seleção de rotas de igual custo.

Na Figura 6 todas as movimentações se iniciam no elemento livre mais distante da saída que está localizado no canto inferior direito do ambiente e está identificado

com uma seta na cor vermelha. O roteiro seguido até o alvo está indicado por setas na cor azul.

Figura 5 - Ambiente da Figura 1 estilizado com setas indicando o melhor caminho a ser escolhido entre um ponto qualquer no ambiente até o alvo (na cor laranja) obtido pelo algoritmo segundo a VM para três diferentes critérios de seleção

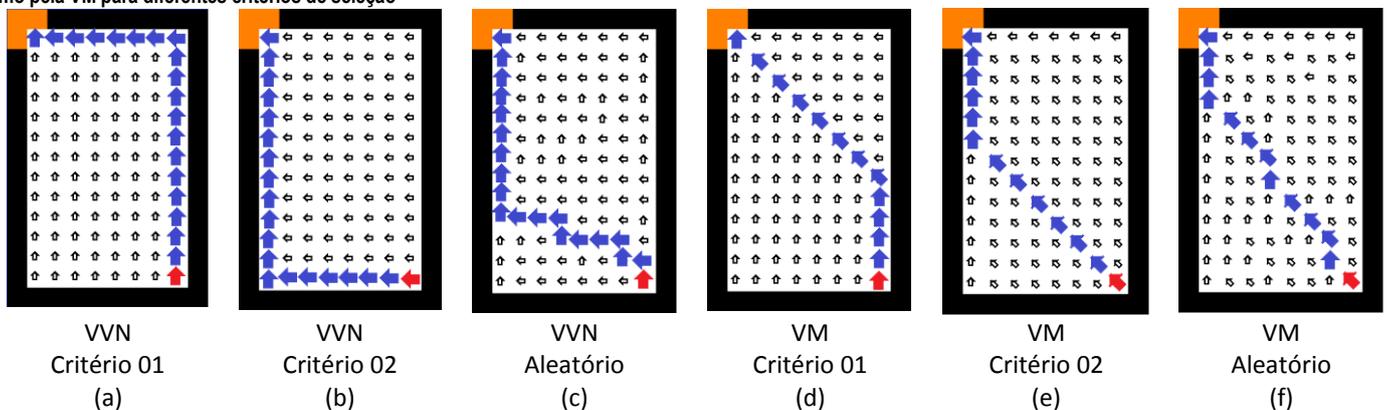


Fonte: Os autores

Pelas Figuras 6a e 6b percebe-se que a diferença entre as rotas que podem ser obtidas considerando a VVN é marcante. Nas Figuras 6d e 6e as diferenças entre as rotas que podem ser obtidas considerando a VM também é grande, mas muito menor que para a VVN. Entretanto, a não consideração preferencial de nenhum critério específico (Figuras 6c e 6f) diminuiu estas diferenças resultando em rotas mais intermediárias entre as obtidas pelos critérios específicos de seleção.

Considerando que o caminho ideal entre o ponto inicial (seta na cor vermelha) e a saída (na cor laranja) seria aproximadamente uma linha reta cruzando diretamente pela diagonal do ambiente, verifica-se, qualitativamente, que o perfil da rota mais próxima da ideal é o gerado pela consideração da pesquisa segundo a VM concomitante com o critério de seleção aleatório (Figura 6f). Estes resultados corroboram o estudo prévio quantitativo que comparou os valores pontuais de distância encontrados (BRAGA *et al.*, 2016a).

Figura 6 - Diferentes roteiros de movimentação obtidos para a Figura 1 pelos mapas de distância gerados (Figuras 1a e 1b) considerando tanto a pesquisa segundo a VVN como pela VM para diferentes critérios de seleção



Fonte: Os autores

Assim, por ser mais próximo do ideal teórico, tanto quantitativamente como qualitativamente pelo perfil de encaminhamento gerado, deste ponto em diante somente será considerado neste trabalho o mapa de distâncias obtido pela pesquisa segundo a VM e as respectivas rotas de encaminhamento considerando o critério de seleção aleatório.

### A Planta Baixa Completa da HIS

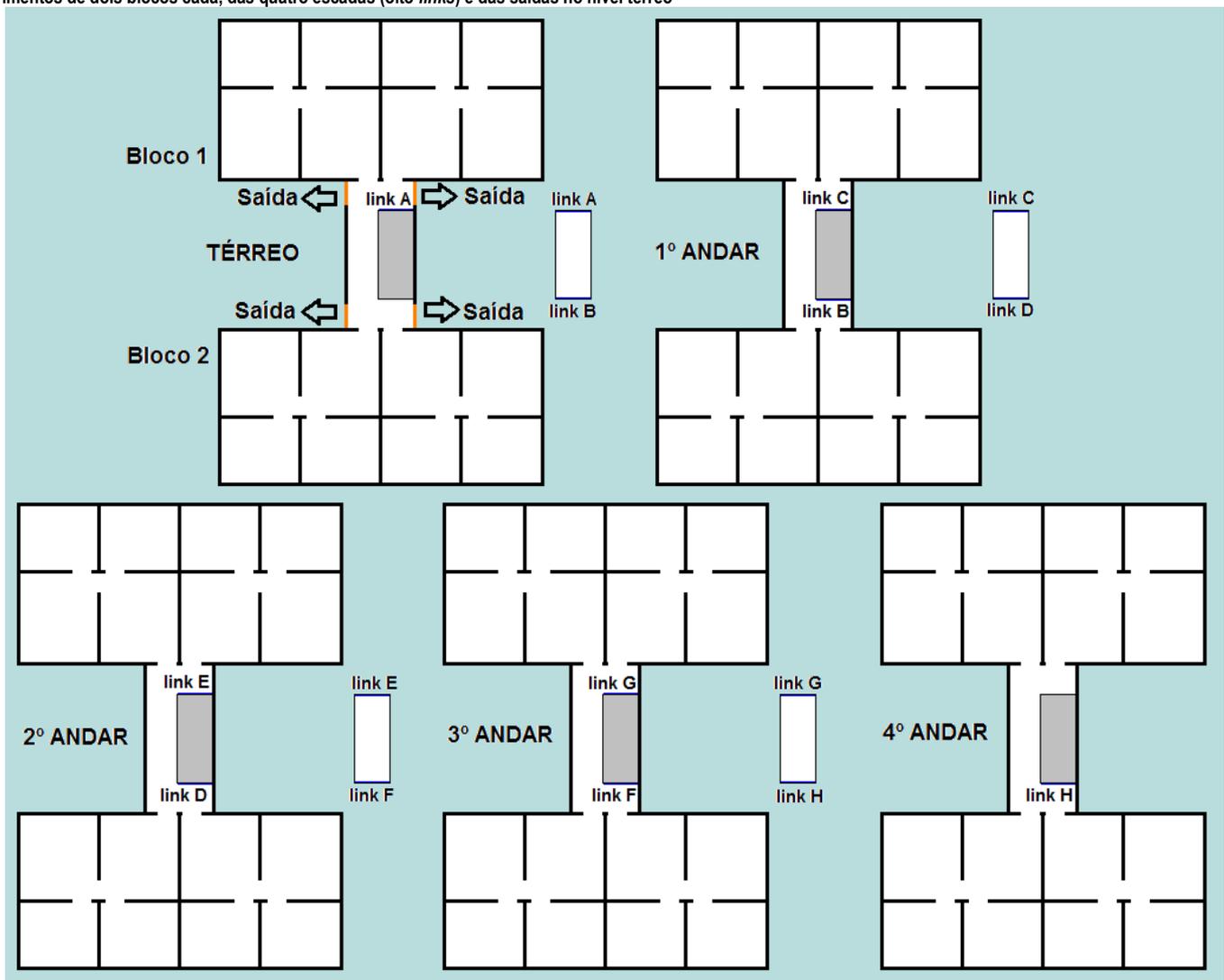
Na Figura 7 é apresentada a planta baixa gerada pelo módulo CAD do programa Fuga de toda a HIS em uma forma bidimensional (planificada). Todas as saídas na cor laranja estão indicadas pelas setas e ficam no primeiro pavimento. A entrada única de cada um dos quatro apartamentos de cada pavimento ocorre pela sala com os dois quartos ficando mais ao fundo. A cor azul claro em volta dos pavimentos representa uma região que não é utilizada nas simulações, a cor branca representa a região

interna dos pavimentos e das escadas que pode ser considerada livre para a movimentação, e a cor preta representa as paredes da edificação.

Ainda na Figura 7, a cor cinza identifica as regiões do ambiente cuja movimentação não é possível devido às restrições causadas pelas escadas e as tênues linhas na cor azul escuro identificam os respectivos *links* entre as escadas e os pavimentos.

A introdução destes oito *links* (A, B, C, D, E, F, G e H) é fundamental para o tratamento das escadas pelo módulo GRID do programa Fuga. O *link* A une o primeiro pavimento (ou nível térreo) com a escada entre o primeiro e segundo pavimentos. O *link* B une esta mesma escada com o segundo pavimento (ou primeiro andar). O *link* C une o segundo pavimento com a escada entre o segundo e terceiro pavimentos.

Figura 7 - Planta baixa simplificada (sem escala) gerada pelo programa Fuga de toda a HIS em uma forma bidimensional (planificada), com a identificação dos seus cinco pavimentos de dois blocos cada, das quatro escadas (oito *links*) e das saídas no nível térreo



Fonte: Os autores

Ainda, o *link D* une esta mesma escada com o terceiro pavimento (ou segundo andar). O *link E* une o terceiro pavimento com a escada entre o terceiro e quarto pavimentos. O *link F* une esta mesma escada com o quarto pavimento (ou terceiro andar). O *link G* une o quarto pavimento com a escada entre o quarto e quinto pavimentos. E finalmente o *link H* une esta mesma escada com o quinto pavimento (ou quarto andar).

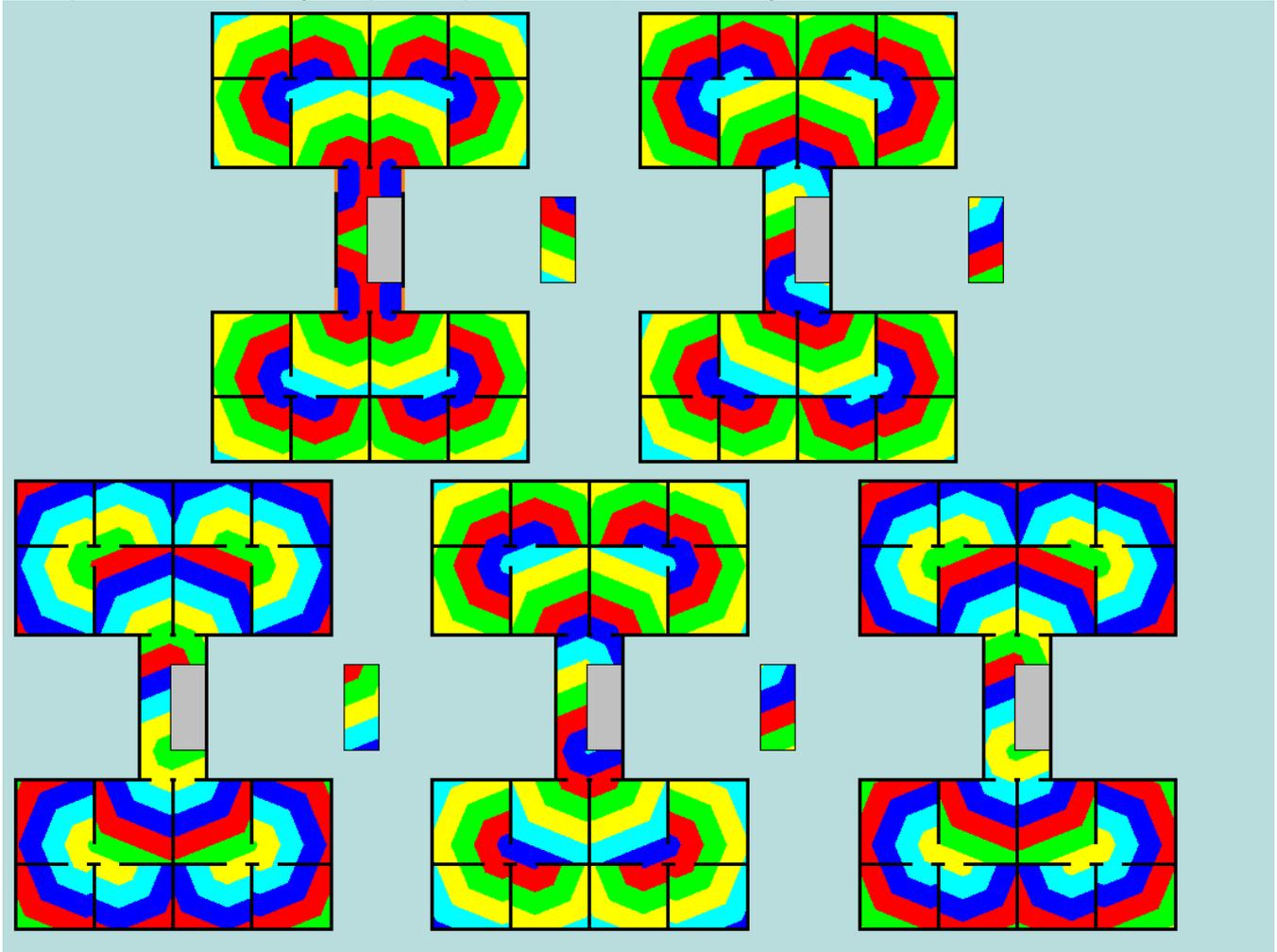
Desta forma, a planta da HIS está completamente descrita e pronta para ser simulada pelo módulo GRID, que fará a

devida interpretação dos *links* e demais regiões gerando o respectivo mapa de distâncias.

#### O Mapa de Distâncias para a HIS de Cinco Pavimentos

A Figura 8 apresenta o mapa de distâncias representado por faixas de cores gerados pelo módulo GRID do programa Fuga para o ambiente da Figura 7. Cada faixa de cor significa um distanciamento de 1 m dos alvos (a saída mais próxima localizada no nível térreo).

Figura 8 - Mapa de distâncias da HIS da Figura 7 representado por faixas de cores, onde cada faixa significa um distanciamento de 1 m das saídas



Fonte: Os autores

Para melhor compreensão qualitativa do significado do mapa de distâncias da Figura 8, apresenta-se a seguir uma explicação de alguns pontos da evolução das primeiras faixas de cores:

- Inicialmente o algoritmo começa sua pesquisa nas vizinhanças de todas as saídas do primeiro pavimento (andar térreo), gerando as primeiras faixas na cor azul escura (indica um distanciamento de até 1 m da saída mais próxima);
- Ainda dentro da primeira faixa de cor azul escura a pesquisa já entra na sala de todos os quatro apartamentos do primeiro pavimento e também já atinge o *link A*;
- A busca acontece agora tanto dentro do primeiro pavimento como também dentro da escada que vai até o segundo pavimento;
- Quando a busca atinge o final desta escada (*link B*), ela está no início da primeira faixa azul claro (distanciamento entre 4 e 5 m);

- Logo depois, a busca atinge a entrada de todos os quartos do bloco 2 do segundo pavimento na segunda faixa de cor azul escura (distanciamento entre 5 e 6 m) e também passa a seguir no segundo pavimento;
- O término da busca do primeiro pavimento termina no início da segunda faixa azul claro (distanciamento aproximado de 9,5 m);
- Neste momento, a busca atinge o *link* C e também passa a seguir dentro da escada entre o segundo e terceiro pavimentos.

Seguindo continuamente este raciocínio, pode-se acompanhar visualmente toda a evolução do distanciamento em relação à saída mais próxima para todo o ambiente.

Obviamente que, apesar do caráter visual das faixas, todos os valores numéricos exatos são fornecidos e disponíveis para consulta. Verifica-se que o maior distanciamento

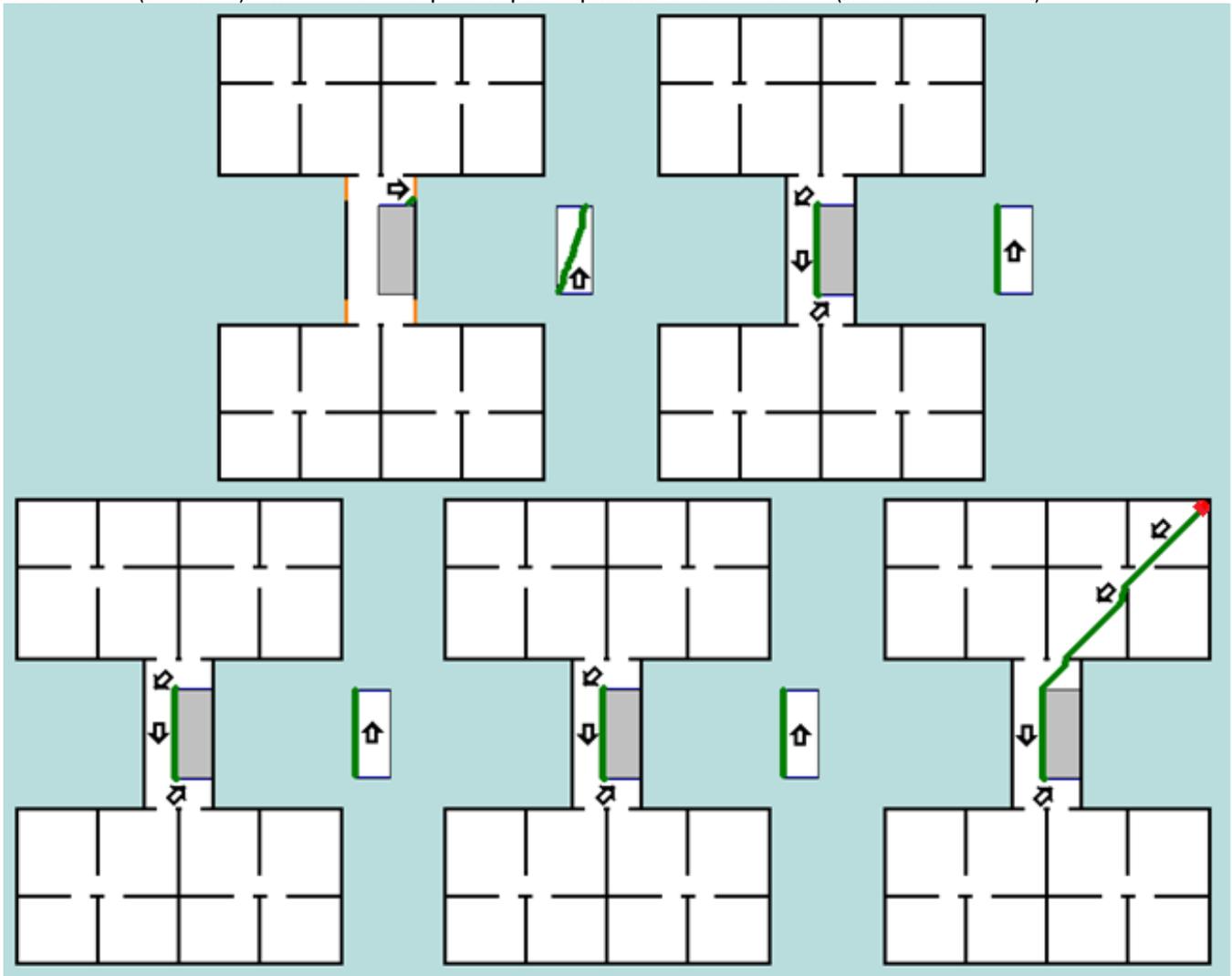
ocorre no canto direito da parede do fundo do apartamento 2 (bloco 1) do quinto pavimento, que é de 42,25 m (início da nona faixa verde), e que a distância média a ser percorrida em toda a edificação rumo a saída mais próxima é de 20,65 m.

Com o mapa de distâncias da HIS obtido, o programa Fuga pelo módulo PATH pode agora gerar a melhor rota de encaminhamento rumo à saída mais próxima para qualquer ponto desejado do ambiente.

#### A Rota de Maior Deslocamento e o Tempo de Movimentação

De todos os possíveis posicionamentos, um dos mais importantes para estudo é o ponto que proporciona o maior deslocamento até a saída ou alvo. Assim, na Figura 9 é apresentada, na cor verde, a melhor rota até a saída mais próxima conforme o algoritmo utilizado considerando, como sendo o posicionamento inicial, o ponto mais afastado da saída (indicado pelo ponto vermelho).

Figura 9 - Melhor rota (na cor verde) da HIS até a saída mais próxima a partir do ponto mais distante do ambiente (indicado na cor vermelha)



Fonte: Os autores

Para facilitar o entendimento, foram adicionadas setas indicando o sentido da movimentação, começando no ponto mais distante do quinto pavimento, seguindo rumo à escada, e descendo andar por andar até atingir a saída mais próxima no primeiro pavimento (na Figura 9 a sequência se inicia pelo ponto vermelho e segue da direita para a esquerda e de baixo para cima).

Além da distância a ser percorrida, para se estimar o tempo gasto no deslocamento é necessário se estabelecer a velocidade normal de movimentação. Apesar de na verdade não existir uma única velocidade humana média, pois ela pode variar enormemente entre os sexos, entre faixas etárias, e até mesmo entre indivíduos e diferentes situações, é comum o seu emprego em modelagens.

Thompson e Marchant (1995) consideram que a velocidade normal de deslocamento varia em função da distância entre pessoas, mas que apresenta valores normais de 1,7 m/s para homens adultos jovens, de 0,8 m/s para mulheres com mais de 55 anos, e que o valor de 1,4 m/s poderia ser considerado como um valor médio aceitável para simulações.

Outros estudos já consideram um valor médio de 1,2 m/s de velocidade para adultos capacitados em áreas niveladas ou rampas considerando uma densidade populacional máxima de 0,54 pessoas/m<sup>2</sup>, e que, em locais onde as pessoas de locomovem mais vagarosamente, um valor estimado para a velocidade seria de 0,6 m/s (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002).

Baseado nestes valores, considerando as situações mais restritivas e adicionalmente alguns fatores que podem reduzir ainda mais esta velocidade, como levar consigo uma criança jovem, descer escadas e um efeito redutor devido a pequenas aglomerações rumo à saída (mas que não impedem o deslocamento), será neste trabalho considerada uma velocidade de deslocamento de 0,5 m/s (pior cenário). Assim, a pessoa mais distante vai gastar aproximadamente 85 s de efetiva movimentação para abandonar a edificação.

Além do tempo de efetivo deslocamento, o tempo de escape precisa considerar o tempo de detecção, o tempo de alarme e o tempo de pré-movimento, entre outras parcelas, que devem ser somados no final. Estes outros tempos tem um papel de fundamental importância, pois podem até mesmo serem maiores que o próprio tempo de movimentação efetiva. Em edificações residenciais, pode ser considerado para o tempo de pré-movimento o valor de 120 s, para um abandono orientado por aviso sonoro por meio de alto-falantes, ou de 360 s considerando apenas o disparo de um alarme (GOUVEIA; ETRUSCO, 2002).

Considerando então o tempo de movimentação efetiva de 85 s e um tempo de pré-movimento de 120 s (melhor situação), estima-se como sendo um tempo razoável para

ser considerado para a desocupação desta HIS em um incêndio real, mas sem maiores complicações, como, por exemplo, a existência de pessoas dormindo ou totalmente incapacitadas, como sendo de no mínimo 205 s.

Ressalta-se que todos esses fatores, notadamente o tempo de resposta para o início do encaminhamento, também dependem de fatores culturais. Entretanto, simplesmente não existem números disponíveis representativos da população brasileira. Assim, todos os dados acima relativos aos tempos de resposta foram baseados em informações encontradas em literatura técnica, no caso oriundo de pesquisas focadas no comportamento observado da população britânica.

## Discussões

Os mapas de distâncias se apresentam como um instrumento tecnológico relativamente simples e objetivo que pode contribuir com o conhecimento da segurança da edificação, trazendo informações tais como a distância máxima a ser percorrida até a saída mais próxima, a distância pontual em qualquer posição do ambiente até a saída e as melhores rotas de movimentação. Também permitem a estimação dos tempos gastos nesta movimentação.

Reitera-se que a aplicação dos mapas de distâncias deve ser vista como um complemento ou um recurso extra que pode ser mais facilmente aplicado. Estudos diversos tais como análises de ocorrências reais de incêndio em HIS (SILVA *et al.*, 2007) ou em protótipos (BELLEI; INABA; VARGAS, 2014), a realização de experimentos *in silico* de desempenho mais completos (RODRIGUES; BONITese, 2008) ou a verificação da segurança em um momento pós-ocupação (PEREIRA; GONZÁLEZ, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2015) são insubstituíveis.

Em seu estudo desta HIS, Bonitese (2007) considerou, para aplicação de normas como a NBR 9077 (ABNT, 2001), a existência de mais de uma saída de emergência da edificação. Entretanto, este é um ponto aberto para discussão já que todo o encaminhamento até o exterior se dá por um único roteiro, sem nenhum caminho alternativo (Figura 9). Qualquer problema que ocorra no caminho até a saída pode dificultar ou mesmo impedir a fuga, pois não existem rotas alternativas.

Considerando as pessoas que estão nos pavimentos superiores, somente quando estas já atingirem o térreo é que passarão a contar com duas rotas, mesmo assim minimamente independentes. Desta forma, apesar da HIS em estudo fisicamente possuir mais de uma saída de emergência no que tange a descarga, para fins práticos é quase como se somente uma única saída realmente existisse para todos aqueles que não estão posicionados no primeiro pavimento (só existe uma única escada de acesso

às descargas).

A importância da discussão deste ponto veio recentemente à tona com a tragédia da Boate Kiss (SILVA *et al.*, 2013). Nesse caso, uma sucessão de erros e acontecimentos contribuiu para a ocorrência do fato e de sua magnitude. Um desses elementos está relacionado ao posicionamento e quantidade efetiva de saídas de emergência. Apesar da boate ser uma edificação totalmente diferente da HIS aqui tratada, a legislação aplicável demandava que houvesse a necessidade de pelo menos duas saídas. Na Boate Kiss essas saídas estavam apostas lado-a-lado, ou seja, apesar de existir mais de uma saída não havia um distanciamento efetivo entre elas, o que, apesar de não ter sido o principal elemento causador da tragédia, contribuiu para dificultar a evacuação daquele ambiente.

Em relação ao tempo de desocupação, Rodrigues e Bonitese (2008) já o haviam estudado para esta HIS encontrando o valor gasto de aproximadamente 194 s após o início do incêndio. Estes pesquisadores realizaram uma modelagem de desempenho, utilizando tanto a simulação da evolução do incêndio, da concomitante geração de fumaça e também da movimentação das pessoas. Em seu estudo, consideraram o incêndio iniciado na sala de um dos apartamentos do terceiro pavimento (segundo andar) e uma população arbitrada em 83 ocupantes. Curiosamente, encontraram tempos de desocupação dos pavimentos superiores menores que os tempos de desocupação da população dos andares inferiores, porque, como não existe nenhum sistema de alarme, a percepção inicial do perigo somente se deu quando a fumaça atingiu o ambiente das pessoas, o que aconteceu inicialmente nos andares mais elevados.

Este tempo para a desocupação total (194 s) pode ser considerado similar ao encontrado neste trabalho (205 s), mas ressalta-se que as metodologias aplicadas foram totalmente diferentes e que a consideração de certos valores como o tempo de pré-movimento pode alterar significativamente estes valores.

Um ponto complementar importante, relativo aos tempos de desocupação obtidos, é que como são valores no fundo baseados no comportamento da população britânica, e como a cultura relativa à proteção contra incêndio e pânico no Brasil se encontra em estágio incipiente, permite-se prognosticar qualitativamente que, em situações reais de desocupação, os tempos requeridos no Brasil sejam normalmente superiores a estes. Para sanar esta situação de lacuna de informações, devem ser realizados estudos *in loco* voltados à nossa efetiva realidade.

Adicionalmente, sugere-se que existem medidas que não impactem no custo da edificação e que possam contribuir para a segurança do ambiente como a formação de uma brigada de emergência (ABNT, 2006) ou até mesmo o

“simples” treinamento e conscientização periódica sobre riscos de incêndio para os moradores do imóvel. Sugere-se que estas medidas possam fazer parte formal do PSCIP da edificação, mesmo se não forem legalmente obrigatórias.

Outro ponto importante está na qualidade da futura inspeção e manutenção periódica dos equipamentos de combate e prevenção a incêndio e pânico estabelecidos no PSCIP de uma HIS após sua ocupação. Pereira e González (2013) publicaram um estudo de caso em uma HIS que se apresentava quase que totalmente abandonada no que se refere a inspeção e manutenção destes quesitos. Inúmeras irregularidades foram assinaladas, como os extintores de incêndio que estavam com manutenção vencida (isso quando eram encontrados), uma iluminação de emergência que existia mas não funcionava, e boa parte da sinalização que estava desaparecida. Foi até mesmo presenciada alteração da forma de ocupação (alguns apartamentos eram utilizados como comércio) e um grande desconhecimento por parte da população de aspectos básicos relacionados à importância da prevenção e combate a incêndio e outras emergências.

Ressalta-se, ainda, que a HIS estudada por Pereira e González (2013) possuía rede de hidrantes e alarmes de incêndio, mas ambos não estavam operacionais. Aspectos relacionados à manutenção preventiva são fundamentais para a eficiência do desempenho previamente estabelecido (ABNT, 2013), além de muitos serem também requisitos normativos e/ou legais (CAMPOS, 2013).

## Conclusão

Mapas de distâncias podem contribuir com o conhecimento da segurança da edificação, trazendo importantes informações tais como a distância máxima a ser percorrida até a saída mais próxima, a distância pontual em qualquer posição do ambiente até a saída, as melhores rotas de movimentação e também permitem a estimação dos tempos gastos na movimentação. Eles não visam substituir plenamente uma análise de desempenho completa, mas pela sua simplicidade, podem ser inseridos em programas já tradicionais de suporte ao projeto, podendo ser mais facilmente gerados, sem a necessidade de maiores investimentos em treinamento ou na aquisição de outras ferramentas.

Neste estudo, as rotas de movimentação geradas pelos mapas de distâncias obtidas pelo algoritmo *pathfinder*, cuja pesquisa é feita pela vizinhança de Moore e pelo critério de desempate aleatório, apresentaram roteiros mais coerentes com os esperados do que os roteiros gerados pela pesquisa através da vizinhança de Von Neumann e/ou por outros critérios de desempate.

O projeto da Habitação de Interesse Social – HIS analisada

permite que as exigências legais obrigatórias relativas ao seu Processo de Segurança e Combate a Incêndio e Pânico – PSCIP sejam as mais simples, o que contribui na redução do custo da edificação. Entretanto, ressalva-se que, pela natureza da edificação, estas simplificações, além de atender a legislação, devem ser muito criteriosamente analisadas, visando verificar se o desempenho da edificação em situações de incêndio não será comprometido. Assim, a realização de estudos adicionais da segurança, além da simples aplicação das normas aplicáveis, torna-se especialmente de relevante valor.

Adicionalmente, sugere-se o uso de medidas simples, que não impactam no custo da edificação, e que podem contribuir em muito na segurança. A formação de uma brigada de emergência e até mesmo o treinamento e conscientização periódica sobre riscos de incêndio para os moradores do imóvel são exemplos deste tipo de medida. Sugere-se ainda que estas medidas possam fazer parte formal do PSCIP de HIS, mesmo quando não forem legalmente obrigatórias. Também se mostra de relevante valor o efetivo acompanhamento e envolvimento das autoridades competentes na situação pós-ocupação de HIS.

Os mapas de distâncias podem também contribuir no treinamento da brigada de emergência, ou mesmo, sob orientação, serem apresentados à população da edificação, pois indicam as melhores rotas até as saídas de qualquer ponto da edificação. Além disso, podem também ser obtidos outros mapas de distâncias, bastando apenas

alterar o alvo a ser alcançado na simulação, que pode ser, por exemplo, algum equipamento de segurança, ou até uma área de refúgio ou ponto de encontro em caso de alguma emergência, tanto em relação à edificação em si ou mesmo coletivamente para todo o conjunto habitacional.

Sugere-se também a realização periódica de treinamentos de abandono, pois estes contribuem enormemente na realização eventual de uma evacuação efetiva da edificação em caso de emergência, o que é especialmente importante devido à carência de medidas de proteção normalmente existentes em HIS. Além disso, esses treinamentos também auxiliam no desenvolvimento de uma cultura científica da proteção contra incêndio e pânico da população, normalmente quase tão ausente quanto necessária.

Na avaliação da segurança da HIS em questão, veio à luz mais um caso claro da necessidade de uma maior discussão sobre a questão das saídas de emergência de uma edificação, e na distinção dos seus elementos (acesso, escada, descarga, espaço exterior), a ser considerada para fins de aplicação das normas.

Finalmente, sugere-se ainda que seja valorizada, devido a grande heterogeneidade da população brasileira, a realização de estudos *in loco* sobre o comportamento humano em situações de abandono, e que, preferencialmente, sejam direcionados à população que efetivamente reside nas HIS.

---

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo suporte recebido.

## Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9077**: saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro, 2001. 40 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14276**: brigada de incêndio - requisitos. Rio de Janeiro, 2006. 33 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1** – edificações habitacionais – desempenho - parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.

BELLEI, H.N.; INABA, R.; VARGAS, M.R. Desempenho de edifício habitacional de interesse social industrializado em aço em situação de incêndio. In: CONSTRUMETAL 2014: Congresso Latino-Americano de Construção Metálica, 6, 2014, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, 2014. 5 p.

BONITESE, K.V. **Segurança contra incêndio em edifício habitacional de baixo custo estruturado em aço**. 2007. 253 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BRAGA, H.C.; MOITA G.F., ALMEIDA, P.E.M. Comparação entre os algoritmos de busca pela vizinhança de Von Neumann ou de Moore para geração do mapa de distâncias em um ambiente construído. **Abakós**, v. 4, n. 2, p. 20-40, maio 2016a.

- \_\_\_\_\_. Simulation of people flow by a new fuzzy discrete automata model and an ergonomic approach. In: KNOOP, V.L.; DAAMEN, W. (eds). **Traffic and Granular Flow'15**. Springer, Cap. 18, p.137-144, dez. 2016b. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-33482-0\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-33482-0_1).
- CAMPOS, D.T.A. Plano de inspeção predial em sistemas de segurança contra incêndio em edificações residenciais multifamiliares. **Revista Especialize On-line IPOG**, v. 6, n. 1, 21 p., dez. 2013.
- CLARET, A.M.; MATTEDI, D.L. Estudo da prescritividade das normas técnicas brasileiras de segurança contra incêndio. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 64, n. 3, p. 265-271, jul./set. 2011.
- GALEA, E.R. et al.. Coupled fire/evacuation analysis of the Station Nightclub fire. In: **International Symposium on Fire Safety Science**, 9, 2008, p. 465-476. [http://www.iafss.org/publications/fss/9/465/view/fss\\_9-465.pdf](http://www.iafss.org/publications/fss/9/465/view/fss_9-465.pdf)
- GARBINI, M.A.L.; BRANDÃO, D.Q. Proposta de modelo para implantação de processo de projeto utilizando o conceito BIM em escritórios de arquitetura. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 1, p. 7-24, jan./jun. 2014.
- GOUVEIA, A.M.C.; ETRUSCO, P. Tempo de escape em edificações: os desafios do modelamento matemático de incêndio no Brasil. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 55, n. 4, p. 257-261, out./dez. 2002.
- HADJISOPHOCLEOUS, G.V.; BÉNICHOU, N. Development of performance-based codes, performance criteria and fire safety engineering methods. **International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes**, v. 2, n. 4, p. 127-142, 2000.
- KOWALTOWSKI, D.C.C.K. et al.. Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2006.
- KOWALTOWSKI, D.C.C.K. et al.. The Brazilian housing program 'Minha Casa Minha Vida' - a systematic literature review. **Journal of the Korean Housing Association**, v. 26, n. 6, p. 35-42, 2015.
- LUNDIN, J. Development of a framework for quality assurance of performance-based fire safety designs. **Journal of Fire Protection Engineering**, v. 15, n.1, p. 19-42, 2005. <https://doi.org/10.1177/1042391505045581>
- NASCIMENTO, L.A.; SANTOS, E.T. A indústria da construção na era da informação. **Ambiente Construído**, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2003.
- PELECHANO, N.; ALLBECK, J.; BADLER, N. **Virtual crowds: methods, simulation, and control**, Morgan & Claypool Publishers, 2008.
- PEREIRA, Aderson Guimarães; GONZÁLEZ, Miguel León. Segurança contra incêndios em edificações de interesse social: estudo de caso. **Revista Brasileira de Estudos em Segurança Pública**, [S.l.], v. 5, n. 1, mar. 2013. ISSN 2175-053X. Disponível em: <<http://revista.ssp.go.gov.br/index.php?journal=rebesp&page=article&op=view&path%5B%5D=112>>. Acesso em: 13 sep. 2017.
- RODRIGUES, F.C.; BONITESE, K.V. Segurança contra incêndio em edifício de baixo custo estruturado em aço usando os softwares *Smartfire* e *Buildingexodus*, In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 33, Santiago, 2008. **Anais ...**, Santiago, 14 p., 2008.
- RODRIGUES, P.R. et al.. Post occupancy evaluation of popular housing Estate of Cordeiro in Recife (Pernambuco, Brazil). **The Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 20, n. 23, p. 12449-12458, 2015.
- RUSSELL, S.; NORVIG, P.. Busca com informação e exploração, In: **Inteligência Artificial**. 11. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. Cap. 4, p. 94-133.
- SILVA, E.C.M.; TINÓCO, M. A segurança contra incêndio nos projetos do programa de habitação de interesse social - Minha Casa Minha Vida - análise de um bloco 'tipo H'. In: PROJETAR: O Projeto como instrumento para a materialização da arquitetura: ensino, pesquisa e prática, 6, Salvador, 2013. **Anais ....** Salvador, 19 p., 2013.
- SILVA, L. et al.. **Análise do sinistro na Boate Kiss, em Santa Maria, RS**. Porto Alegre: CREA-RS, fev. 2013. Comissão Especial do CREA-RS – Relatório Técnico.

SILVA, Valdir Pignatta e et al . Incêndio real em um apartamento de interesse social: um estudo de caso. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto , v. 60, n. 2, p. 315-324, June 2007 . <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672007000200014>.

STOUT, B. Smart moves: intelligent pathfinding. **Game Developer Magazine**, p. 28-35, out./nov. 1996.

TAVARES, R.M. Prescriptive codes vs. performance-based codes: which one is the best fire safety code for the Brazilian context? **Safety Science Monitor**, v. 12, n. 1, p. 1-10, 2008.

THOMPSON, P.A.; MARCHANT, E.W. A computer model for the evacuation of large building populations, **Fire Safety Journal**, v. 24, n. 2, p. 131-148, mar./apr. 1995. [https://doi.org/10.1016/0379-7112\(95\)00019-P](https://doi.org/10.1016/0379-7112(95)00019-P)

WOLFRAM, S. Statistical mechanic of cellular automata, **Reviews of Modern Physics**, v. 55, n. 3, p. 601-644, 1983.

---

<sup>1</sup> **Henrique Costa Braga**

Engenheiro de Segurança do Trabalho. Doutorando em Modelagem Matemática e Computacional. Endereço postal: Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional – CEFET-MG. Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30510-000

<sup>2</sup> **Gray Farias Moita**

Engenheiro Civil. PhD. Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional – CEFET-MG. Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30510-000

<sup>3</sup> **Paulo Eduardo Maciel de Almeida**

Engenheiro Eletricista. Doutor em Engenharia. Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional – CEFET-MG. Av. Amazonas, 7675 – Nova Gameleira, Belo Horizonte, MG, Brasil, CEP 30510-000