

REABILITAÇÃO HIGROTÉRMICA DE EDIFÍCIOS – DESENVOLVIMENTO DE BASES DE DADOS PARA AVALIAÇÃO DE RISCO

COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR

DIANA ANDREIA SALINO CARVALHO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Co-Orientador: Professora Doutora Maria de Lurdes Simões

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2011/2012

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



mipec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos pela motivação, disponibilidade e dedicação a este trabalho. E por valorizar o meu esforço.

À Professora Doutora Maria de Lurdes Simões pela simpatia, disponibilidade, ajuda na compreensão dos conceitos de Estatística e pelas correções que me sugeriu de forma a melhorar o meu trabalho.

Aos meus colegas de curso Ana, Catarina e Filipe, pelo apoio e ajuda que me dedicaram ao longo do meu percurso académico.

Ao Ricardo.

A toda a minha família, especialmente aos meus pais, pela educação e formação que me proporcionaram, porque sem isso não chegaria até aqui.

Ao meu pai, por me ensinar algo novo todos os dias.

RESUMO

Ao longo das últimas décadas, as exigências ao nível do bom desempenho dos edifícios têm vindo a aumentar. Procura-se que o edifício seja eficiente do ponto de vista energético, higrotérmico e de custos do ciclo de vida. Estes aspetos traduzem-se no equilíbrio entre o respeito pelo meio ambiente, o conforto do utilizador e a economia dos vários recursos envolvidos na construção e funcionamento de um edifício. Muitas vezes, o resultado final das soluções propostas desvia-se do desempenho esperado, o que afeta a eficiência do edifício. Este desvio deve-se, em parte, à natureza estocástica dos dados de entrada utilizados para o estudo das soluções de engenharia.

Pretende-se contribuir para a construção de uma base de dados estocásticos que possam ser usados nas simulações numéricas e colmatem esta falha da análise determinística que é a normalmente efetuada.

Definiram-se as famílias de dados de entrada que a base de dados estocásticos deve reunir e a forma como os dados devem ser caracterizados.

Dentro de todos os tipos de dados de entrada necessários na simulação numérica de projetos de reabilitação de edifícios, foi escolhido o comportamento do utilizador para estudo nesta dissertação. Foi realizada uma pesquisa sobre este tema e a informação disponível foi organizada. Efetuou-se uma parametrização do comportamento do utilizador. Para cada parâmetro, cuja informação disponível era mais detalhada, procurou-se a forma de o incluir na base de dados estocásticos. Para tal, sintetizou-se o processo correspondente a cada parâmetro do comportamento do utilizador, simplificaram-se conceitos, de modo a sugerir metodologias de caracterização para cada parâmetro, e enumeraram-se os dados que são necessários para tal.

As famílias de dados de entrada são: *Custos, Condições fronteira, Propriedades do edifício, Comportamento do utilizador, Mão-de-obra e Sistemas mecânicos.*

Os parâmetros do comportamento do utilizador são: *Ventilar, Sombrear, Aquecer, Arrefecer, Produzir Calor, Produzir Vapor e Desumidificar.*

Salientou-se o conceito de *variável propulsora* na caracterização de cada parâmetro do comportamento do utilizador, identificando as variáveis propulsoras para os parâmetros do comportamento do utilizador *Ventilar, Sombrear e Aquecer.*

A caracterização dos parâmetros do comportamento do utilizador de forma a incluí-los na base de dados estocásticos revelou-se um processo detalhado e que necessita de continuar a ser desenvolvido.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de risco, Dado estocástico, Comportamento do utilizador, Fator de risco, Medida preventiva, Fator de ruído, Variável propulsora.

ABSTRACT

Through out the decades, there has been an increase of demands concerning the good performance of buildings. It is required for the building to be efficient from the point of view of energy, hygrothermal performance and life cycle costs. These aspects are reflected on the balance between the respect for the environment, user comfort and the economy of various resources involved in the construction and operation of a building. Often the end result of the proposed solutions deviates from the expected performance, which affects the efficiency of the building. This shift is due, in part, to the stochastic nature of the input data used in this research study for engineering solutions.

The intention is to contribute for the construction of a stochastic database that can be used in hygrothermal simulation and compensate for this flaw of the deterministic analysis which is usually performed.

The keywords of input data, that the stochastic database must gather, were defined and it was also established how that data should be characterized.

Within all the necessary types of input data, in hygrothermal simulations of building retrofitting, the user behavior was chosen for the study of this dissertation. Research was carried out on this subject and the available information was organized. It was conducted a parameterization of the user behavior. For each parameter, which had detailed information available, it was found a way to include it in the stochastic database. To this end, the process for each parameter of user behavior was synthesized, concepts were simplified in order to suggest methods of characterization for each parameter and all the necessary data was listed.

Keywords of input data: *Costs, Boundary Conditions, Properties of the Building, User Behavior, Manpower and Mechanical Systems.*

The user behavior parameters are: *Venting, Shading, Heating, Cooling, Heat Production, Moisture Production and Dehumidification.*

The concept of the driving variable was highlighted in the characterization of each parameter of the user behavior by identifying the driving variables in the parameters of user behavior *Venting, Shading and Heating.*

The characterization of the parameters of user behavior carried out to include these parameters in the stochastic database, proved to be a detailed process and has to be further developed.

KEYWORDS: Risk assessment, Stochastic data, User behavior, Hazard, Safeguard, Noise factor, Driving variable.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	3
2 AVALIAÇÃO DE RISCO HIGROTÉRMICO.....	5
2.1 ENQUADRAMENTO GERAL	5
2.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO <i>RAP-RETRO</i>	5
2.3 DEFINIÇÕES ASSOCIADAS A UMA ANÁLISE DE RISCO	6
2.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE ESTOCÁSTICA DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO	8
2.5 DADOS DE ENTRADA	10
3 BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS.....	13
3.1 ENQUADRAMENTO GERAL	13
3.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS E PROBABILÍSTICOS	13
3.2.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	14
3.2.2 ANÁLISE DE REGRESSÃO	15
3.2.3 TESTES DE HIPÓTESES	15
3.2.4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA).....	16
3.2.5 MÉTODO DE MONTE CARLO	16
3.2.6 PROCESSO ESTOCÁSTICO.....	16
3.2.7 ANÁLISE FATORIAL.....	17
3.2.8 ANÁLISE DE CLUSTERS	17
3.2.9 ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA	17
3.3 DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA	18
3.4 ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS	20
4 DADOS SOBRE O COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR.....	21

4.1	ENQUADRAMENTO GERAL	21
4.2	FONTES CONSULTADAS E DADOS MEDIDOS DISPONÍVEIS	22
4.2.1	SERVIDOR EUROPEU – HETUS	22
4.2.2	NICOL, HUMPHREYS E RIJAL	23
4.2.3	HERKEL, KNAPP E PFAFFEROTT	24
4.2.4	YUN E STEEMERS	26
4.2.5	HALDI E ROBINSON	27
4.2.6	ROETZEL ET AL.	30
4.2.7	ANTRETTTER, MAYER E WELLISCH	31
4.2.8	ANDERSEN ET AL.....	31
4.2.9	BAE E CHUN	32
4.2.10	BECKER E PACIUK.....	36
4.2.11	DELGHUST ET AL.	36
4.2.12	GRAM-HANSSSEN	38
4.2.13	GUERRA-SANTIN E ITARD	38
4.2.14	FRONTZACK, ANDERSEN E WARGOCKI	41
4.2.15	HENDRON.....	43
4.2.16	JOHANSSON, PALLIN E SHAHRIARI.....	47
5	PARAMETRIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR.....	57
5.1	ENQUADRAMENTO GERAL	57
5.2	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR.....	57
5.3	RELAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR E OS COMPONENTES DUMA ANÁLISE DE RISCO	60
5.4	VENTILAR	62
5.4.1	ABRIR/FECHAR JANELAS	62
5.5	SOMBREAR	72
5.6	AQUECER	74
5.7	PRODUZIR VAPOR	78
6	SÍNTESE CRÍTICA	79
6.1	ENQUADRAMENTO.....	79
6.2	VENTILAR	79
6.2.1	SÍNTESE DAS ANÁLISES SOBRE ABRIR/FECHAR JANELAS	79

6.2.2	METODOLOGIA PROPOSTA PARA A INCLUSÃO DO PARÂMETRO ABRIR/FECHAR JANELAS NA BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS	83
6.3	SOMBREAR	88
6.3.1	SÍNTESE DAS ANÁLISES SOBRE SOMBREAR	88
6.3.2	TIPO DE DADOS PRETENDIDOS PARA A BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS.	88
6.4	AQUECER	88
6.4.1	SÍNTESE DAS ANÁLISES SOBRE AQUECER	88
6.4.2	TIPO DE DADOS PRETENDIDOS PARA A BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS	90
6.5	PRODUZIR VAPOR.....	91
6.5.1	QUARTO DE BANHO	92
6.5.2	COZINHA	94
6.5.3	LAVANDARIA	97
6.5.4	QUARTOS.....	97
7	CONCLUSÕES	99
7.1	CONCLUSÕES GERAIS	99
7.2	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	101
	BIBLIOGRAFIA.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Fiabilidade de um critério de desempenho associado a uma medida de reabilitação, adaptado de IEA (2012).	6
Fig. 2 – Relação entre os intervenientes de uma análise de risco.	7
Fig. 3 – Nível de complexidade da análise de soluções de reabilitação, adaptado de Kalagasidis (2012).	8
Fig. 4 – Metodologia de análise estocástica de soluções de reabilitação, adaptado de Kalagasidis (2012).	9
Fig. 5 – Introdução de dados no processo de simulação numérica.....	12
Fig. 6 – Fator comum latente entre duas variáveis, numa análise fatorial, adaptado de Maroco (2010).	17
Fig. 7 – Fatores que influenciam o desempenho do edifício, adaptado de Johansson et al. (2010). ..	19
Fig. 8 – Processo que culmina na criação da base de dados estocásticos.	20
Fig. 9 – Perfil diário da confeção de refeições em Espanha, dados do HETUS (2012).	23
Fig. 10 – Perfil diário da confeção de refeições em França, dados do HETUS (2012).	23
Fig. 11 – Relação entre a temperatura exterior e a temperatura de conforto para os utilizadores, adaptado de Rijal, Humphreys e Nicol (2009).	24
Fig. 12 – Relação entre a temperatura interior e exterior, adaptado de Herkel, Knapp e Pfafferott (2008).	25
Fig. 13 – Percentagem de janelas abertas, dependendo da hora do dia e da estação do ano, adaptado de Herkel, Knapp e Pfafferott (2008).	25
Fig. 14 – Frequência de abertura/fecho de uma janela, conforme a altura do dia e o tamanho das janelas, adaptado de Herkel, Knapp e Pfafferott (2008).	26
Fig. 15 – Proporção de alteração do estado da janela à chegada (esquerda) e num tempo intermédio (à direita), em escritórios sem ventilação noturna, adaptado de Yun e Steemers (2008).	27
Fig. 16 – Proporção de alteração do estado das janelas, dependendo da ocupação e do estado anterior, em edifícios com ventilação noturna, adaptado de Yun e Steemers (2008).	27
Fig. 17 – Probabilidade de abrir/fechar uma janela, numa altura do dia e por tipologia do escritório, adaptado de Haldi e Robinson (2009).	28
Fig. 18 – Relação entre o estado das janelas e as condições interiores e exteriores, adaptado de Haldi e Robinson (2009).	28
Fig. 19 - Dispositivos existentes nos escritórios, adaptado de Haldi e Robinson (2010).	29
Fig. 20– Distribuição de probabilidade para acionar o dispositivo de sombreamento. Em cima dispositivo nº1, em baixo dispositivo nº2. Adaptado de Haldi e Robinson (2010).	29
Fig. 21 – Comparação entre as propriedades dos diferentes tipos de janelas; descrição dos símbolos: -, fraco; O, médio; +, bom. Adaptado de Roetzel et al. (2010).	30

Fig. 22 – Relação entre renovações horárias e diferença entre temperatura interior-exterior para janelas do tipo basculantes na base, adaptado de Roetzel et al. (2010).....	30
Fig. 23 – Tipos de configuração de uma fachada para edifícios de escritórios, adaptado de Roetzel et al. (2010).....	31
Fig. 24 – Ambiente térmico interior, no verão (a), adaptado de Bae e Chun (2009).	32
Fig. 25 - Ambiente térmico interior, no outono (b), adaptado de Bae e Chun (2009).	33
Fig. 26 - Ambiente térmico interior, no inverno (c), adaptado de Bae e Chun (2009).	33
Fig. 27 – Ambiente interior para o verão, com o ar-condicionado ligado, em cima, e desligado, em baixo. Adaptado de Bae e Chun (2009).	34
Fig. 28 – Evolução da temperatura interior escolhida pelos utilizadores, ao longo do tempo. Adaptado de Bae e Chun (2009).....	35
Fig. 29 – Evolução do valor do isolamento térmico dado pelo vestuário, ao longo do tempo. Adaptado de Bae e Chun (2009).....	36
Fig. 30 – Perfil diário da presença dos utilizadores em cada compartimento, adaptado de Delghust et al. (2012).	37
Fig. 31 – Perfil diário da probabilidade de ligar o aquecimento por compartimento, adaptado de Delghust et al. (2012).	37
Fig. 32 – Preferência dos utilizadores por tipo de controlo dos dispositivos, adaptado de Frontczak et al.(2011).....	42
Fig. 33 – Perfil diário do uso da banheira, adaptado de Hendron (2010).	43
Fig. 34 – Perfil diário da atividade tomar duche, adaptado de Hendron (2010).....	44
Fig. 35 – Perfil diário para o uso da máquina de lavar louça, adaptado de Hendron (2010).....	44
Fig. 36 - Perfil diário do uso da máquina de lavar roupa, adaptado de Hendron (2010).	45
Fig. 37 – Modelo de previsão da quantidade de energia gasta em iluminação, linha amarela, e comparação com outros modelos, adaptado de Hendron (2010).	46
Fig. 38 – Perfil horário normalizado do uso de iluminação para cada mês do ano, adaptado de Hendron (2010).....	46
Fig. 39 – Perfil diário de uso de eletrodomésticos, adaptado de Hendron (2010).	47
Fig. 40 – Perfil de uso da banheira ao longo de 24 horas na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).	48
Fig. 41 – Perfil diário da probabilidade de tomar duche na Califórnia, adaptado de Johansson et al. (2010).	50
Fig. 42 – Probabilidade de ocorrência da confeção de uma refeição ao longo de 24 horas na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).	51
Fig. 43 – Perfil diário da probabilidade de lavar louça manualmente na Suécia, com existência ou não de máquina de lavar louça, adaptado de Johansson et al. (2010).	52

Fig. 44 – Perfil do uso da máquina de lavar louça ao longo de 24 horas na Suécia, para as categorias consideradas, adaptado de Johansson et al. (2010).	53
Fig. 45 – Parâmetros do comportamento do utilizador.	60
Fig. 46 – Interação entre as famílias de dados de entrada com influência no comportamento de um edifício.	61
Fig. 47 – Relação do Comportamento do Utilizador com outros intervenientes da análise de risco: introdução do conceito de variável propulsora.....	61
Fig. 48 – Relação entre a proporção de janelas abertas, a iluminação percecionada e o género do utilizador, adaptado de Andersen et al. (2009).	63
Fig. 49 – Fatores que influenciam o número de horas em que as janelas permanecem abertas, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).	64
Fig. 50 – Ações que o utilizador leva a cabo para manter a temperatura de conforto, de acordo com Nicol e Humphreys (2004).....	65
Fig. 51 – Proporção de escritórios com as janelas abertas para diferentes temperaturas interiores e exteriores. As linhas são as aproximações logísticas para cada amostra. Os valores reais são representados pelos pontos, adaptado de Nicol e Humphreys (2004).....	66
Fig. 52 – Modelo de previsão de abertura de janelas para três amostras, dependendo da temperatura interior ($t_{g}(^{\circ}\text{C})$). Os pontos correspondem aos valores medidos, as linhas aos modelos de precisão. AC – ar-condicionado. MM – existência de ar condicionado, mas com possibilidade de ventilação natural. NV – ventilação natural. Adaptado de Rijal et al. (2009).	67
Fig. 53 – Probabilidade de abrir uma janela à chegada dependendo da temperatura exterior, adaptado de Herkel et al. (2008).	68
Fig. 54 – Algoritmo de previsão de abertura de janelas, adaptado de Herkel et al. (2008).....	69
Fig. 55 – Probabilidade de abrir uma janela, dependendo da temperatura interior, adaptado de Yun e Steemers (2008).	70
Fig. 56 – Probabilidade do estado de uma janela ser “aberta”, para edifícios com ventilação noturna, adaptado de Yun e Steemers (2008).	70
Fig. 57 – Submodelo que permite prever a alteração do estado das janelas, dependendo do estado da ocupação, adaptado de Haldi e Robinson (2009).....	71
Fig. 58 – Algoritmo de previsão de abertura de janelas, adaptado de Haldi e Robinson (2009).	72
Fig. 59 – Proporção de escritórios com os dispositivos de sombreamento fechados para diferentes temperaturas interiores. As linhas são as aproximações para cada base de dados. Os valores reais estão representados pelos pontos. As bases de dados “Reino Unido 3” e Europa 3” são referentes a edifícios ventilados naturalmente. Adaptado de Nicol e Humphreys (2004).	73
Fig. 60 – Esquema de modelo estocástico de previsão do uso de dispositivos de sombreamento, adaptado de Haldi e Robinson (2010).	74
Fig. 61 - Proporção de escritórios com o aquecimento ligado para a) diferentes temperaturas interiores e b) para diferentes temperaturas exteriores. As linhas são as aproximações logísticas para cada base de dados. Os valores reais são representados pelos pontos. Adaptado de Nicol e Humphreys (2004).....	75

Fig. 62 – Fatores que influenciam o parâmetro <i>aquecer</i> do comportamento do utilizador, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).	75
Fig. 63 – Simulação de produção de vapor de água, para famílias de 1, 2 ou 3 membros, respetivamente vermelho, verde e azul, adaptado de Johansson et al. (2010).	78
Fig. 64 – Forma como são conduzidos os estudos sobre a abertura/fecho de janelas em edifícios.	80
Fig. 65 – Relação do parâmetro <i>abrir/ fechar janelas</i> com outros fatores intervenientes na análise de risco.	81
Fig. 66 – Relação entra a temperatura interior e a proporção de janelas abertas, para diferentes países, adaptado de Nicol e Humphreys (2004).	82
Fig. 67 – Relação entre a temperatura interior e a proporção de janelas abertas, adaptado de Haldi e Robinson (2009).	82
Fig. 68 – Percentagem de habitantes presentes em casa, em Espanha, por idades, adaptado de HETUS (2012).	85
Fig. 69 – Percentagem de habitantes presentes em casa, na Alemanha, por idades, adaptado de HETUS (2012).	86
Fig. 70 – Proporção de habitantes presentes em casa, na Bélgica, ao longo de um dia, por compartimento, dados do Instituto Nacional de Estatística Belga, adaptado de Delghust et al. (2012).	86
Fig. 71 – Processo de caraterização do parâmetro do comportamento do utilizador <i>abrir/fechar janelas (ventilar)</i>	87
Fig. 72 – Relação do parâmetro <i>aquecer</i> com outros fatores intervenientes na análise de risco.	89
Fig. 73 – Fatores de ruído associados ao parâmetro do comportamento do utilizador produção de vapor.	92
Fig. 74 – Perfil diário da probabilidade da ocorrência de <i>tomar duche</i>	94
Fig. 75 – Perfil diário da probabilidade de ocorrência dos eventos <i>confeção de pequeno-almoço, almoço e jantar</i>	95
Fig. 76 – Níveis de produção de vapor para cada refeição e respetiva variabilidade vertical.	96
Fig. 77 – Perfil diário da ocorrência da atividade dormir na Itália, adaptado de HETUS (2012).	98

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Caraterização das famílias tipo, adaptado de Gram-Hanssen (2010).....	38
Quadro 2 – Dados sobre a abertura de janelas, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).	39
Quadro 3 – Dados sobre a regulação de grelhas de ventilação, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).	39
Quadro 4 – Dados sobre o uso de ventilação mecânica, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010)..	40
Quadro 5 – Dados sobre o uso do sistema de aquecimento, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).	40
Quadro 6 – Resumo dos resultados da importância de abrir uma janela ou ter sistema de ventilação mecânica em casa, adaptado de Frontczak et al.(2011).	42
Quadro 7 – Fatores de multiplicação para dias específicos, adaptado de Hendron (2010).....	45
Quadro 8 – Tempo de uso da banheira na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).	47
Quadro 9 – Duração do banho por estação do ano, adaptado de (Johansson et al. (2010).	48
Quadro 10 – Valores para pressão de saturação do vapor à temperatura da água na superfície e à temperatura do ponto de orvalho, para diferentes temperaturas da água e do ar, respetivamente, adaptado de Johansson et al. (2010).....	49
Quadro 11 – Valores da literatura para a produção de vapor num duche de 5 minutos, adaptado de Johansson et al. (2010).....	50
Quadro 12 – Fatores de incidência de refeições ao ar livre ou fora de casa na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).....	51
Quadro 13 – Produção de vapor na confeção de refeições, baseado na literatura, adaptado de Johansson et al. (2010).....	51
Quadro 14 – Níveis de produção de vapor para lavagem manual de loiça, valores da literatura, adaptado de Johansson et al. (2010).....	52
Quadro 15 – Probabilidade do uso da máquina de lavar louça por categorias e por número de habitantes na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).....	53
Quadro 16 – Fator de incidência para a máquina de lavar louça na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).....	53
Quadro 17 – Uso da máquina de lavar roupa, por categorias na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).....	54
Quadro 18 – Valores estimados para a produção de vapor gerada pelo processo de secagem da roupa. Os valores são definidos para secagem ao ar e por cada carregamento da máquina de lavar. Adaptado de Johansson et al. (2010).	54
Quadro 19 – Níveis de produção de vapor de transpiração e respiração de um humano, conforme a atividade física, adaptado de Johansson et al. (2010).....	55
Quadro 20 – Fatores de Comportamento, adaptado de (Guerra-Santin and Itard 2010).	76

Quadro 21 – Níveis de produção de vapor para o evento *tomar duche* com duração de 5 minutos.... 94

1

INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

A gestão eficaz de recursos é um assunto que tem vindo a ganhar importância nas últimas décadas. No ramo da construção existe uma preocupação crescente com a durabilidade e a funcionalidade dos materiais e sistemas, com o conforto do utilizador, com os gastos de energia associados ao funcionamento de um edifício e com a gestão dos resíduos da construção, sempre associando a melhor gestão de custos.

Estas questões levaram a uma evolução das soluções da física das construções, o que se tem traduzido na construção de edifícios novos de baixo consumo energético, com bom desempenho higrotérmico, confortáveis para o utilizador e que respeitam da melhor forma possível o meio ambiente. Apesar do sucesso destas soluções para a construção nova, não é esquecido o facto de existirem muitos edifícios que datam de anos anteriores à última crise energética e que necessitam de ser reabilitados. De acordo com a IEA – *International Energy Agency* (2012), em alguns países desenvolvidos a construção nova corresponde a apenas 1% do total de edificações. Por isto, a reabilitação tem ganho relevância nas últimas décadas.

Deste modo, o foco deste trabalho está relacionado com a fiabilidade de medidas de reabilitação no que diz respeito ao bom desempenho energético, higrotérmico e de custos. Este tema enquadra-se no projeto intitulado *Fiabilidade de Medidas de Reabilitação Energeticamente Eficientes de Edifícios – Análise Probabilística de Desempenho e Custo, RAP-RETRO* da IEA. A finalidade deste projeto é criar um guia prático para profissionais que auxilie na escolha de medidas fiáveis de reabilitação higrotérmica, em edifícios de habitação.

É um facto que a simulação numérica é uma ferramenta crucial no desenvolvimento de projetos de engenharia. A nível da construção e reabilitação de edifícios, procura-se que as soluções escolhidas cumpram de forma eficaz o papel para o qual foram destinadas.

Atualmente, a criação e estudo de soluções para construção ou reabilitação tem como base uma análise determinística do problema. Com isto, quer dizer-se que os dados de entrada, que caracterizam os fenómenos envolvidos na simulação numérica, são determinísticos, ou seja, qualquer dado de entrada tem um valor único associado que é tomado como o valor real na simulação. Acontece que qualquer parâmetro da física das construções tem associados fatores de variabilidade que fazem com que na realidade o valor desse parâmetro não seja sempre o mesmo ao longo do tempo ou varie para cada edifício específico. A isto se chama a natureza estocástica dos dados.

O que se verifica é que com recurso a análises determinísticas, por vezes, a solução escolhida e executada não corresponde ao desempenho inicialmente esperado. Isto implica a ocorrência de falhas associadas a custos adicionais no ciclo de vida. Estes são gastos desnecessários relacionados com os recursos de materiais e de energia, com a ocorrência de patologias na construção e com o desconforto para os utilizadores. O papel do engenheiro civil passa por uma boa gestão de recursos, para atingir o benefício de prolongamento dos recursos e de redução de custos e zelar pelo bom desempenho do edifício, proporcionando conforto ao utilizador. Por isso, julga-se necessário suprir a necessidade de contabilizar na análise de soluções a natureza estocástica dos dados de entrada, que é um dos objetivos do projeto RAP-RETRO.

Existem dados de entrada de diversas naturezas, alguns relacionados com as propriedades do edifício, outros com o ambiente exterior, etc.. O comportamento do utilizador é um fenómeno com uma forte componente de natureza aleatória que interfere com o desempenho do edifício, por existir uma interação constante entre utilizador-edifício. Normalmente, este fenómeno não é contabilizado numa análise determinística do problema. Uma vez que o utilizador é a razão de existência de um edifício, considerou-se que seria útil o estudo dos parâmetros relacionados com esta questão. A análise irá centrar-se em edifícios de habitação.

1.2 OBJETIVOS

De acordo com o exposto, o objetivo global deste trabalho é contribuir para a construção de uma base de dados estocásticos que sirva a análise de risco de soluções de reabilitação de edifícios. Esta base de dados deverá conter todos os dados de entrada necessários na simulação numérica de medidas de reabilitação. Como já referido, o comportamento do utilizador será o foco deste estudo.

Tendo em conta que este é um objetivo vasto e que a construção de uma base de dados estocásticos é um tema pioneiro no ramo da física das construções, foram delineados objetivos parciais de modo a facilitar o desenvolvimento deste trabalho.

Assim, no que respeita à base de dados estocásticos tomou-se como objetivo principal:

- A criação de uma proposta de estrutura para a base de dados estocásticos, relativamente ao seu conteúdo e organização. Deste modo, definiu-se:
 - O tipo de dados que a base de dados estocásticos deverá conter;
 - Os métodos utilizados para ter em conta a natureza estocástica dos dados de entrada;
 - Aspetos relacionados com a organização da base de dados.

Depois, para o estudo do comportamento do utilizador, na tentativa de contribuir para a sua inclusão na base de dados estocásticos, os objetivos propostos foram os seguintes:

- Recolha de informação da literatura referente ao comportamento do utilizador em edifícios.
- Parametrização do comportamento do utilizador.
- Relacionamento da parametrização do comportamento do utilizador com os conceitos relativos a uma análise de risco.
- Análise das metodologias seguidas por outros autores na tentativa de modelar o comportamento do utilizador e incluí-lo na simulação numérica de edifícios.
- Desenvolvimento e síntese da informação recolhida a fim de contribuir para o conhecimento da relação entre o comportamento do utilizador e o funcionamento do edifício e da forma de inclusão destes aspetos na análise de medidas fiáveis de reabilitação.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A estrutura do texto foi escolhida de acordo com os desenvolvimentos do trabalho. A presente dissertação divide-se em sete capítulos:

- No Capítulo 1 é feita uma introdução ao tema em estudo e apresentam-se os objetivos deste trabalho.
- O Capítulo 2 serve de enquadramento geral, sendo apresentado o projeto RAP-RETRO, os conceitos relacionados com a análise de risco e uma metodologia para análise de medidas de reabilitação.
- No Capítulo 3 desenvolve-se a ideia para a estrutura da base de dados estocásticos. Por estar sempre associado aos objetivos deste trabalho definições relacionadas com a natureza estocástica de fenómenos e análise de risco, inicialmente, expõem-se os conceitos e os métodos estatísticos e probabilísticos necessários para a subsequente análise. Depois, definem-se os dados de entrada que uma simulação numérica deve conter. Por fim, tecem-se algumas considerações sobre o conteúdo e a organização da base de dados estocásticos.
- Servindo o objetivo de estudar o comportamento do utilizador, o Capítulo 4 reúne as fontes consultadas e os dados medidos disponíveis sobre esta problemática.
- No Capítulo 5 é efetuada a parametrização do comportamento do utilizador e descreve-se o tipo de análise existente na literatura para cada parâmetro do comportamento do utilizador.
- O Capítulo 6 serve para explorar a relação entre os parâmetros do comportamento do utilizador e o edifício e de que forma é que as ações dos utilizadores podem ser incluídas na simulação numérica.
- O Capítulo 7 reúne as principais conclusões deste trabalho.

2

AVALIAÇÃO DE RISCO HIGROTÉRMICO

2.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Neste capítulo começa-se por apresentar o projeto RAP-RETRO, o seu objetivo e os conceitos principais associados a uma análise de risco de medidas de reabilitação de edifícios.

Seguidamente, explica-se uma metodologia proposta da literatura para análise de fiabilidade de medidas de reabilitação.

Por último, introduz-se o conceito de dados de entrada da forma que se pretende desenvolver neste trabalho e faz-se referência aos trabalhos desenvolvidos no âmbito da criação da base de dados estocásticos.

2.2 DESCRIÇÃO DO PROJETO *RAP-RETRO*

Inserido no “Programa de Conservação de Energia em Edifícios e Sistemas Comunitários” da Agência Internacional de Energia - IEA, surge o Anexo 55, projeto intitulado *Fiabilidade de Medidas de Reabilitação Energeticamente Eficientes de Edifícios – Análise Probabilística de Desempenho e Custo, RAP-RETRO*. O projeto teve início em 2011 e terminará em 2014 (IEA, 2012).

A finalidade deste projeto é criar um guia prático para profissionais que auxilie na escolha de medidas fiáveis de reabilitação higrotérmica, em edifícios de habitação. Como medida fiável entende-se aquela em que o resultado final obtido, em termos de bom desempenho energético, higrotérmico e de custos do ciclo de vida, corresponde ao requerido, admitindo um risco inerente. Naturalmente, para que a medida seja aceitável, a probabilidade de ocorrer um mau desempenho não pode exceder um certo valor limite (ver Fig. 1). O facto de existir um risco associado a cada solução de reabilitação tem como base a natureza estocástica dos fenómenos que caracterizam o problema. A simulação do problema exige dados relativos à caracterização higrotérmica e da envolvente do edifício, às propriedades dos materiais, ao comportamento humano, à eficiência de equipamentos, ao clima, à qualidade da mão-de-obra, etc..

Para facilitar o desenvolvimento do projeto, dividiu-se a ideia principal em quatro subtarefas, que são:

- Recolha e tratamento de dados estocásticos para construção da base de dados;
- Desenvolvimento de ferramentas para análise probabilística;

- Desenvolvimento duma Metodologia de Análise Estatística de Soluções de Reabilitação, e validação com casos de estudo;
- Guia prático de aplicação da metodologia.

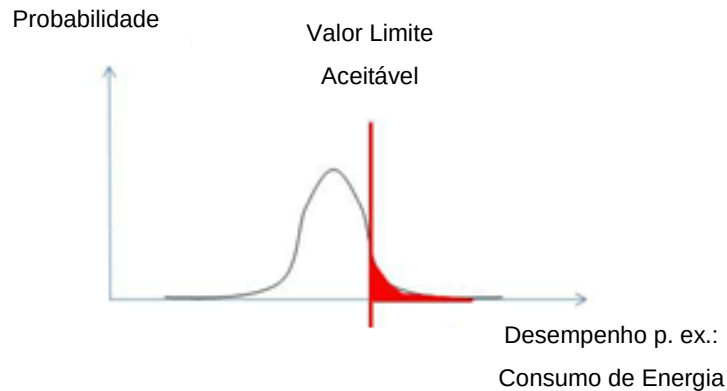


Fig. 1 – Fiabilidade de um critério de desempenho associado a uma medida de reabilitação, adaptado de IEA (2012).

As subtarefas são interdependentes e estão a ser realizadas em simultâneo. O terceiro ponto integra o processo de análise na sua totalidade, permitirá obter uma estrutura de apoio à decisão na escolha de soluções de reabilitação. A Metodologia engloba dois tipos de análise: qualitativa e quantitativa. Para a sua concretização é necessário a recolha e tratamento de dados estocásticos, o que está associado aos pontos um e dois, respetivamente. Os resultados serão organizados numa base de dados. A partir dos dados tratados, será necessário aplicar ferramentas estatísticas que permitam a definição do risco associado a cada medida.

No final, será reunido todo o conhecimento adquirido para transformá-lo num guia prático para profissionais, que assista a escolha de medidas fiáveis de reabilitação higratérmica.

2.3 DEFINIÇÕES ASSOCIADAS A UMA ANÁLISE DE RISCO

A conceção de uma solução de engenharia é um processo complexo, por diversos motivos, pela quantidade de variáveis que estão normalmente em jogo, por ser necessário satisfazer critérios muitas vezes divergentes, porque aos fenómenos envolvidos está associada uma certa incerteza. É nesta última questão que se centra a análise de risco.

A maioria dos fenómenos do mundo tem associado uma certa quantidade de incerteza. Isto significa que, se forem efetuadas várias medições desse fenómeno, o resultado não será sempre o mesmo. Os resultados podem ser parecidos, poderá existir um padrão ou não. A falta de um padrão é descrita como a incerteza, a natureza estocástica do fenómeno (Haldar e Mahadevan, 2000).

Uma vez que no projeto de engenharia estes fenómenos são comuns, torna-se necessário conhecer o seu comportamento e conseguir quantificar a possibilidade de mau desempenho do sistema. Ou seja ter conhecimento da incerteza da análise e conseguir quantificá-la.

De acordo com Haldar e Mahadevan (2000) o risco é definido como a probabilidade de não satisfação de um determinado critério de desempenho, num determinado sistema. Significa, portanto, a possibilidade do desempenho do sistema ser insatisfatório, ou seja, de ocorrer uma consequência

negativa. De forma complementar, a fiabilidade de um sistema é a probabilidade de sucesso, ou seja, de satisfazer um determinado critério de desempenho. Os mesmos autores mencionam que outras referências definem risco não só como a probabilidade de insucesso, mas como o produto dessa probabilidade pela consequência associada a esse insucesso. Por exemplo, se um mau desempenho do sistema se traduzir num custo mais elevado, o risco será o produto da probabilidade de insucesso pelo custo a este associado. Neste trabalho será utilizada a definição dos autores por ser a comum em problemas de engenharia.

A análise de risco ou fiabilidade de um sistema de engenharia usa métodos de probabilidade e estatística, cuja distinção se explicita de seguida. Os métodos estatísticos quantificam matematicamente a incerteza (média, desvio padrão, etc., de uma variável aleatória). Os probabilísticos usam a informação da estatística para prever a ocorrência de determinados eventos.

Na análise de risco, associada à reabilitação de edifícios, procura-se conhecer o desempenho do sistema relativamente ao seu funcionamento, à energia gasta no seu funcionamento e ao custo do ciclo de vida. Se o risco for superior a um limite tido como aceitável, será necessário rever a solução inicial dada pela engenharia. Para isso, como anteriormente referido, é necessário ter em conta a natureza estocástica dos fenómenos envolvidos e, consequentemente, dos dados de entrada do problema.

Definiu-se análise de risco, agora torna-se necessário definir os intervenientes dessa análise, o que será efetuado com base no trabalho de Johansson et al.(2010).

A possibilidade do risco, associado a uma determinada consequência, ser maior ou menor depende da existência e relação entre fatores de risco, medidas preventivas e outras características do sistema. Efetivamente, uma medida preventiva será favorável para o sucesso do processo, diminuindo o risco. Os fatores de risco, as medidas preventivas e as características do sistema são influenciados por fatores de ruído. Em conjunto, os quatro definem um cenário. A variabilidade do cenário, provocada pelos fatores de ruído e pela existência de fatores de risco ou medidas preventivas mais ou menos influentes no processo, é a razão da existência do risco. O número de intervenientes depende do tipo de sistema em análise, podendo existir um ou vários fatores de risco, assim como medidas preventivas. Cada um deles pode ser influenciado por um ou vários fatores de ruído. A análise de risco define o risco associado a uma consequência e compara-o com um nível aceitável de mau desempenho. A relação entre os intervenientes do processo está esquematizada na Fig. 2.

O resultado da análise de risco deverá apoiar a decisão da solução do projeto de engenharia.

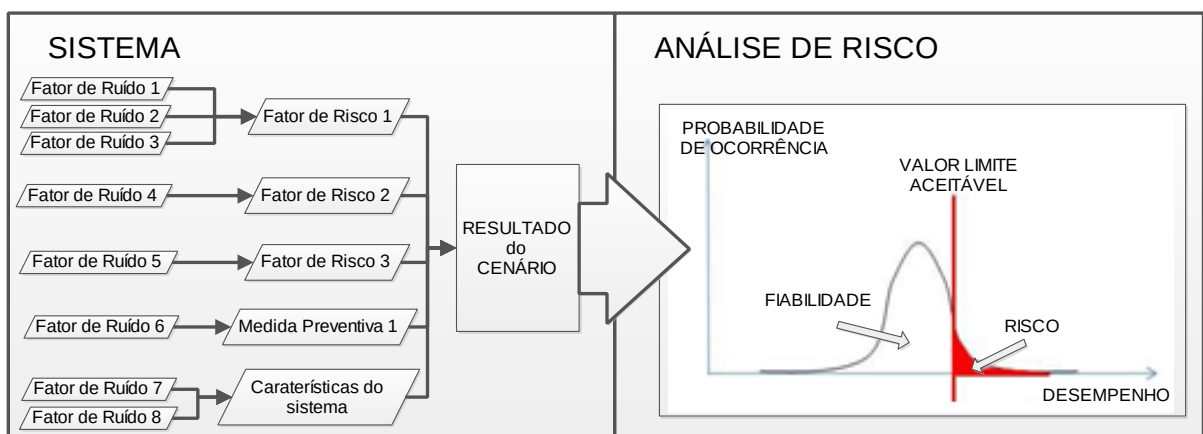


Fig. 2 – Relação entre os intervenientes de uma análise de risco.

Na reabilitação de edifícios, e no contexto deste trabalho, a análise de risco serve o propósito de verificar a probabilidade de sucesso de uma medida de melhoria, relativamente a um determinado critério de desempenho (consumo de energia, desempenho higrotérmico, custos). Para tal, deve identificar-se uma consequência que se traduza no mau desempenho de um critério e depois os fatores de risco e medidas preventivas que lhe estão associadas e as características do sistema, bem como os respetivos fatores de ruído. Por exemplo, se se pretende melhorar o desempenho higrotérmico de uma parede num quarto de banho de uma habitação, uma consequência pode ser o desenvolvimento de fungos, o que está relacionado com mau desempenho higrotérmico. Neste caso, um fator de risco será a produção de vapor interior e uma medida preventiva, o sistema de ventilação existente. As propriedades dos materiais serão características do sistema necessárias à definição do cenário. A forma como os utilizadores se servem do compartimento, por exemplo a duração de um duche, é tomado como um dos fatores de ruído.

Para a correta identificação do cenário é necessário dominar conhecimentos da física das construções.

2.4 METODOLOGIA DE ANÁLISE ESTOCÁSTICA DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO

O objetivo da Metodologia é ter uma estrutura de apoio à decisão, para análise de casos complexos de reabilitação, tendo em vista a avaliação do risco de medidas de melhoria possíveis.

A análise de problemas pode ser feita tendo em atenção um ou mais critérios de desempenho e a diferentes escalas, de acordo com a Fig. 3. Os critérios de desempenho abordados no *RAP-RETRO* são uso da energia, humidade, conforto térmico, qualidade do ar interior e custo do ciclo de vida. O estudo pode ser realizado ao nível do material, do sistema, da envolvente, do edifício ou conjunto de edifícios. A complexidade da análise cresce com a escala do problema e com o número de critérios de desempenho considerados.

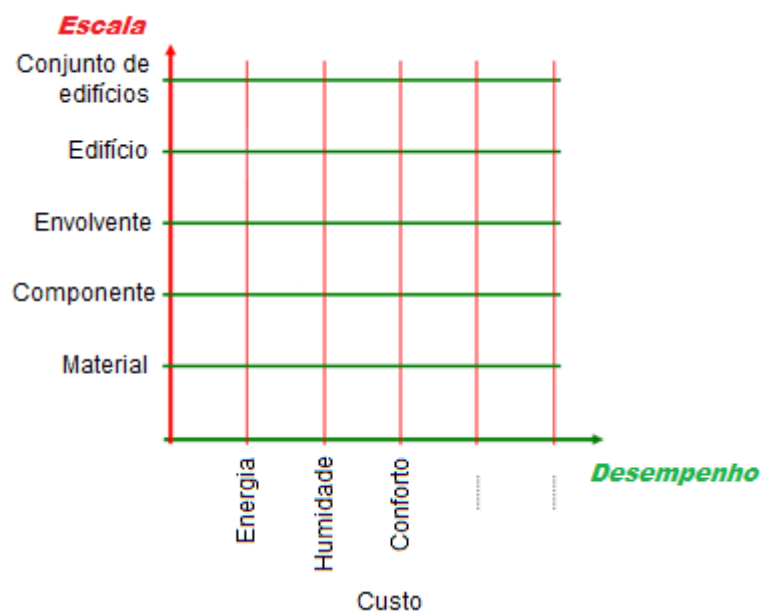


Fig. 3 – Nível de complexidade da análise de soluções de reabilitação, adaptado de Kalagassidis (2012).

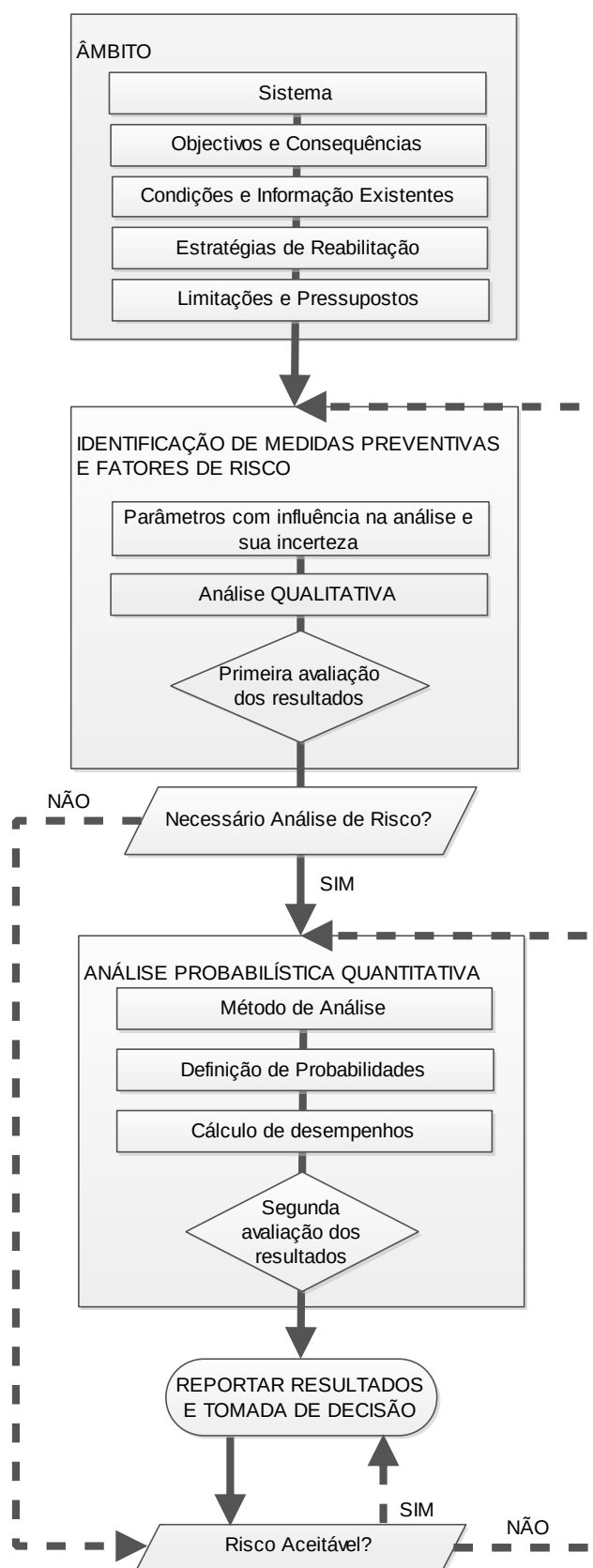


Fig. 4 – Metodologia de análise estocástica de soluções de reabilitação, adaptado de Kalagasidis (2012).

A metodologia proposta por Kalagasidis (2012) segue os seguintes passos (ver Fig. 4):

- i. **Âmbito.** Neste passo, deve definir-se detalhadamente o contexto do problema em análise, do geral para o particular: as especificações do projeto do edifício, a envolvente, os sistemas, os componentes e os materiais; especificar os objetivos de desempenho e as consequências no caso de falha, ou seja, no caso de, depois de adotada a solução, se cair dentro da zona do risco; recolher toda a informação e dados existentes; definir estratégias de reabilitação; perceber as limitações da análise.
- ii. **Benefícios e perigos.** Com a informação de i. e para uma das estratégias, identificam-se os parâmetros suscetíveis de interferir nos resultados e as incertezas associadas, ou seja os fatores de risco, medidas preventivas, características do sistema e os respetivos fatores de ruído associados; efetua-se uma análise probabilística qualitativa, por exemplo através de gráficos em árvore, e uma primeira avaliação dos resultados, identificando os prós e contras da solução prevista. Se a análise não for conclusiva deve proceder-se a um estudo quantitativo, se não, avança-se para o passo iv. Normalmente é necessária a análise quantitativa, uma vez que se pretende a definição do risco, e a análise qualitativa ajuda a definir os parâmetros que vão ser estudados.
- iii. **Análise probabilística quantitativa.** É a análise de risco da medida a adotar. Define-se o método de análise, por exemplo método de Monte Carlo. Identificam-se os fatores de ruído, fatores de risco, medidas preventivas e características do sistema suscetíveis de interferir na análise (em princípio, os mesmos do ponto anterior). Estes dados são de natureza estocástica, pois têm associada uma variabilidade. Logo, para a análise é necessário ter estes dados caracterizados estatisticamente. Depois, através do método de Monte Carlo, criam-se combinações aleatórias dos dados, definindo possíveis consequências da medida em estudo, que podem ser negativas ou positivas. É necessário que as combinações sejam em número suficiente para a partir daí se calcular o risco associado à solução, ou seja a probabilidade de ocorrer insucesso no critério de desempenho. Seguidamente, efetua-se nova análise dos resultados, comparando com os objetivos. Se o risco for superior ao tido como aceitável, prevêem-se medidas preventivas e repete-se a análise, podendo mesmo recommençar no passo ii; trata-se de um processo iterativo, que pode levar à inviabilidade da medida proposta se o risco permanecer superior ao aceitável.
- iv. **Reportam-se os resultados.**

Normalmente existe um conjunto de soluções inicialmente propostas para cada problema, pelo que se aplica a metodologia apresentada a cada uma delas, comparando no final os resultados. Esta metodologia foi testada com sucesso, num caso de estudo, por Pallin (2012).

2.5 DADOS DE ENTRADA

No processo de conceção de um projeto de engenharia estão envolvidos vários fenómenos de natureza estocástica. A caracterização desses fenómenos começa na recolha de informação sobre o sistema em análise e traduz-se na escolha dos dados de entrada para o problema.

Normalmente, o que se costuma fazer é utilizar valores determinísticos para as variáveis que caracterizam o fenómeno e que são necessárias para a simulação do problema.

Como já referido, o facto de existir um risco associado a uma determinada medida de reabilitação, deve-se aos fenómenos que caracterizam o sistema em análise serem de natureza estocástica. Assim, os dados de entrada, que por sua vez caracterizam os fenómenos e que são necessários na simulação, não devem ser determinísticos.

Por exemplo, na simulação higrotérmica de uma solução de reabilitação para uma parede, a condutibilidade térmica dos materiais que a constituem é um dado de entrada necessário. O que se faz é utilizar um valor médio, resultado de medições em laboratório, que caracteriza essa propriedade, para determinado material. Mas isso não tem em conta a variabilidade dessa propriedade ou dos resultados das medições. Se, em vez de se utilizar o valor médio na simulação, se usar um conjunto de medidas estatísticas (média, desvio-padrão) ou a função de distribuição, então está a contabilizar-se a natureza estocástica do parâmetro condutibilidade térmica.

Novo (2011) tratou estatisticamente sete propriedades higrotérmicas de cinco materiais específicos. As propriedades são: massa volúmica, porosidade aberta total, saturação capilar, condutibilidade térmica, calor específico, permeabilidade ao vapor de água e coeficiente de absorção de água. Os materiais estudados foram pedra natural, argamassa de cimento e cal, isolamento térmico e tijolo cerâmico. Os resultados obtidos foram satisfatórios para as propriedades massa volúmica e porosidade aberta total no tijolo cerâmico e pedra natural, ou seja, foi possível ajustar a distribuição normal a estas propriedades, sendo viável extrapolar para a população em geral. Deste modo, a informação conseguida pode ser usada para a consideração da natureza estocástica das propriedades estudadas.

Sá (2012) estudou a estanquidade ao ar da envolvente e as suas implicações no clima interior. De acordo com este autor, uma estanquidade ao ar da envolvente que seja deficiente pode acarretar problemas ao nível do comportamento higrotérmico do edifício, do consumo de energia, da saúde dos ocupantes, do desempenho do sistema de ventilação, do conforto térmico, do ruído e da resistência ao fogo. Por isso, a caracterização estatística de um parâmetro que represente a estanquidade ao ar é útil para a análise de medidas de reabilitação. Neste caso, o parâmetro caracterizado foi o N_{50} (fluxo de ar por unidade de volume interno para uma diferença de pressão de referência, através da envolvente do edifício, de acordo com Aaltonen et al. (2011)) e foi estudada a sua relação com a temperatura e a humidade relativa interiores. Conforme os dados disponíveis, a análise de N_{50} foi feita por país, tipo de habitação e tipo de sistema de ventilação. Foi estabelecida uma relação entre N_{50} e a temperatura interior: à medida que N_{50} aumenta, a temperatura interior tende a diminuir. No que respeita à humidade relativa interior, concluiu que será espectável que quanto maior for N_{50} , mais elevados serão os valores de humidade do ar interior.

Deste modo, é importante que a simulação seja realizada com dados estocásticos em vez de determinísticos. Uma análise aos dados efetuada através de métodos estatísticos e/ou probabilísticos, permitirá obter a informação necessária para projetar com fiabilidade.

Um dos objetivos do RAP-RETRO é a criação de uma base de dados estocásticos que possam ser usados na simulação numérica de soluções de reabilitação higrotérmica e energética de edifícios, como referido em 2.2.

Os dados de entrada com relevo para a simulação de um problema complexo de reabilitação variam conforme o critério de desempenho em análise e a escala do problema.

A Fig. 5 esquematiza a posição dos dados de entrada no processo de análise de risco: a recolha de dados é a primeira tarefa do processo, depois segue-se para a análise da solução propriamente dita. A existência de uma base de dados estocásticos facilita o processo de análise.

O processo de recolha, geração e tratamento de dados será abordado no capítulo seguinte.

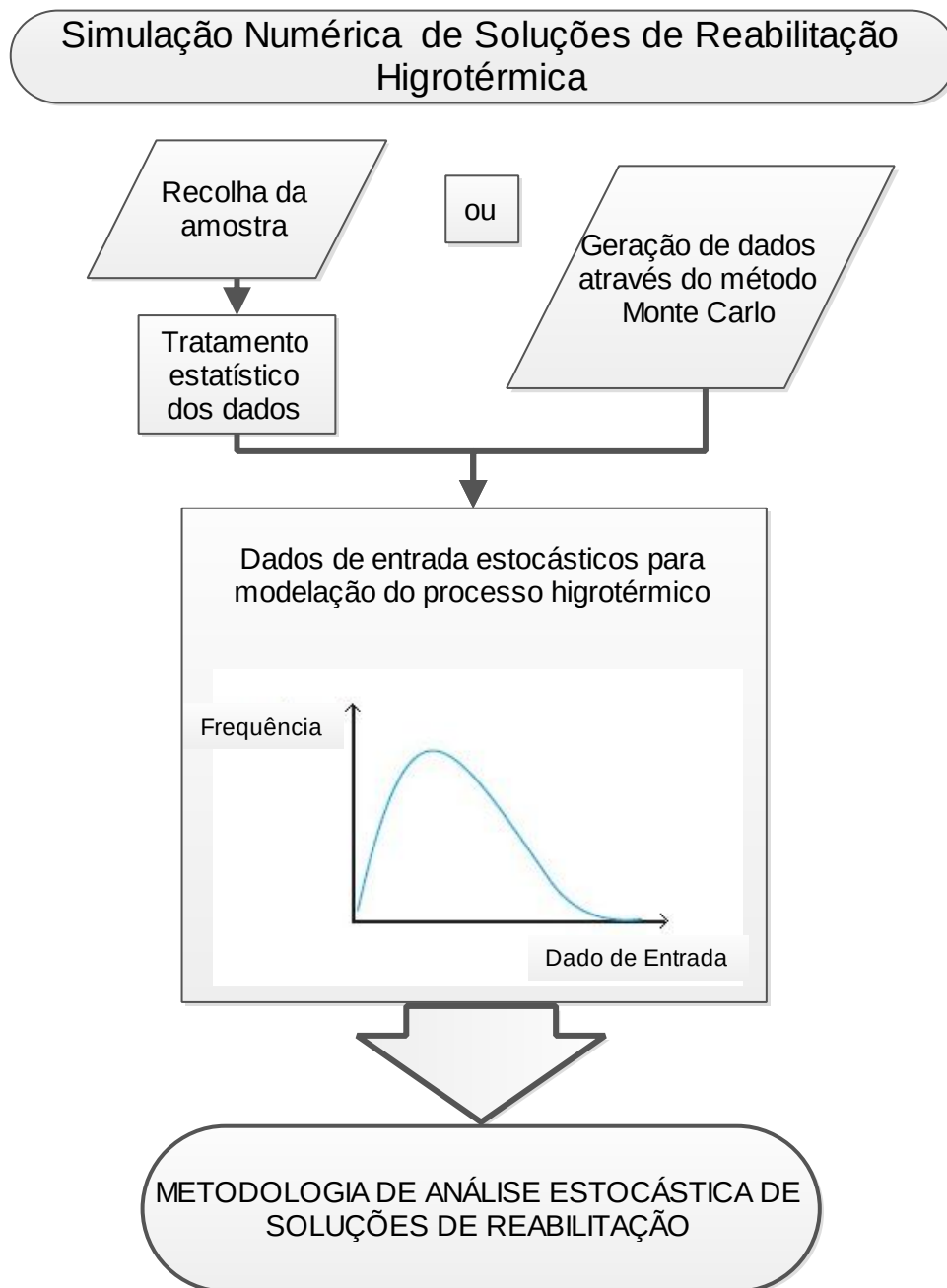


Fig. 5 – Introdução de dados no processo de simulação numérica.

3

BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS

3.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Neste capítulo pretende-se definir o tipo de dados necessários numa análise higrotérmica do comportamento do edifício.

Começa-se por fazer referência a alguns métodos estatísticos e probabilísticos utilizados no tratamento, recolha e geração de dados e na análise de risco. Além de se explicar o processo de recolha e tratamento de dados de entrada, esta informação irá ajudar na compreensão dos capítulos seguintes.

Depois, separaram-se os dados por famílias, enumerando em cada uma, aqueles que são mais comuns num problema da física das construções. Explicando a sua importância, a relação com o problema e a relação entre famílias.

De acordo com o objetivo geral em que se insere este trabalho, sugere-se uma estrutura possível para a base de dados estocásticos.

3.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS E PROBABILÍSTICOS

No capítulo anterior mostrou-se a posição que os dados de entrada ocupam no processo de análise de soluções de reabilitação higrotérmica/energética de edifícios. Também já se referiu que o ideal é ter em conta a natureza aleatória desses dados. Neste ponto, julga-se necessário explicitar o tipo de fontes de incerteza que estão na origem desta natureza, expor o processo de recolha, geração e tratamento de dados e fazer referência aos métodos estatísticos e probabilísticos que servem este propósito e que são utilizados na análise de risco.

De acordo com Guimarães e Cabral (2011), do ponto de vista da análise estatística, um problema pode ser decomposto em cinco fases que seguidamente se enunciam:

- i. Estabelecimento do objetivo da análise a efetuar (isto é, questões que se colocam e que se pretendem ver resolvidas) e da definição da(s) população(ões) correspondente(s);
- ii. Conceção de um procedimento adequado para a seleção de uma ou mais amostras;
- iii. Recolha de dados;
- iv. Análise de dados;
- v. Estabelecimento de inferências acerca da população (com base na informação amostral).

No âmbito deste trabalho, o objetivo da análise a efetuar é a obtenção de dados estocásticos para serem utilizados na simulação higrotérmica. Por isso, começa-se por descrever as fases ii e iii. O processo de seleção de uma amostra a partir de uma população designa-se por amostragem. Para que se possa fazer inferências sobre uma população a partir de uma amostra é necessário que esta seja selecionada de acordo com um processo de amostragem probabilística. Isto irá permitir que todos os elementos de uma população estejam representados (Guimarães e Cabral, 2011).

O passo seguinte será a recolha de dados. Existem duas formas de recolha de dados de acordo com Montgomery e Runger (1999):

- a) Estudo de observação em que os dados são obtidos através de casos de estudo ou dados históricos – dados observacionais;
- b) Através de experiências – dados experimentais.

Na recolha segundo a forma b), há um controlo direto sobre os fatores que potencialmente afetam a característica ou conjunto de características do sistema em análise, sendo o objetivo colocar em evidência a influência exercida por esses fatores no sistema (Guimarães e Cabral, 2011).

Depois da recolha de dados deve-se utilizar as técnicas da estatística descritiva para representar a informação contida nos dados e a partir daí estabelecer inferências acerca da população. Esta fase envolve um procedimento do tipo indutivo: com base na informação contida numa ou em mais amostras, pretende retirar-se conclusões relativas a uma ou mais populações. Dada a natureza deste processo, as conclusões que se podem obter relativamente às populações não são passíveis de se classificar dicotomicamente em verdadeiras ou falsas. Em vez disso, a tais conclusões pode associar-se um grau de credibilidade maior ou menor (Guimarães e Cabral, 2011).

O processo acima descrito pode não ser linear, isto é, pode existir a necessidade de gerar amostras de forma artificial. Em certas circunstâncias não é possível derivar pela via teórica, nem sequer de forma aproximada, a forma funcional das distribuições de certas estatísticas. Tal acontece, por exemplo, quando as populações são infinitas e não-Normais, as amostras são de pequena dimensão e as estatísticas são funções complexas (não-lineares) das observações amostrais. Nesse caso, resta a possibilidade de gerar artificialmente amostras, através do método de Monte Carlo, e, a partir daí, estudar experimentalmente o comportamento das estatísticas em causa (Guimarães e Cabral, 2011).

A seguir, faz-se referência e descreve-se sucintamente alguns métodos de análise estatística utilizados na análise de dados e na análise de risco.

3.2.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

O objetivo da estatística descritiva é o de representar de uma forma compreensível a informação contida nos dados, como já referido anteriormente. Apenas serão dados exemplos de medidas e de formas de representação, uma vez que não serão utilizadas no âmbito deste trabalho.

Existem dois tipos de dados, os qualitativos e os quantitativos. Os primeiros podem ser representados com recurso a tabelas de frequência, diagramas de barras, ou diagramas circulares.

Os quantitativos podem ser descritos através de técnicas que podem ser divididas em três grupos:

- Formas de representação tabular ou gráfica de dados;
- Medidas estatísticas;
- Representação gráfica de medidas estatísticas.

As formas de representação tabular ou gráfica são: diagrama de barras, diagrama circular, tabelas de frequência, histograma de frequências, etc.. As medidas estatísticas são calculadas com base nos dados, a partir das quais é possível retirar uma ideia global do conjunto. Elas são: média, mediana, moda, desvio-padrão, amplitude, variância, momentos amostrais, etc.. Depois existem representações gráficas destas medidas como: histograma, caixa-de-bigodes, diagrama de barras sobrepostas, etc. (Guimarães e Cabral, 2011).

3.2.2 ANÁLISE DE REGRESSÃO

A regressão é um método da inferência estatística, que tem como fim estudar o relacionamento entre duas ou mais variáveis. O método mais simples é a regressão linear simples e existem outros mais complexos que são a regressão linear múltipla e regressão não-linear.

De acordo com Guimarães e Cabral (2011), um modelo de regressão linear simples descreve uma relação entre uma variável quantitativa independente, X , e uma variável quantitativa dependente, Y , de acordo com a expressão:

$$Y_n = \alpha + \beta \cdot (X_n - \bar{X}) + E_n$$

em que,

n : índice denotando as observações do par de variáveis X e Y ($n=1, \dots, N$);

(X_n, Y_n) : n -ésima observação do par (X, Y) ;

$\bar{X}$: média aritmética das observações X_n ($\bar{X} = 1/N \cdot \sum X_n$);

E_n : erro aleatório associado ao valor observado Y_n .

No caso da regressão linear múltipla em vez de termos uma variável independente, X , temos um conjunto de variáveis independentes, X_j ($j = 1, 2, \dots, J$).

Os modelos de regressão não-lineares utilizam outras curvas para descrever a relação entre as variáveis, como por exemplo, a curva logística.

3.2.3 TESTES DE HIPÓTESES

De acordo com Guimarães e Cabral (2011), os testes de hipóteses fazem parte dos procedimentos de inferência estatística. O seu objetivo é verificar se os dados amostrais (ou estimativas obtidas a partir deles) são ou não compatíveis com determinadas populações (ou com valores previamente fixados dos correspondentes parâmetros populacionais). A conclusão pode ser negativa ou afirmativa e em qualquer dos casos corre-se o risco de errar. Os testes de hipóteses permitem controlar ou minimizar tal risco. Consistem no seguinte procedimento:

- i. Definição das hipóteses;
- ii. Identificação da estatística de teste e caracterização da sua distribuição;
- iii. Definição da regra de decisão, com especificação do nível de significância do teste;
- iv. Cálculo da estatística de teste e tomada de decisão.

Os testes de hipóteses podem ser paramétricos ou não-paramétricos. São paramétricos se satisfazem simultaneamente as duas condições seguintes:

- Os testes incidem explicitamente sobre um parâmetro de uma ou mais populações (por exemplo, o valor esperado ou a variância de uma ou mais populações);
- A distribuição da estatística de teste pressupõe uma forma particular da(s) distribuição(ões).

Dentro dos testes de hipóteses, existem os testes de qualidade de ajuste de uma amostra a uma distribuição teórica e entre duas amostras independentes. É o caso do teste do Qui-Quadrado.

Os testes de Associação e o teste de correlação ordinal de Spearman são outro tipo de testes de hipóteses, que permitem verificar o nível de associação entre duas variáveis.

3.2.4 ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

A partir da análise da dispersão total presente num conjunto de dados, a análise de variância permite identificar os fatores que deram origem a essa dispersão e avaliar a contribuição de cada um deles (Guimarães e Cabral, 2011). Esta técnica possibilita a comparação entre parâmetros de mais do que duas populações. A comparação pode ser efetuada entre valores esperados ou podem testar-se hipóteses envolvendo outros parâmetros. Esta metodologia faz parte da inferência estatística.

3.2.5 MÉTODO DE MONTE CARLO

O método de Monte Carlo é uma técnica de geração artificial de amostras. Utiliza-se quando a via teórica falha, tal ocorre, por exemplo, quando as populações são infinitas e não-normais, as amostras são de pequena dimensão e as estatísticas são funções complexas (não-lineares) das observações amostrais. A partir das amostras geradas pode estudar-se o comportamento em causa, como já referido.

Esta técnica de simulação tem seis elementos essenciais (Haldar e Mahadevan, 2000):

- i. Definir o problema, identificando todas as variáveis aleatórias;
- ii. Quantificar as características probabilísticas de todas as variáveis aleatórias, incluindo funções de densidade de probabilidade, funções de distribuição;
- iii. Gerar os valores destas variáveis;
- iv. Avaliar o problema do ponto de vista determinístico para cada conjunto de observações de todas as variáveis aleatórias, ou seja, experimentação numérica;
- v. Extrair informação probabilística de todas as N observações;
- vi. Determinar o rigor e eficiência da simulação.

3.2.6 PROCESSO ESTOCÁSTICO

Um processo estocástico é uma sequência de variáveis aleatórias que assumem valores num conjunto de estados. Uma cadeia de Markov é um caso particular de um processo estocástico em que o conjunto de estados é discreto e tem a propriedade markoviana. Um processo estocástico tem esta propriedade se os estados anteriores são irrelevantes para a predição das variáveis aleatórias nos estados seguintes, desde que o estado atual seja conhecido (Kulkarni, 1999).

3.2.7 ANÁLISE FATORIAL

A análise fatorial é uma técnica que permite compreender a relação entre um conjunto de variáveis que são controladas por fatores comuns.

De acordo com Maroco (2010), a análise fatorial é uma técnica da análise exploratória de dados que tem por objetivo descobrir e analisar a estrutura de um conjunto de variáveis interrelacionadas de modo a construir uma escala de medida para fatores (intrínsecos) que de alguma forma (mais ou menos explícita) controlam as variáveis originais. Em princípio, se duas variáveis estão correlacionadas (e a correlação não é espúria), essa associação resulta da partilha de uma característica comum não diretamente observável (i.e. de um fator comum latente) (ver Fig. 6). A análise fatorial usa as correlações observadas entre as variáveis originais para estimar os fatores comuns e as relações estruturais que ligam os fatores (latentes) às variáveis (Maroco, 2010).

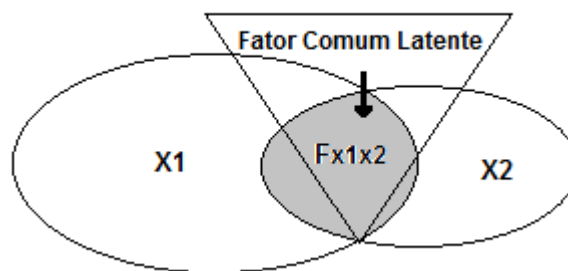


Fig. 6 – Fator comum latente entre duas variáveis, numa análise fatorial, adaptado de Maroco (2010).

3.2.8 ANÁLISE DE CLUSTERS

A análise de “clusters” é uma técnica exploratória de análise multivariada. De acordo com Maroco (2010), a análise de grupos ou clusters permite agrupar sujeitos ou variáveis em grupos homogêneos ou compactos relativamente a uma ou mais características comuns. Cada observação pertencente a um determinado cluster é similar a todas as outras pertencentes a esse cluster e é diferente das observações pertencentes aos outros clusters. A identificação de agrupamentos naturais de sujeitos ou variáveis permite avaliar a dimensionalidade da matriz dos dados, identificar possíveis outliers multivariados e levantar hipóteses relativas às relações estruturais entre as variáveis (Maroco, 2010). Na análise de clusters, os agrupamentos de sujeitos (casos ou itens) ou variáveis é feito a partir de medidas de semelhança ou dissimilhança (distância) entre dois sujeitos e, mais tarde, entre dois clusters de observações, usando técnicas hierárquicas ou não-hierárquicas de agrupamento de clusters (Maroco, 2010).

3.2.9 ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA

A análise de sobrevivência é uma área da estatística que engloba um conjunto de modelos destinados à análise estatística de dados de sobrevivência (Papoila e Rocha, 2009). Este tipo de dados surge quando, para um determinado grupo de indivíduos, é registado o tempo decorrido desde um instante de tempo inicial bem definido até à ocorrência de um acontecimento de interesse (Papoila e Rocha, 2009).

3.3 DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

Estando este trabalho inserido no objetivo global de criação de uma base de dados estocásticos, que sirva uma abordagem probabilística dos problemas de reabilitação de edifícios, torna-se crucial definir e organizar o tipo de dados necessários na análise.

Existem vários fatores que influenciam o desempenho higrotérmico, energético ou de custos, do ponto de vista da reabilitação de edifícios. A escolha da informação a ser introduzida num estudo pressupõe um vasto conhecimento em física das construções e do problema em si, de modo a conseguir uma análise o mais próxima possível da realidade. Cada fator pode ser importante a diferentes escalas (definidas em 2.4) e conforme o critério de desempenho que se pretenda realçar.

Por exemplo, ao nível do material, procura-se que se adeque às solicitações higrotérmicas, que seja durável, eficiente do ponto de vista energético e que contribua para o conforto. Assim, quando se efetua uma análise, escolhendo certo material, os dados a introduzir estarão relacionados com o seu comportamento higrotérmico, tais como porosidade, resistência à difusão de vapor de água, propensão para o desenvolvimento de fungos, etc.; condições que afetem a sua durabilidade, como condições a que o material estará exposto, por exemplo, se for um material da fachada, condições climáticas; a condutibilidade térmica do material estará relacionada com a sua eficiência energética, inserido numa determinada envolvente e em determinado clima; além disto se o material estiver exposto, o comportamento do utilizador pode contribuir para o seu desempenho, assim como o desempenho do material contribui para o conforto do utilizador. Isto é uma breve descrição dos fatores a ter em conta se o propósito for realizar uma simulação numérica de desempenho ao nível do material.

Note-se que a relação entre os intervenientes numa análise nem sempre é fácil de discernir. A consideração de todos os fenómenos físicos envolvidos no desempenho energético ou higrotérmico de um edifício tornam, por si só, a análise complexa. Se a isso se acrescentar a relação entre os intervenientes (por exemplo, utilizador-edifício-utilizador) e a natureza estocástica dos dados, a complexidade da análise aumenta.

Posto isto, pensa-se que será útil organizar os dados por famílias, de forma a incluir todos os dados importantes e necessários na análise.

As famílias de dados são **Custos, Condições Fronteira, Propriedades do Edifício, Comportamento do Utilizador, Mão-de-obra e Sistemas Mecânicos**. Estes são dados que já são incluídos na simulação higrotérmica/energética de edifícios, mas de uma forma determinística. O comportamento do utilizador e a mão-de-obra, normalmente, ainda não são contabilizados na prática corrente, julgando-se ser importante o estudo da sua influência na análise. Na Fig. 7 estão representados alguns fatores com importância para o comportamento higrotérmico de um edifício.

De seguida faz-se uma listagem dos dados de entrada por famílias, descrevendo-as de forma sucinta:

- **Custos.** Engloba custos relativos à solução de reabilitação em análise, que são investimento inicial e custos com manutenção e preço da energia.
- **Condições Fronteira.** São condições não intrínsecas ao edifício, mas que influenciam o seu desempenho. Estas são o clima exterior e as condições interiores:
 - Condições exteriores: temperatura, velocidade e direção do vento, radiação solar, humidade relativa, precipitação, etc.;
 - Condições interiores: temperatura, humidade relativa, fluxos de ar, etc..

- **Propriedades do edifício.**

- Propriedades da envolvente. Parâmetros que caracterizam a envolvente do edifício, como: orientação, altura, inércia térmica, estanquidade ao ar, características dos elementos, área das janelas, etc..
- Propriedades do componente. Parâmetros que caracterizam o componente como a espessura e o tipo de material de cada camada.
- Propriedades dos materiais. Todas as propriedades que interferem no comportamento higrotérmico de cada material. Massa volúmica, saturação capilar, resistência térmica, absorção de água, emissividade, densidade aparente, porosidade, calor específico, condutibilidade térmica, permeabilidade ao vapor de água, curva higroscópica, entalpia.

- **Comportamento do utilizador.** As ações do utilizador também são passíveis de afetar o comportamento do edifício, uma vez que o edifício existe para o utilizador. Esta família corresponde ao tema de desenvolvimento dos capítulos seguintes.
- **Mão-de-obra.** Dados relacionados com a qualificação da mão-de-obra, a tecnologia utilizada e as tolerâncias aceites na construção.
- **Sistemas Mecânicos.** Sistemas de arrefecimento, aquecimento ou ventilação.

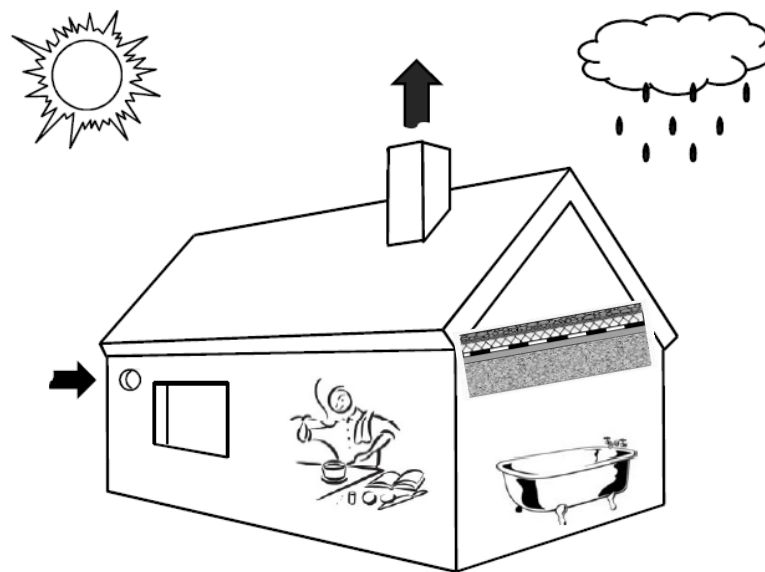


Fig. 7 – Fatores que influenciam o desempenho do edifício, adaptado de Johansson et al. (2010).

Mais uma vez, cada família não interfere separadamente no comportamento do edifício. Existe um relacionamento estreito entre todas as famílias e delas com o edifício. Todas estas interações são de difícil caracterização. Por isso, pensa-se que a base de dados deve ser pensada de forma a entrar com cada fator em separado, tendo em vista o desempenho final do objeto de análise. Por exemplo, o clima exterior influenciará o comportamento do utilizador no que respeita à abertura de janelas (tendo em vista a ventilação de um compartimento, por exemplo), isto interfere com a temperatura interior e com

os fluxos de ar; estas variações nas condições interiores podem voltar a interferir com o comportamento do utilizador e assim sucessivamente.

Pode acontecer que ao efetuar uma análise não estejam presentes todos os parâmetros, nem todas as famílias mencionadas.

Deste modo, para efetuar uma análise, cada dado de entrada é introduzido separadamente, tendo em conta a sua natureza estocástica, e o método de análise probabilístico compõe todos os parâmetros num cenário que se irá traduzir no produto final de desempenho do objeto de estudo. Este resultado é comparado com o nível desejável de desempenho, verificando a fiabilidade da solução em estudo.

3.4 ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS

Até agora, foi discutido quais os métodos estatísticos e probabilísticos úteis para a criação da base de dados estocásticos e quais os tipos de dados que esta deve conter. Os dados foram organizados por famílias e no subcapítulo 2.5 fez-se referência a trabalhos realizados no âmbito do mesmo objetivo geral que é a construção de uma base de dados estocásticos.

A base de dados estocásticos deverá conter informação sobre os dados descritos no subcapítulo anterior, organizados por famílias. A informação final resultará de um processo de recolha e tratamento tal como descrito em 3.2. Trata-se de uma caracterização estatística de cada variável de entrada. Para cada parâmetro deverá ser referido o método utilizado para a sua caracterização estatística e as limitações da informação resultante disponível.

O processo de criação da base de dados estocásticos está esquematizado na Fig. 8, começa na recolha e tratamento de dados, passando por métodos de inferência estatística que resulta na informação pretendida para cada variável a incluir na base de dados estocásticos. Por último, organiza-se a informação na base de dados estocásticos.

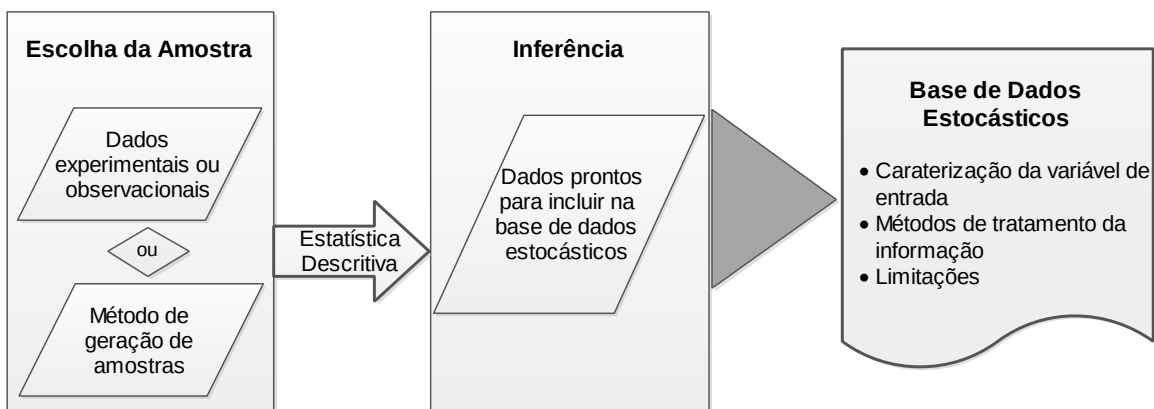


Fig. 8 – Processo que culmina na criação da base de dados estocásticos.

4

DADOS SOBRE O COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR

4.1 ENQUADRAMENTO GERAL

O objetivo global deste trabalho centra-se na construção da base de dados estocásticos. Assim, escolheu-se uma família de dados de entrada para estudar com o objetivo de incluir a sua natureza estocástica na análise de risco de soluções de reabilitação. A família de dados escolhida foi o Comportamento do Utilizador.

Quando se projeta um edifício é importante que se tenha sempre presente que este se destina a ser utilizado por pessoas. Ou melhor, sem pessoas não faz sentido a existência de um edifício. A interação entre o utilizador e o edifício e tudo o que esta comporta é inevitável e é fácil enumerar ações banais do dia-a-dia que o evidenciam. Esta interação afeta o desempenho do edifício.

O comportamento do utilizador é um tema ao qual automaticamente se associa uma incerteza própria, por conter a componente humana. As ações do ser humano não são programadas, acontecem aleatoriamente, desencadeadas por algum motivo que pode ter várias origens e associadas à vontade própria de cada utilizador. Só por isto, este tema é de difícil parametrização e tratamento. Existem alguns estudos e bases de dados estatísticas que fornecem informação sobre ações quotidianas e alguns tentam associar os fatores que desencadeiam e explicam essas ações.

A forma como este comportamento afeta o funcionamento de um edifício é um assunto, até à data, pouco desenvolvido. Ou melhor, existem vários estudos que associam estes acontecimentos, mas a dificuldade na caracterização e na conceptualização do fenómeno faz com que ainda não seja possível introduzir estes dados, de forma eficaz, numa simulação numérica. Note-se que, ao contrário de variáveis como as propriedades dos materiais, que podem ser medidas em laboratório, para as quais já existem normas e já se conhece os motivos de incerteza, o comportamento do utilizador está longe de estar assim caracterizado.

De forma a incluir numa análise higrotérmica todos os dados passíveis de contribuir para a alteração de um cenário e, conseqüentemente, conhecer o risco associado, entende-se que há a necessidade de compreender de que forma e em que medida o comportamento do utilizador afeta o desempenho de um edifício.

A fim de colaborar na busca do conhecimento sobre este tema, fez-se uma pesquisa sobre a informação disponível, cujo resultado será exposto neste capítulo. Assim, em 4.2 apresentam-se as fontes consultadas e os dados medidos disponíveis sobre o comportamento do utilizador. Os estudos serão apresentados por ordem cronológica e por assunto. Alguns autores citam e utilizam dados de outras referências bibliográficas, mas por vezes isso não será explicitado.

4.2 FONTES CONSULTADAS E DADOS MEDIDOS DISPONÍVEIS

4.2.1 SERVIDOR EUROPEU – HETUS

Existe uma base de dados europeia, *Harmonized European Time Use Survey – HETUS* (HETUS 2012), que permite obter informação sobre o comportamento do utilizador, para quinze países da Europa. São fornecidos dados respeitantes a várias atividades do dia-a-dia relacionadas com cuidados pessoais, emprego, estudo, atividades domésticas, entretenimento e viagens. Para cada uma destas atividades, é possível retirar informação sobre o tempo gasto por dia, a distribuição da frequência de cada atividade ao longo do dia, a diferença entre géneros, idade, etc. A informação é fornecida de várias formas, como tabelas ou gráficos de frequências, por exemplo. Os países são: Alemanha, Bélgica, Bulgária, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Itália, Letónia, Lituânia, Noruega, Polónia, Reino Unido e Suécia.

Seguidamente, apresenta-se um exemplo do tipo de informação disponível neste servidor. Na Fig. 9 pode observar-se o perfil diário da preparação de refeições, para Espanha. Pode verificar-se a existência de dois picos diários, correspondentes ao almoço, entre as 13 e as 14 horas, e ao jantar, por volta das 21 horas. Os dados estão divididos entre semana e fim de semana, mas o perfil é idêntico para os dois períodos. Na Fig. 10 a mesma informação é apresentada para a França. Observam-se diferenças entre os países. Comparativamente com Espanha, o pico do jantar em França é mais cedo, por volta das 18 horas – variabilidade horizontal do perfil. Nas horas de almoço, há uma dispersão maior da frequência de utilizadores, isto é, não há um pico tão bem definido. Além disso, nota-se uma diferença entre o fim de semana e a semana em termos de número de utilizadores, para a França. Estas diferenças podem ser explicadas por fatores culturais, por exemplo, em Espanha há uma tradição de horário de almoço mais prolongado (duas horas) do que noutros países europeus, como é o caso de França (uma hora). Este facto leva a que os utilizadores espanhóis possam ir a casa almoçar enquanto os franceses têm de preparar o almoço antes de sair de casa ou almoçar fora. O facto do pico do jantar ser mais cedo na França estará de igual modo relacionado com fatores culturais. As diferenças quanto à preparação de refeições entre a semana e o fim de semana revelam que na França há uma maior tendência para almoçar fora ao fim de semana.

Seria interessante ter dados deste tipo disponíveis para Portugal.

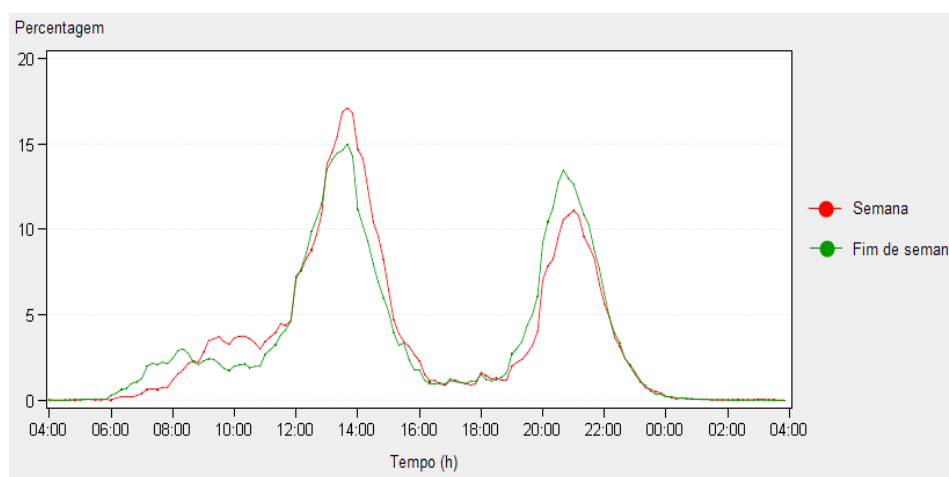


Fig. 9 – Perfil diário da confecção de refeições em Espanha, dados do HETUS (2012).

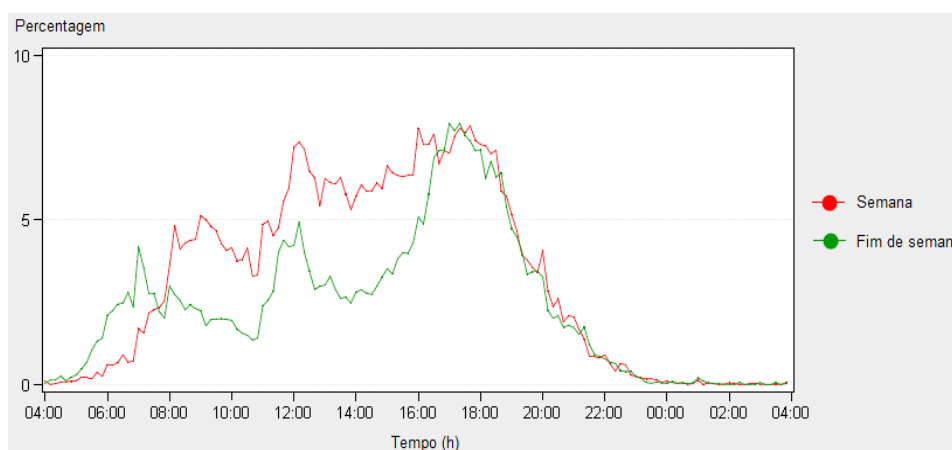


Fig. 10 – Perfil diário da confecção de refeições em França, dados do HETUS (2012).

4.2.2 NICOL, HUMPHREYS E RIJAL

Num estudo realizado por Nicol e Humphreys (2004), reuniram-se dados de edifícios de escritórios pertencentes a três bases de dados. Uma delas resulta de dados recolhidos em cinco países europeus: França, Grécia, Portugal, Reino Unido e Suécia. Outra, de dados recolhidos só no Reino Unido e a terceira apenas no Paquistão. Alguns dos edifícios na base de dados da Europa e do Reino Unido eram ventilados naturalmente. Foram recolhidos dados referentes à utilização (abertura/fecho) de janelas, ventiladores mecânicos, iluminação artificial, dispositivos de sombreamento e sistema de aquecimento. Verificou-se a relação entre a utilização destes dispositivos e as condições interiores e exteriores.

Outro estudo mais recente de Rijal, Humphreys e Nicol (2009), utiliza as mesmas bases de dados do anterior, mas faz uma divisão dos edifícios por tipo de ventilação e sistemas de aquecimento e arrefecimento. Os dados foram agrupados da seguinte forma: havia um conjunto de dados que era medido mensalmente, em cada um dos edifícios nos cinco países da Europa, que são chamados de

“transversais da Europa”, porque elucidam sobre as diferenças entre os países; outro conjunto de dados foi nomeado como “longitudinais da Europa”, são dados recolhidos num questionário que os utilizadores respondiam em quatro alturas do dia durante um certo período de tempo; o terceiro conjunto de dados foi recolhido da mesma forma que o primeiro, mas para edifícios de escritórios em diferentes cidades do Paquistão, pelo que foi nomeado “transversais do Paquistão”. Para cada conjunto de dados avaliou-se a temperatura de conforto dos utilizadores e realizou-se uma regressão linear cujo resultado está ilustrado na Fig. 11. Pode verificar-se a diferença entre países, possivelmente provocada por questões de adaptação ao clima local; Note-se que para a mesma temperatura exterior média, a partir dos 19°C, os utilizadores do Paquistão sentem-se confortáveis com temperaturas mais elevadas relativamente aos utilizadores da Europa.

Neste estudo também foi investigada a relação entre o uso dos dispositivos janelas, ventiladores mecânicos, iluminação artificial, dispositivos de sombreamento e sistema de aquecimento, e as condições interiores e exteriores.

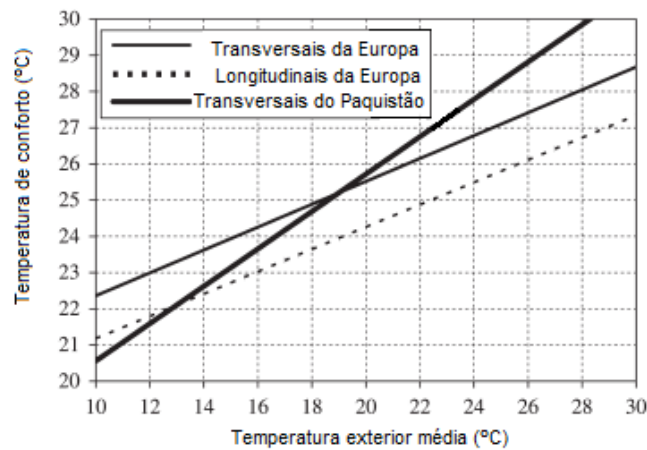


Fig. 11 – Relação entre a temperatura exterior e a temperatura de conforto para os utilizadores, adaptado de Rijal, Humphreys e Nicol (2009).

4.2.3 HERKEL, KNAPP E PFAFFEROTT

Um estudo sobre o uso das janelas foi conduzido por Herkel, Knapp e Pfafferott (2008), com base em medições efetuadas durante um ano, em vinte e um escritórios individuais de um edifício sem ar condicionado localizado na Alemanha. Foram registados, minuto a minuto, os estados referentes à ocupação e às condições climáticas interiores e exteriores.

Com os registos efetuados é apresentada a relação entre as temperaturas interior e exterior durante o período das medições, em valores médios hora a hora.

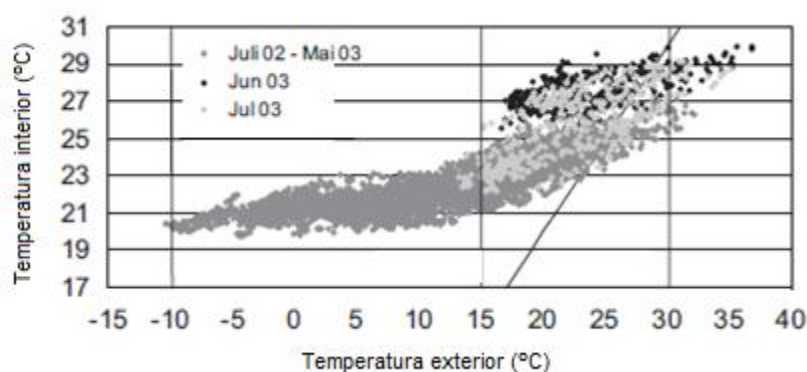


Fig. 12 – Relação entre a temperatura interior e exterior, adaptado de Herkel, Knapp e Pfafferott (2008).

Neste estudo é também apresentada a percentagem de janelas abertas ao longo de 24 horas, de acordo com a estação do ano e o tamanho das janelas, com base em valores médios horários (ver Fig. 13). No caso, havia dois tipos e tamanhos de janelas, pequenas basculantes na base, que estão situadas junto ao teto; grandes com possibilidade de basculantes na base – entreaberta – e basculantes na lateral – totalmente abertas.

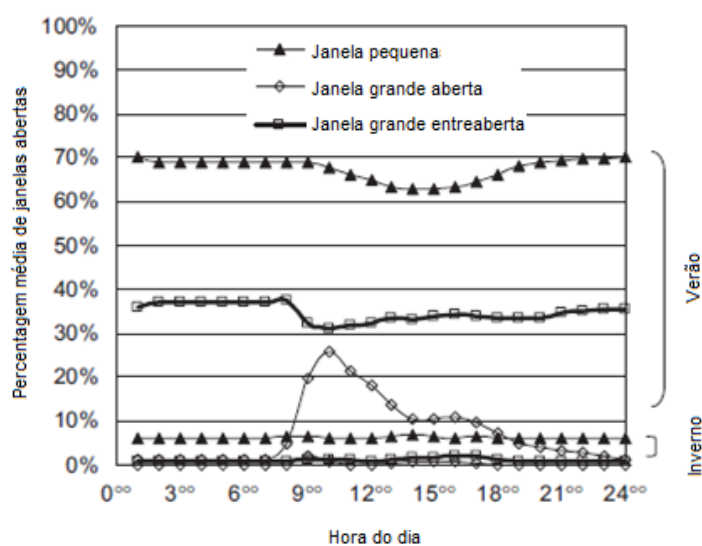


Fig. 13 – Percentagem de janelas abertas, dependendo da hora do dia e da estação do ano, adaptado de Herkel, Knapp e Pfafferott (2008).

Na Fig. 14, mostra-se a informação que disponibilizam sobre a frequência de abertura ou fecho de janelas, conforme a altura do dia (à chegada, intermédio e à saída) e o tamanho das janelas. Pode observar-se que a frequência de alteração do estado das janelas é superior à chegada dos utilizadores ao escritório.

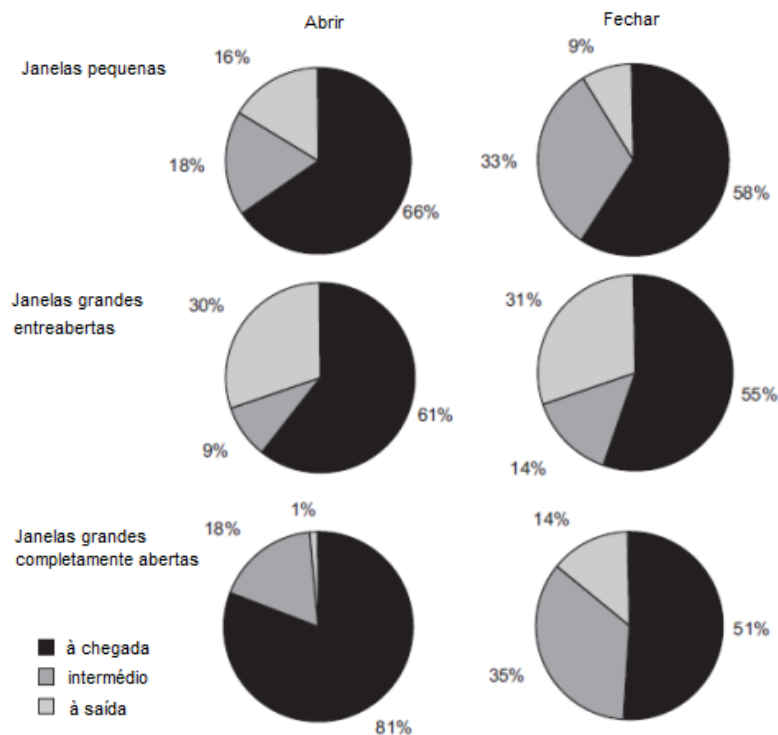


Fig. 14 – Frequência de abertura/fecho de uma janela, conforme a altura do dia e o tamanho das janelas, adaptado de Herkel, Knapp e Pfafferott (2008).

4.2.4 YUN E STEEMERS

Yun e Steemers (2008) desenvolveram um estudo sobre o comportamento do controlo de janelas, para escritórios com ocupação individual e dupla, no Verão. As medições foram efetuadas no Reino Unido durante os meses de Verão do ano 2006, em escritórios com e sem ventilação noturna. Recolheram-se dados relativos às condições climáticas interiores e referentes à ocupação do compartimento, o que permitiu obter a informação ilustrada nas Fig. 15 e Fig. 16.

Na Fig. 15 está representada a proporção de alteração do estado das janelas, em escritórios sem ventilação noturna, à chegada (esquerda) e num tempo intermédio (direita). Observa-se que o estado das janelas tem maior frequência de alteração à chegada do que em instantes de tempo intermédios.

Também existe informação relativa a edifícios com ventilação noturna, que demonstra a proporção de alteração do estado das janelas, dependendo da ocupação e do estado anterior das janelas (Fig. 16).

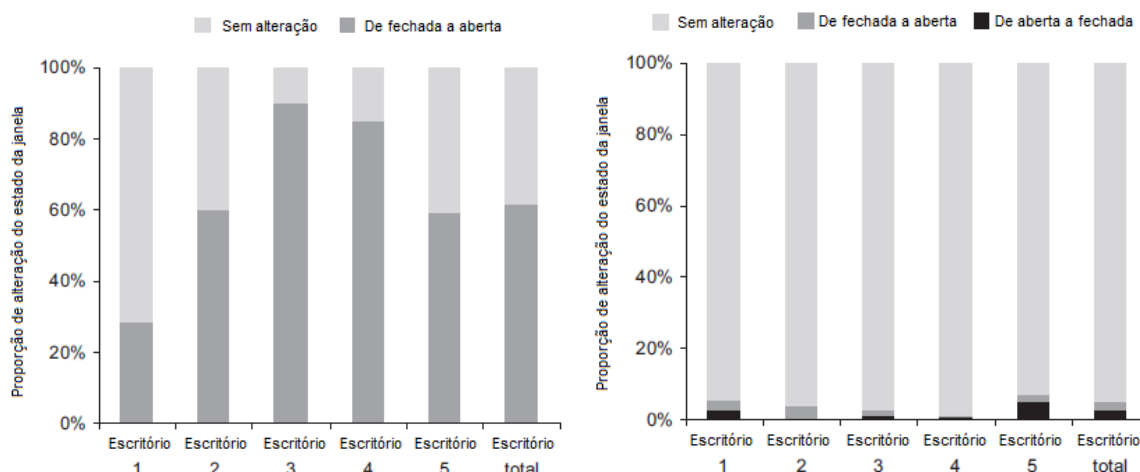


Fig. 15 – Proporção de alteração do estado da janela à chegada (esquerda) e num tempo intermédio (à direita), em escritórios sem ventilação noturna, adaptado de Yun e Steemers (2008).

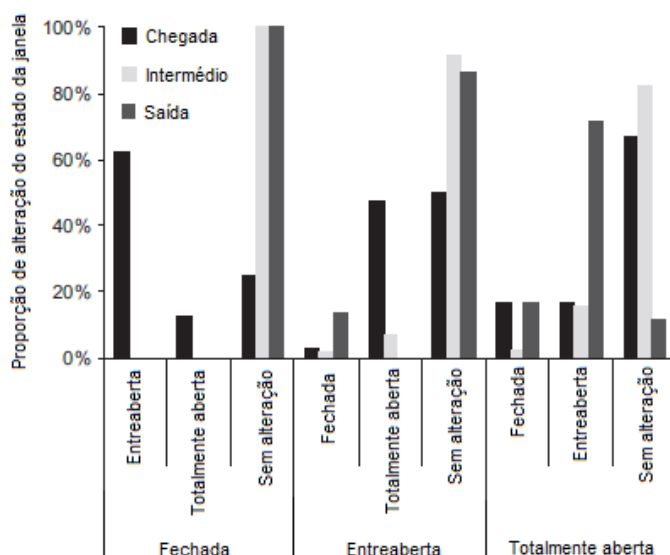


Fig. 16 – Proporção de alteração do estado das janelas, dependendo da ocupação e do estado anterior, em edifícios com ventilação noturna, adaptado de Yun e Steemers (2008).

4.2.5 HALDI E ROBINSON

Haldi e Robinson (2009) também efetuaram um estudo sobre a abertura de janelas em escritórios. Os dados foram obtidos através de medições efetuadas durante sete anos em escritórios localizados na Suíça. Foram medidos continuamente valores de temperatura interior, condições climáticas exteriores (temperatura, velocidade e direção do vento, humidade relativa e ocorrência de chuva) e estados referentes à ocupação do compartimento e às janelas (abertas/ fechadas).

Com os dados recolhidos foi possível obter informação sobre a probabilidade de abrir ou fechar uma janela, numa dada altura do dia e por tipologia de escritório (duplos ou individuais), ilustrado na Fig. 17. Neste estudo, também averiguaram a relação entre a alteração do estado das janelas e as condições interiores e exteriores (ver Fig. 18, gráficos a) a f)).

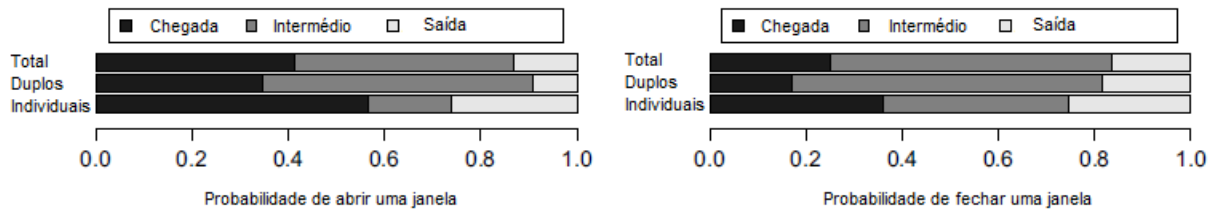


Fig. 17 – Probabilidade de abrir/fechar uma janela, numa altura do dia e por tipologia do escritório, adaptado de Haldi e Robinson (2009).

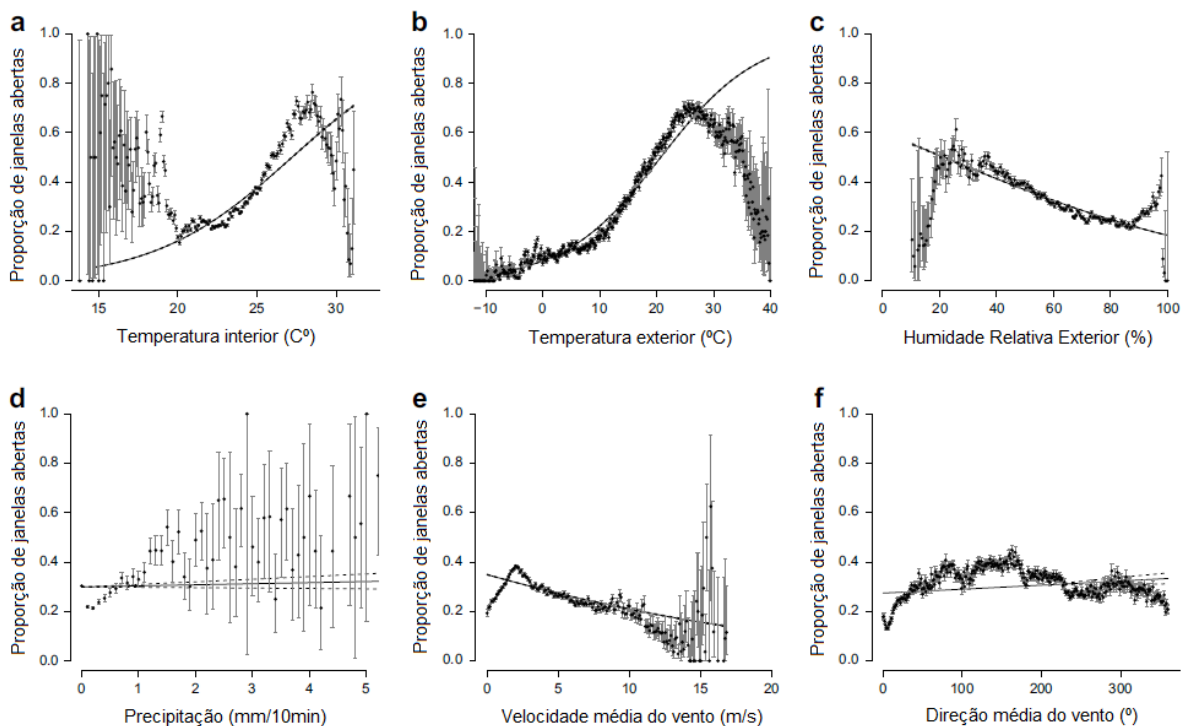


Fig. 18 – Relação entre o estado das janelas e as condições interiores e exteriores, adaptado de Haldi e Robinson (2009).

Pode concluir-se que o próprio utilizador pode ter comportamentos distintos se estiver sozinho ou acompanhado e que a maioria das ações ocorre à chegada e em alturas intermédias da ocupação do compartimento. As temperaturas interior e exterior estão fortemente relacionadas com a abertura de janelas. A humidade relativa exterior também poderá influenciar o comportamento do utilizador, provavelmente associada à possibilidade de ocorrência de precipitação, quanto maior a humidade relativa exterior, menor a proporção de janelas abertas. A velocidade do vento apenas tem influência para velocidades superiores a 6 m/s.

Haldi e Robinson (2010) também desenvolveram um estudo sobre o comportamento relativo ao uso de dispositivos de sombreamento. Os dados, obtidos através de medições ao longo de seis anos, são referentes a escritórios localizados na Suíça. Foram continuamente medidos dados de estado da ocupação do compartimento e parâmetros térmicos e visuais.

Em cada compartimento existiam dois tipos de dispositivo de sombreamento, superior e ao nível do utilizador, respetivamente 1 e 2 da Fig. 19.



Fig. 19 - Dispositivos existentes nos escritórios, adaptado de Haldi e Robinson (2010).

Dos dados recolhidos, obteve-se a distribuição de probabilidade de controlo dos dispositivos de sombreamento, dependendo de quatro variáveis: iluminância interior, iluminância exterior, temperatura interior e temperatura exterior. Os resultados estão ilustrados na Fig. 20. A escala vai desde “dispositivo totalmente acionado” – cinza escuro – até “dispositivo não acionado” – cinza mais claro.

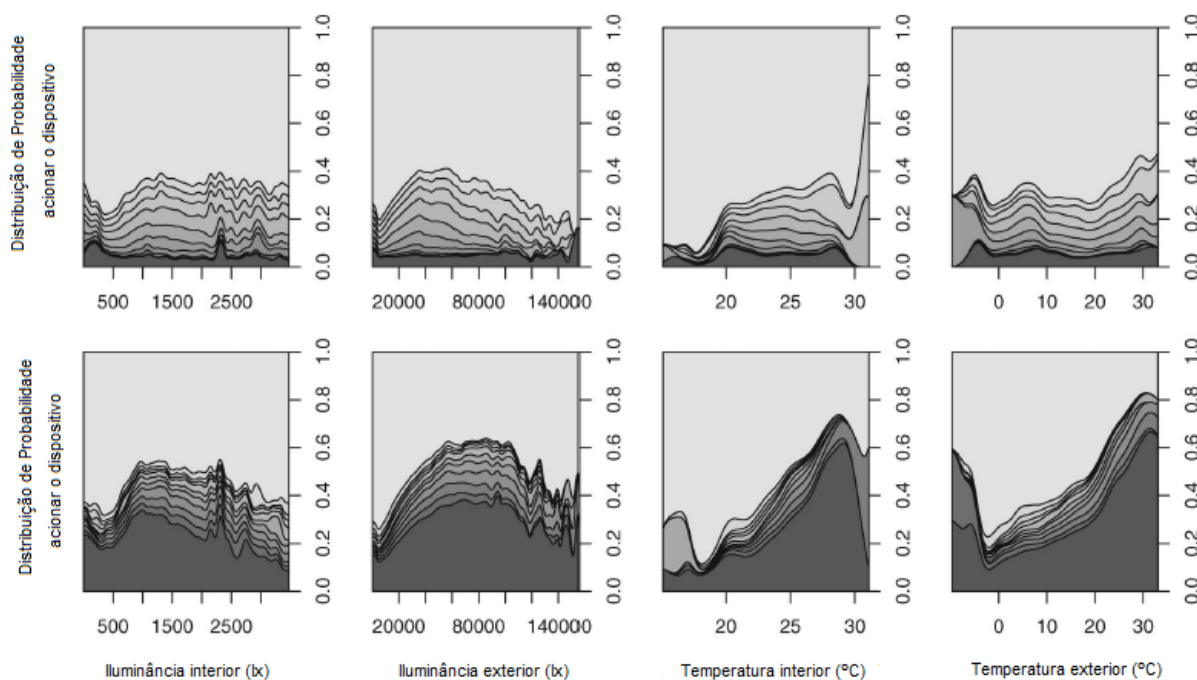


Fig. 20— Distribuição de probabilidade para acionar o dispositivo de sombreamento. Em cima dispositivo nº1, em baixo dispositivo nº2. Adaptado de Haldi e Robinson (2010).

4.2.6 ROETZEL ET AL.

Mais uma vez, foi estudado o comportamento do utilizador no que diz respeito ao controlo de janelas para escritórios (Roetzel et al. 2010). Este trabalho reúne vários dados existentes na literatura. Os fatores estudados, passíveis de influenciar o comportamento, foram: o clima, o design da fachada, nomeadamente tipo de sistema de abertura da janela e percentagens de abertura, tamanho, forma e localização da janela no compartimento, temperatura interior e exterior, altura do dia, estado anterior da janela e ocorrência de ventilação noturna.

Segundo Roetzel et al. (2010), o tamanho, a forma e o posicionamento da janela têm influência no comportamento do utilizador. Na Fig. 21 está ilustrado o desempenho de cada tipo de janela relativamente à proteção contra agentes climáticos, maximização da ventilação conseguida, facilidade no ajuste da área de abertura e flexibilidade de colocação de mobiliário.

Propriedades de diferentes tipos de janela quando abertas num ângulo típico	Basculante lateral, a abrir para o interior	Basculante na base, a abrir para o interior	De correr	Pivotante horizontal	Basculante no topo, a abrir para o exterior
Proteção agentes climáticos	-	+	-	0	0
Max. Ventilação conseguida	+	-	0	+	0
Ajuste da área de abertura	+	-	+	+	+
Flexibilidade de colocação de mobiliário	-	+	+	0	+

Fig. 21 – Comparação entre as propriedades dos diferentes tipos de janelas; descrição dos símbolos: -, fraco; 0, médio; +, bom. Adaptado de Roetzel et al. (2010).

Neste trabalho, é apresentada a relação entre a taxa de renovações horárias e a diferença entre temperatura interior e exterior para janelas do tipo basculantes na base (ver Fig. 22), de acordo com o tipo de configuração de fachada representado na Fig. 23.

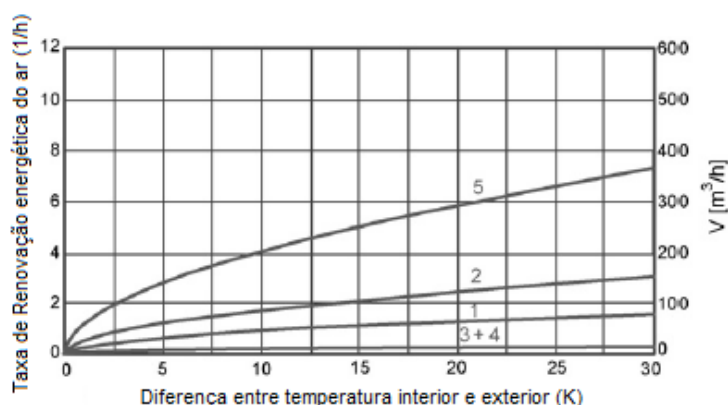


Fig. 22 – Relação entre renovações horárias e diferença entre temperatura interior-exterior para janelas do tipo basculantes na base, adaptado de Roetzel et al. (2010).

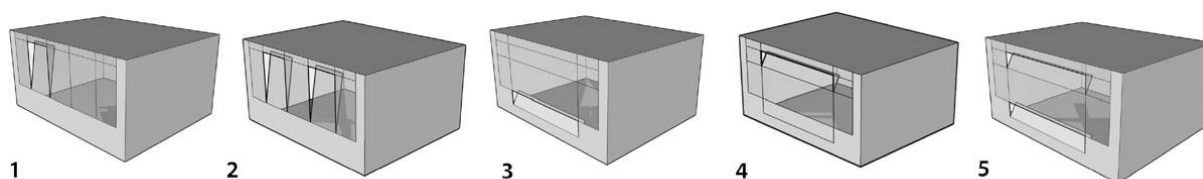


Fig. 23 – Tipos de configuração de uma fachada para edifícios de escritórios, adaptado de Roetzel et al. (2010).

No mesmo estudo, diz-se que o número de janelas abertas é mais baixo no inverno, mais alto no verão e intermédio no outono e primavera. A frequência de alteração do estado da janela é superior nas estações médias e mais baixa no verão, pois as janelas ficam abertas durante um maior período de tempo. A relação entre a abertura das janelas e a temperatura interior é mais forte no verão, por se ter em consideração os ganhos internos e solares, sendo o objetivo o arrefecimento do compartimento. Em princípio, no inverno será a qualidade do ar interior a principal motivação para a abertura de janelas (Roetzel et al. 2010).

4.2.7 ANTRETTER, MAYER E WELLISCH

Antretter et al. (2011) realizaram um estudo que teve como objetivo analisar o comportamento do utilizador no diz respeito ao uso de janelas. As medições ocorreram em dezassete edifícios residenciais localizados na Alemanha ao longo de dois anos. Foram medidos continuamente valores de temperatura exterior, de humidade do ar exterior, da velocidade do vento, de temperatura interior e de humidade do ar interior. Também se registaram a duração de abertura da janela, a altura do dia, o tipo de compartimento e o tipo de ventilação do compartimento (Antretter et al. 2011).

Investigou-se a relação entre a abertura de janelas e as condições interiores e exteriores, resultando como variáveis com influência no comportamento do utilizador: temperatura exterior, humidade exterior, temperatura interior, hora do dia e tipo de compartimento.

4.2.8 ANDERSEN ET AL.

O estudo de Andersen et al. (2009), realizado em habitações localizadas na Dinamarca, teve como objetivo perceber quais as variáveis que afetam o controlo do ambiente interior. Efetuaram-se medições relativas ao ambiente interior nas estações de verão e de inverno. Concluiu-se que o controlo do ambiente interior é definido pelos parâmetros: abertura de janelas, aquecimento, iluminação e sombreamento. Estes parâmetros foram correlacionados com outras variáveis, através da análise de regressão logística múltipla. As variáveis são: a temperatura exterior, o título de propriedade, a radiação solar, a área de pavimento, a iluminação percecionada, a qualidade do ar interior, a sensação térmica, o ruído percecionado, a presença de lareira, a idade e o género dos participantes.

Foram encontradas correlações entre a abertura de janelas e a temperatura exterior, a radiação solar, a qualidade do ar interior (QAI), a perceção de ruído, a perceção de iluminação, o título de propriedade, a área de pavimento e o género do utilizador.

Para o sombreamento encontra-se uma relação com o título de propriedade, a radiação solar, a qualidade do ar interior e a idade do utilizador.

No mesmo trabalho, verifica-se que o uso do sistema de aquecimento está fortemente relacionado com a temperatura exterior. A presença de lareira e o tipo de controlo do sistema de aquecimento também apresentam um impacto considerável neste comportamento.

4.2.9 BAE E CHUN

Bae e Chun (2009) conduziram um estudo, em habitações localizadas na Coreia do Sul, com o propósito de conhecer o comportamento do utilizador face ao controlo de sistemas de aquecimento e arrefecimento. Foram recolhidos dados durante o verão, outono e inverno. Mediram-se continuamente valores de temperatura e humidade interior na sala de estar. Também se registaram valores do isolamento dado pelo vestuário, bem como a sensação térmica do utilizador.

Os resultados das medições estão retratados nas Fig. 24 a Fig. 27, onde estão representados o conjunto de pontos humidade relativa – temperatura operativa do compartimento, para verão, outono e inverno. Nos gráficos das Fig. 24 a Fig. 27 são também comparados os valores anteriores com os valores da temperatura de conforto, segundo (ASHRAE, 2004). Pode verificar-se que no inverno, a maioria dos valores está dentro da zona de conforto, denotando-se um ligeiro sobreaquecimento; no outono verifica-se uma coincidência com os valores de referência; enquanto no verão, o utilizador sente-se confortável para valores mais elevados de temperatura e humidade relativa do que os descritos na fonte já mencionada. O comportamento de verão pode ser explicado por fatores de economia de energia, uma vez que os valores da norma são baseados em medições de laboratório. Em casa, os utilizadores parecem mais cuidadosos na altura em que decidem ligar o arrefecimento.

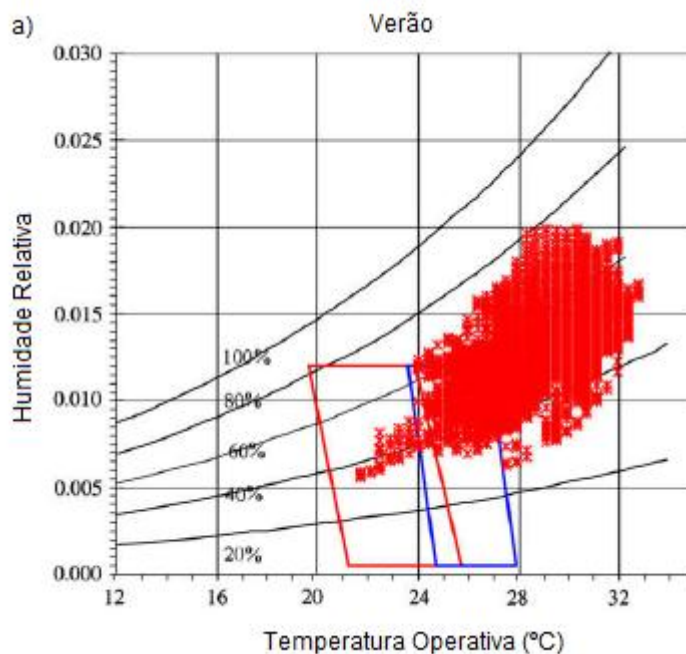


Fig. 24 – Ambiente térmico interior, no verão (a), adaptado de Bae e Chun (2009).

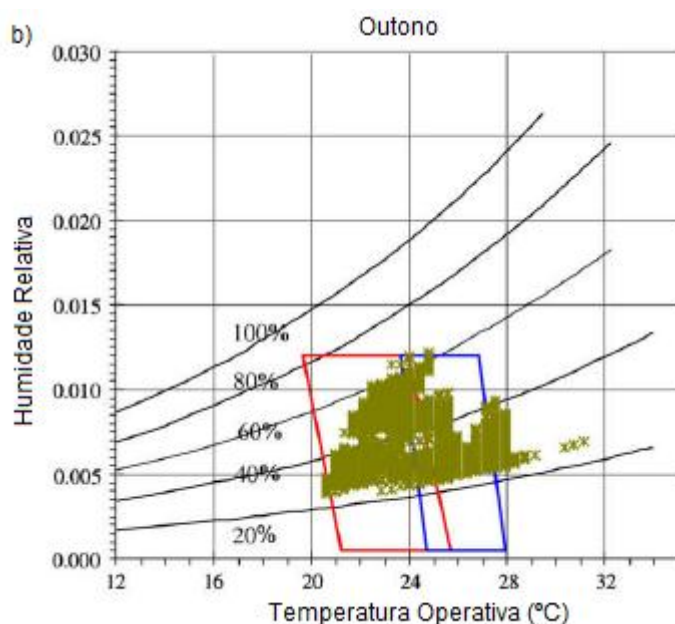


Fig. 25 - Ambiente térmico interior, no outono (b), adaptado de Bae e Chun (2009).

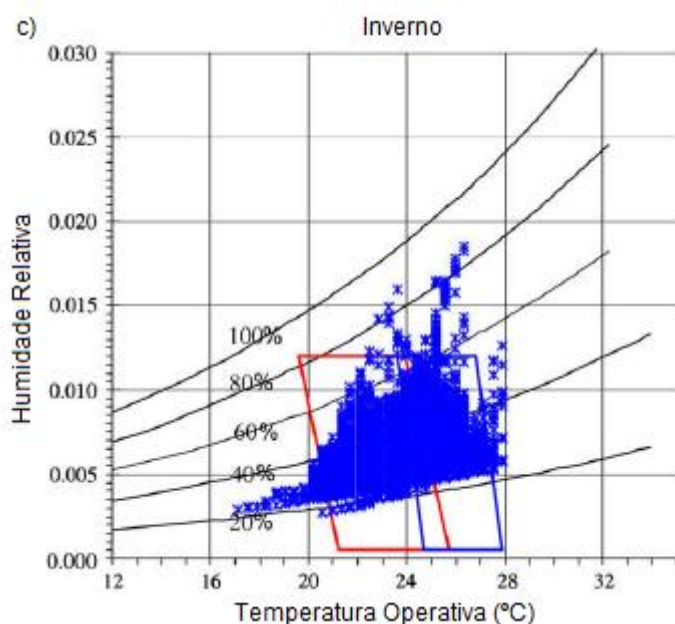


Fig. 26 - Ambiente térmico interior, no inverno (c), adaptado de Bae e Chun (2009).

Neste estudo de Bae e Chun (2009), avaliou-se a evolução da temperatura interior escolhida pelos utilizadores ao longo do tempo, verificando-se que sofreu um aumento na estação de aquecimento, enquanto se manteve estável no verão (ver Fig. 28).

Baseado em análise de regressão, obteve-se os valores de temperatura neutra que correspondem a sensação neutra de conforto térmico, para verão, outono e inverno, 24,7 °C, 24,7 °C e 22,5 °C,

respetivamente. Verifica-se que a temperatura interior escolhida pelos utilizadores sofreu um aumento no inverno e diminuição no verão, nos últimos 25 anos (ver Fig. 28).

Neste estudo, também se constatou que a diferença entre a temperatura interior e exterior é maior em climas em que a estação de aquecimento é mais severa.

O valor do isolamento dado pelo vestuário decresceu ao longo dos anos, tanto no inverno como no verão, comparado com estudos dos últimos 25 anos (ver Fig. 29).

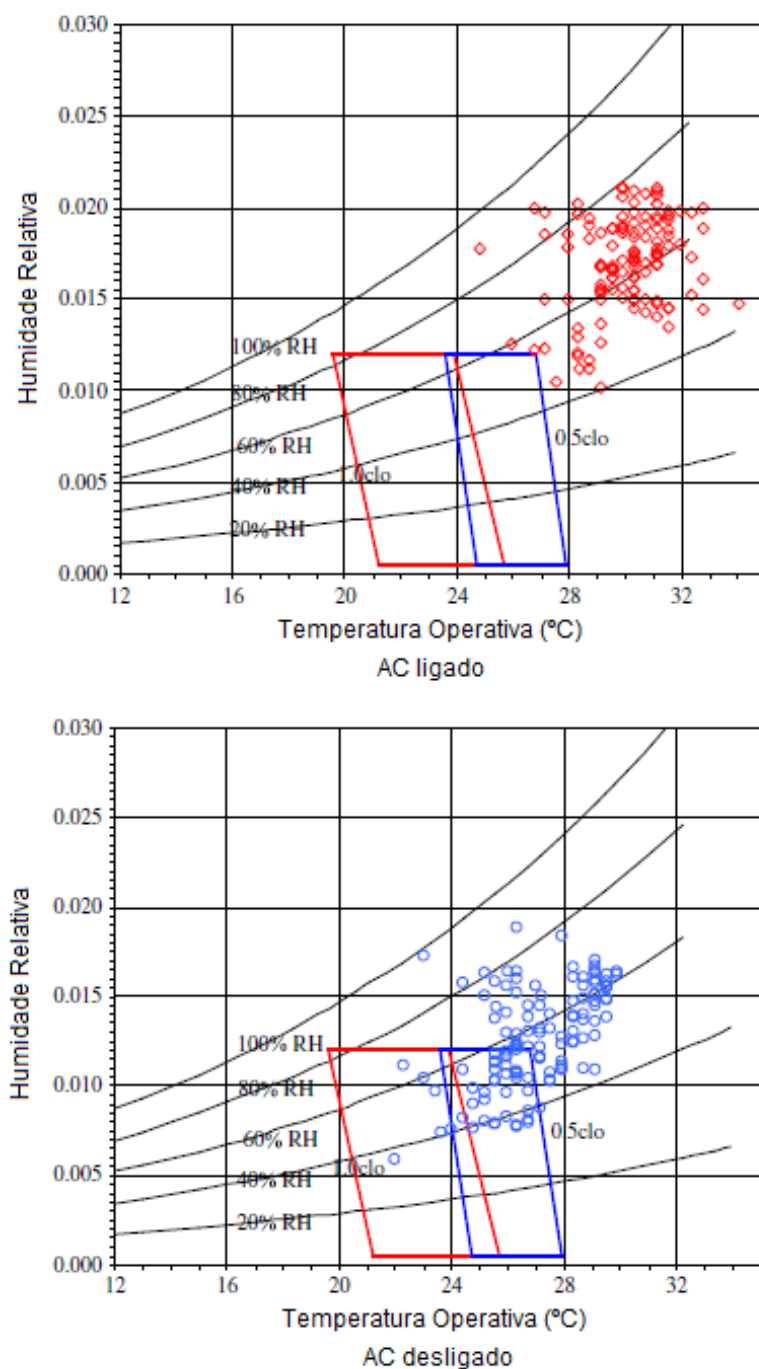


Fig. 27 – Ambiente interior para o verão, com o ar-condicionado ligado, em cima, e desligado, em baixo.
Adaptado de Bae e Chun (2009).

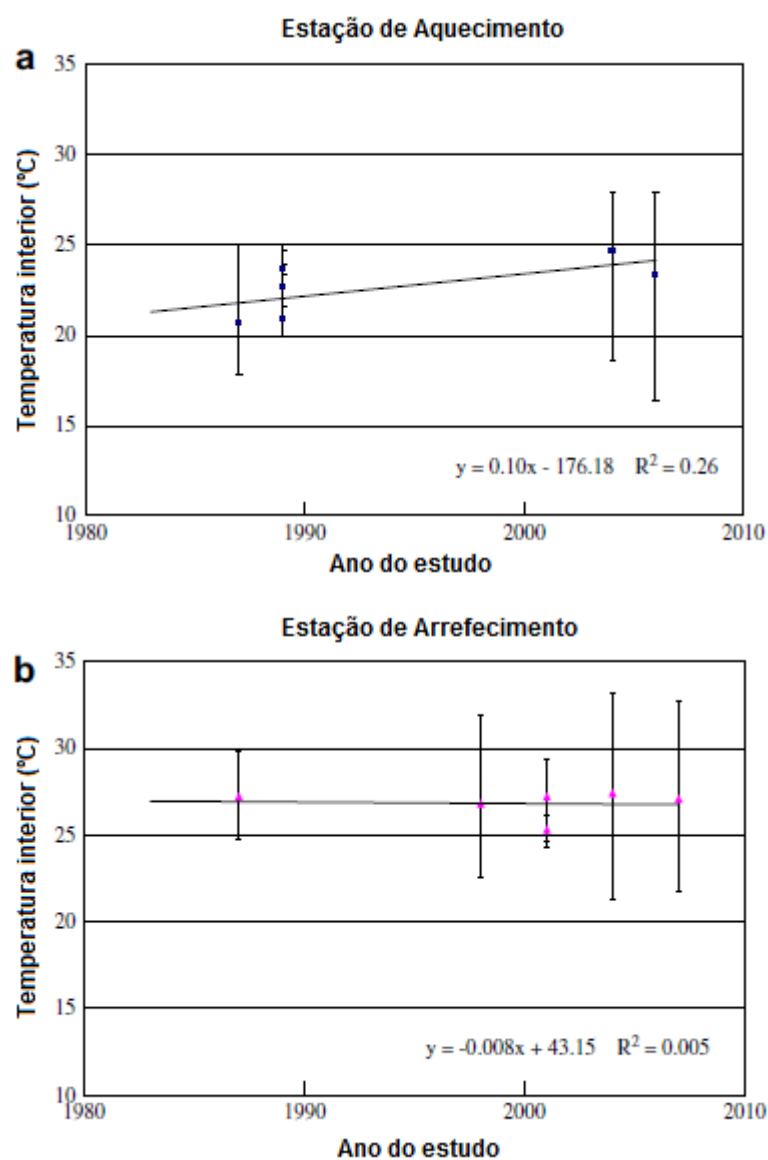


Fig. 28 – Evolução da temperatura interior escolhida pelos utilizadores, ao longo do tempo.
Adaptado de Bae e Chun (2009).

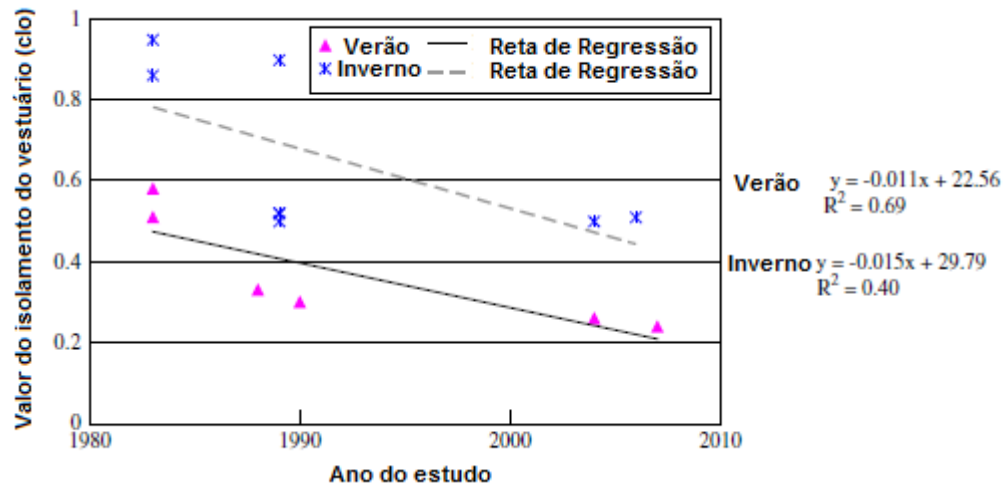


Fig. 29 – Evolução do valor do isolamento térmico dado pelo vestuário, ao longo do tempo.
Adaptado de Bae e Chun (2009).

4.2.10 BECKER E PACIUK

Num trabalho realizado por Becker e Paciuk (1993), avaliou-se o efeito causado por diferentes padrões de aquecimento no desempenho térmico de uma habitação que não recebia ganhos solares, tendo em conta as ações do utilizador. Foram encontrados cinco padrões típicos de comportamento, representados por atividade e tipo de vestuário. Entre os fatores investigados estão: energia diária total consumida, consumo de energia durante o fim de tarde, custos de energia e conforto térmico medido através da média diária prevista de percentagem de utilizadores satisfeitos. A partir destes fatores, estabeleceram-se dois critérios para identificação dos padrões de aquecimento: Energia vs. Conforto térmico e Custos vs. Conforto térmico. Os principais tipos de padrões de aquecimento considerados são: um período único que termina às 23 horas com vários tempos de início, um período de dois tempos (tarde-fim de tarde e noite-manhã) e um período contínuo.

Neste estudo são apresentados exemplos de resultados para construção pesada com variados tipos de paredes exteriores, em climas moderados e frios. As principais conclusões, do ponto de vista do utilizador, são: se o preço da energia for constante durante o dia, as horas de aquecimento devem ser de acordo com os hábitos do dia-a-dia; mesmo em climas não moderados, não é válido introduzir aquecimento durante a noite, quando as pessoas passam muitas horas fora de casa. Em geral, quanto mais frio o clima e quanto mais doméstico o quotidiano, a otimização do uso de energia passa por começar a aquecer à tarde e aquecer de manhã cedo. Do ponto de vista dos utilizadores que optam por custos variáveis ao longo do dia, utilizam o aquecimento de manhã cedo e durante a noite, em vez de durante a tarde, de forma a atingir os mesmos níveis de conforto térmico; gastam mais energia de um modo global, mas menos energia durante as horas de pico, por isso torna-se mais barato (Becker e Paciuk, 1993).

4.2.11 DELGHUST ET AL.

O estudo de Delghust et al. (2012) foi conduzido com o objetivo de conhecer as causas da disparidade entre a energia que se prevê ser necessária para aquecimento e aquela que é realmente gasta. O

comportamento do utilizador é um fator com relevância considerável para a diferença entre o previsto e o medido. Deste modo, foram efetuadas medições em trinta e seis habitações sociais dos anos 60 localizadas na Bélgica. Foram medidos dados relativos ao comportamento do utilizador como:

- Frequência de permanência num dado compartimento ao longo do dia (ver Fig. 30);
- Frequência com que é usado o aquecimento por compartimento ao longo do dia (ver Fig. 31).

Também se realizaram medições da qualidade do ar interior (QAI), temperatura e humidade interiores, conforto térmico, pressão do ar, fluxos de calor e consumos de energia.

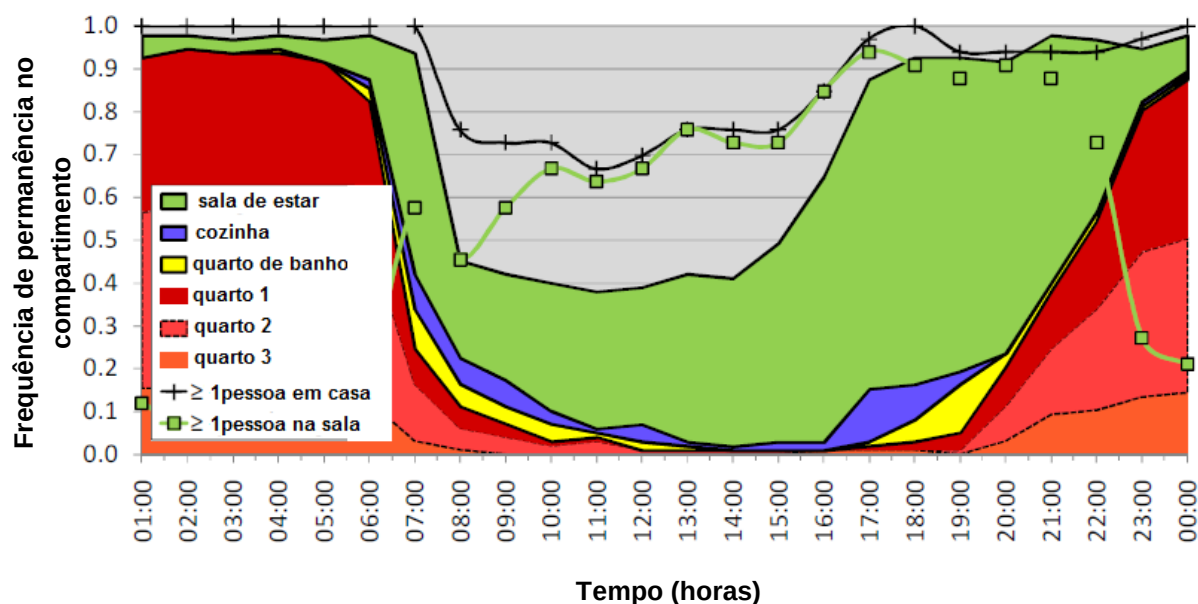


Fig. 30 – Perfil diário da presença dos utilizadores em cada compartimento, adaptado de Delghust et al. (2012).

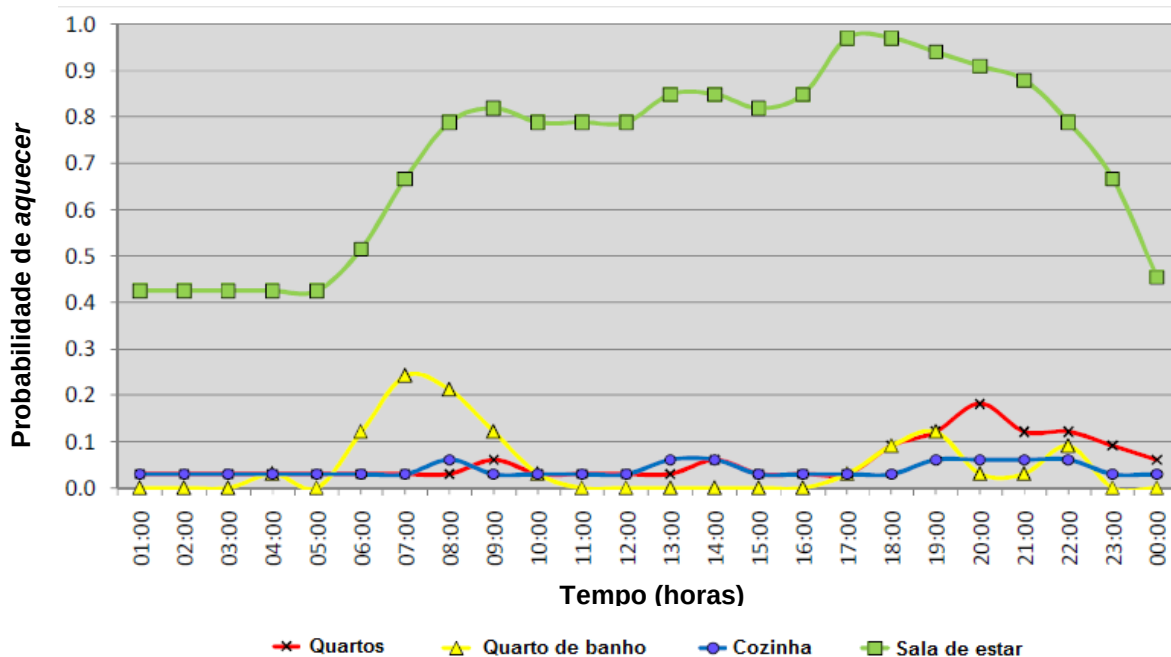


Fig. 31 – Perfil diário da probabilidade de ligar o aquecimento por compartimento, adaptado de Delghust et al. (2012).

4.2.12 GRAM-HANSSEN

Gram-Hanssen (2010) realizou um trabalho baseado num questionário a famílias que habitavam em residências localizadas em Copenhaga. Deste estudo, retirou informações sobre o uso do aquecimento e da ventilação, assim como da motivação para o comportamento do utilizador. Foram recolhidos dados do consumo de energia para aquecimento anual e temperaturas médias diárias, nos vários pisos de cada moradia.

O objetivo deste estudo era perceber de que forma o comportamento do utilizador tem influência no consumo da energia. Foram identificados cinco comportamentos tipo para o uso de aquecimento, de acordo com o Quadro 1. Pode verificar-se que existem diferenças significativas entre as cinco famílias tipo no que diz respeito aos consumos de energia. Note-se que, por exemplo, entre a família 3 e a família 4 o valor do consumo de energia para aquecimento é metade, embora as temperaturas interiores sejam idênticas. Estes factos estão relacionados com outros comportamentos do utilizador que interferem com a temperatura interior, por exemplo, deixar as janelas abertas nos compartimentos onde o aquecimento está ligado.

Quadro 1 – Caraterização das famílias tipo, adaptado de Gram-Hanssen (2010).

Família	Consumo energia para aquecimento (kWh/ano)	Rés-do-chão, temperatura média (°C)	Rés-do-chão, temperatura máxima (°C)	Variação da temperatura ao longo do tempo	Cave, temperatura média (°C)	Primeiro andar, temperatura média (°C)
1	14.600	20,5	22,1	Constante	20,8	18,9
2	14.000	20,3	21,4	Constante	20,4	18,1
3	10.300	18,5	20,2	Com variação	18,4	18,1
4	4.900	22,0	24,7	Com variação	20,9	16,9
5	4.000	19,0	22,7	Com variação	17,5	16,0

4.2.13 GUERRA-SANTIN E ITARD

Através da recolha de dados e de informação de uma base de dados Holandesa sobre residências, Guerra-Santin e Itard (2010) procuraram saber em que medida é que as ações do utilizador influenciam o consumo de energia, no que respeita a aquecimento, ventilação e duches/banhos.

Neste estudo, foi reunida informação sobre os fatores que teriam influência no comportamento do utilizador, são eles: nível de formação, tipologia da habitação, tipo de controlo do sistema de aquecimento ou de ventilação, idade dos habitantes, presença em casa, tipo de ventilação (natural ou mecânica).

Relativamente à ventilação natural, mediu-se o número de horas que as janelas permanecem abertas na sala de estar, nos quartos e nos quartos de banho (ver

Quadro 2). Não existe a informação do período do dia em que as janelas estão abertas.

Quadro 2 – Dados sobre a abertura de janelas, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).

Variável	Definição	Média	Desvio-padrão	Nº de contagens
Janelas	Nº de horas por dia janelas abertas na sala de estar	6	8	124
	Nº de horas por dia janelas abertas nos quartos	18	18	268
	Nº de horas por dia janelas abertas nos quartos de banho	9	9	83
Variável	Categoria	n	%	
Abertura de janelas na sala de estar	Sempre fechadas	179	59.1	
	1 hora	35	11.6	
	2-6 horas	56	18.5	
	Mais de 7 horas	33	10.9	
Abertura de janelas nos quartos	Sempre fechadas	34	11.3	
	1-3 horas	99	32.6	
	4-20 horas	94	31.0	
	Mais de 21 horas	76	24.8	

Além das janelas, existe a possibilidade da existência de grelhas reguláveis que também proporcionem a ventilação natural. A informação disponível revela que os habitantes mantêm as grelhas sempre abertas ou sempre fechadas em todos os compartimentos (ver Quadro 3). Além disso, verifica-se que mais de metade dos participantes no questionário mantêm as grelhas abertas na sala de estar e quartos e a maioria mantém fechadas no resto da casa.

Quadro 3 – Dados sobre a regulação de grelhas de ventilação, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).

Variável	Definição	Média	Desvio-padrão	Nº de contagens
Grelhas	Nº de horas por dia grelhas abertas na sala de estar	14	11	313
	Nº de horas por dia grelhas abertas nos quartos	16	11	313
	Nº de horas por dia grelhas abertas nos quartos de banho e sótão	5	10	313
	Nº de horas grelhas abertas (total)	80	48	270

O uso de ventiladores mecânicos, em residências, complementa a ventilação natural e é frequente nos casos em que há um aumento da produção de vapor num compartimento, como no ato de cozinhar ou tomar duche. Os dados estatísticos disponíveis, sobre ventilação mecânica, estão indicados no Quadro 4.

Quadro 4 – Dados sobre o uso de ventilação mecânica, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).

Variável	Categoria	Nº de contagens	%
Ventilação mecânica	Categoria 1: 1-3 horas na menor intensidade e o resto desligado ou sempre desligado	51	16,3
	Categoria 2: 1-3 horas na maior intensidade e o resto desligado	110	35,1
	Categoria 3: 1-3 horas na menor intensidade e o resto na maior intensidade em 24h	67	21,4
	Categoria 4: 24 horas na menor intensidade	25	8,0
	Categoria 5: 1-3 horas na maior intensidade e o resto do dia na menor	60	19,2
Sistema de ventilação	Exaustão mecânica	217	92,3
	Ventilação mista	18	7,7

Neste trabalho também foram recolhidos dados, hora a hora, relacionados com o aquecimento. Os dados disponíveis caracterizam as temperaturas mais alta e mais baixa para que os termóstatos são programados e o número de horas que permanecem nessas temperaturas. Após tratamento estatístico obteve-se informação sobre a média, o desvio padrão e o número de contagens (ver Quadro 5). Existem também dados referentes ao número de horas em que estão ligados os radiadores em cada compartimento, estando, de igual modo, disponíveis a média, o desvio padrão e o número de contagens (ver Quadro 5). Não existe, no entanto, informação sobre o perfil da temperatura escolhida ao longo do dia.

Quadro 5 – Dados sobre o uso do sistema de aquecimento, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).

Variável	Definição	Média	Desvio Padrão	Nº de contagens
Termóstato	Temperatura mais alta escolhida	20	7	290
	Nº de horas na temperatura mais alta	11	5	236
	Temperatura mais baixa escolhida	15	14	299
	Nº de horas na temperatura mais baixa	13	5	236

Radiador	Nº de horas por dia radiador ligado na sala de estar	16	9	313
	Nº de horas por dia radiador ligado nos quartos	24	3	313
	Nº de horas por dia radiador ligado nos quartos de banho	12,71	11,5	230
	Nº de horas por dia radiador ligado sótão	10,81	11,05	74
	Nº de horas por dia radiador ligado na entrada	5,97	9,98	285
	Nº de horas por dia radiador ligado no resto da casa	20	20	313
Variável	Categoria	Nº de contagens	%	
Radiadores ligados na sala de estar	Menos de 5 horas	72	23,0	
	6-18 horas	72	23,0	
	Mais de 19 horas	169	54,0	
Radiadores ligados nos quartos	Sempre desligados	117	41,1	
	1-18 horas	65	22,8	
	Sempre ligados	103	36,1	
Radiadores ligados nos quartos de banho	Sempre desligados	50	2,7	
	1-18 horas	73	31,7	
	Sempre ligados	107	46,5	
Radiadores ligados na entrada	Sempre desligados	194	68,1	
	1-18 horas	27	9,5	
	Sempre ligados	64	22,5	

Mais tarde, com a informação recolhida neste estudo, Guerra-Santin (2011) realizou um trabalho cujo objetivo era determinar estatisticamente Padrões de Comportamento, associados ao consumo de energia para aquecimento, e identificar características dos habitantes e do edifício que possam contribuir para a definição de Perfis de Consumo Energético.

4.2.14 FRONTZACK, ANDERSEN E WARGOCKI

Frontczak, Andersen e Wargocki (2011) levaram a cabo um estudo, tendo como base um questionário a residentes na Dinamarca, onde pretendiam perceber quais os fatores que influenciam o conforto interior e qual o comportamento do utilizador face a esses fatores. Os fatores que a população

considerou como mais importantes foram o conforto visual, acústico, térmico e a qualidade do ar. Além disso, os participantes referiram preferir controlar manualmente os dispositivos de iluminação artificial, sombreamento e janelas. Apenas no caso da regulação da temperatura aceitam de igual modo o controlo manual ou automático (ver Fig. 32).

Nos questionários à população evidencia-se a importância da possibilidade de abrir uma janela para os utilizadores com ou sem sistema de ventilação mecânica em suas casas (ver Quadro 6).

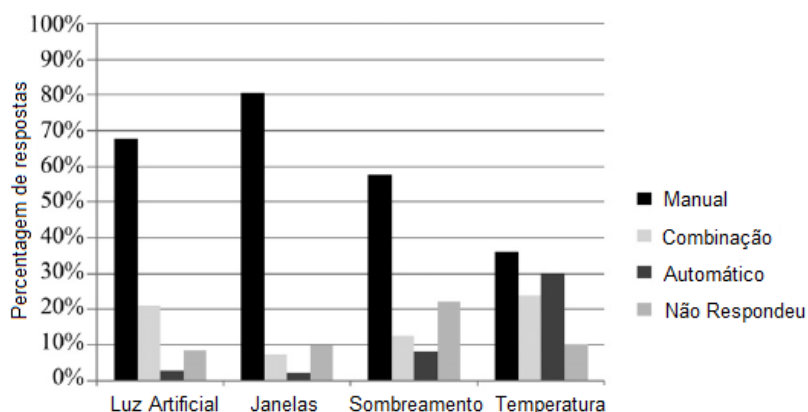


Fig. 32 – Preferência dos utilizadores por tipo de controlo dos dispositivos, adaptado de Frontczak et al.(2011).

Quadro 6 – Resumo dos resultados da importância de abrir uma janela ou ter sistema de ventilação mecânica em casa, adaptado de Frontczak et al.(2011).

	Muito Importante	Importante	Pouco Importante	Muito pouco Importante	Não respondeu
Qual a importância da possibilidade de abertura de uma janela?	86%	6%	1%	0%	7%
Qual a importância de ter sempre ar fresco fornecido por um sistema mecânico? Todos os participantes	10%	7%	21%	27%	35%
Qual a importância de ter sempre ar fresco fornecido por um sistema mecânico? Participantes sem sistema mecânico em casa (Nº participantes = 439)	5%	5%	21%	34%	35%
Qual a importância de ter sempre ar fresco fornecido por um sistema mecânico? Participantes com sistema mecânico em casa (Nº participantes = 145)	25%	12%	28%	15%	20%

4.2.15 HENDRON

No âmbito de um projeto para uma agência de energia dos Estados Unidos, o NREL - *National Renewable Energy Laboratory* - elaborou um documento com informação respeitante ao consumo de energia para uso de água quente, iluminação e eletrodomésticos e ventilação. A estes aspetos estão associadas quantidades de energia gasta e perfis diários de utilização.

Neste estudo de Hendron (2010) estão disponíveis os seguintes perfis diários:

- Uso da banheira (Fig. 33);
- Tomar duche (Fig. 34);
- Uso da máquina de lavar louça (Fig. 35);
- Uso da máquina de lavar roupa (Fig. 36);
- Iluminação (Fig. 37);
- Uso de eletrodomésticos (Fig. 38).

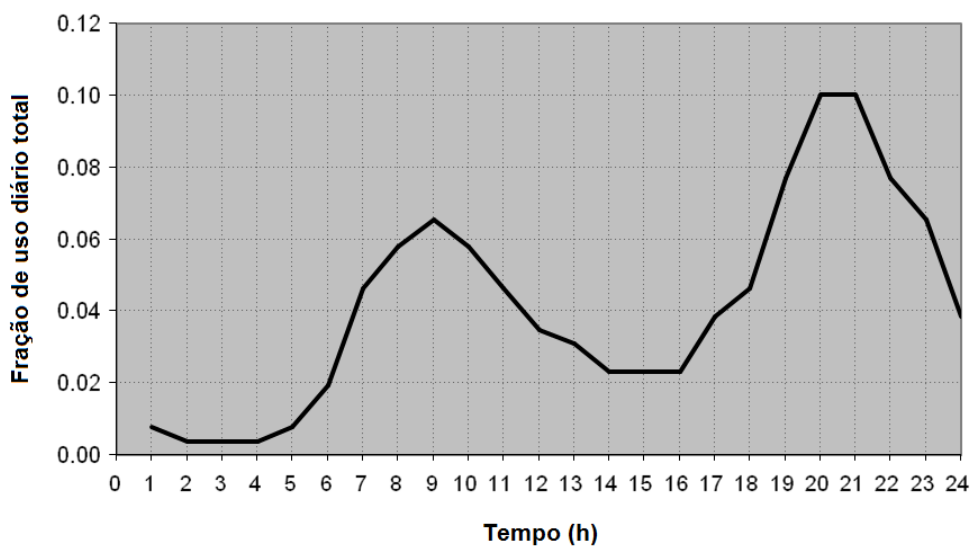


Fig. 33 – Perfil diário do uso da banheira, adaptado de Hendron (2010).

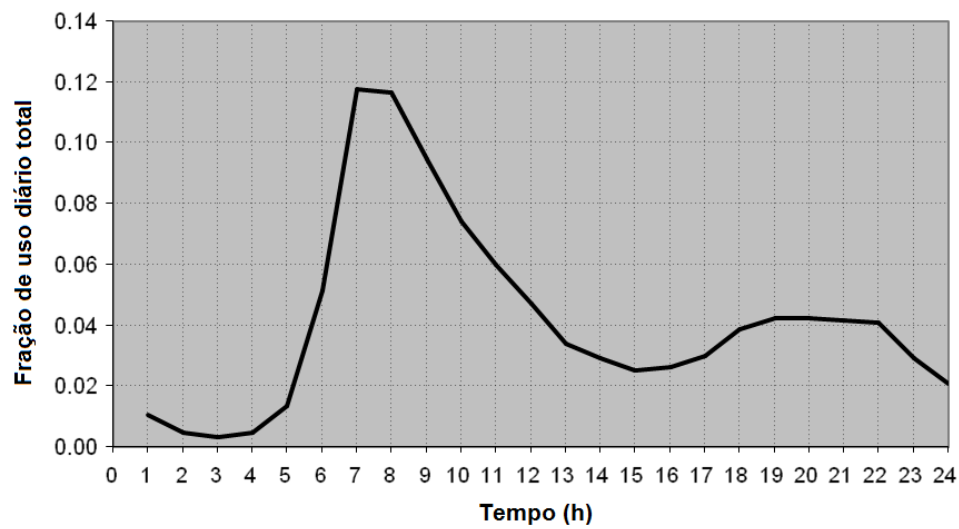


Fig. 34 – Perfil diário da atividade tomar duche, adaptado de Hendron (2010).

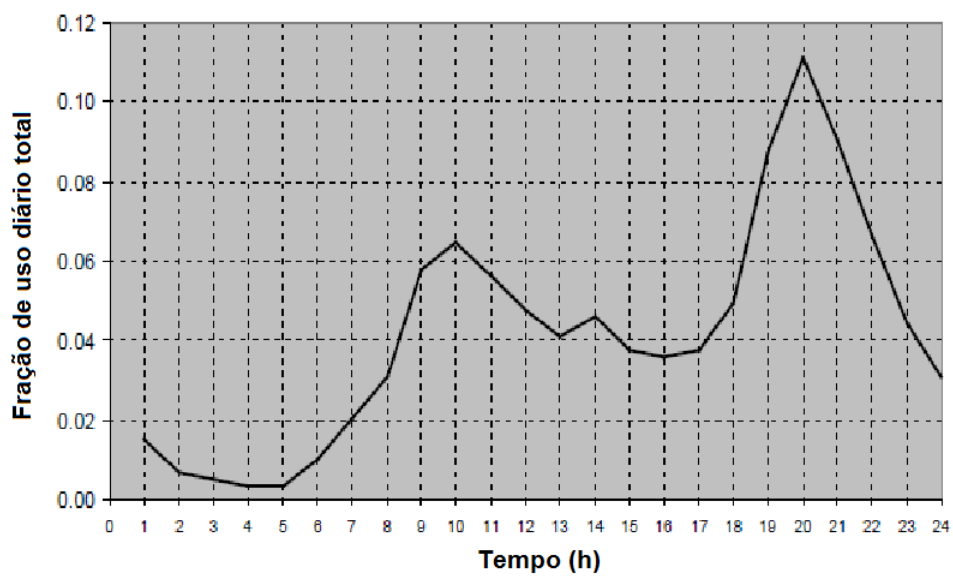


Fig. 35 – Perfil diário para o uso da máquina de lavar louça, adaptado de Hendron (2010).

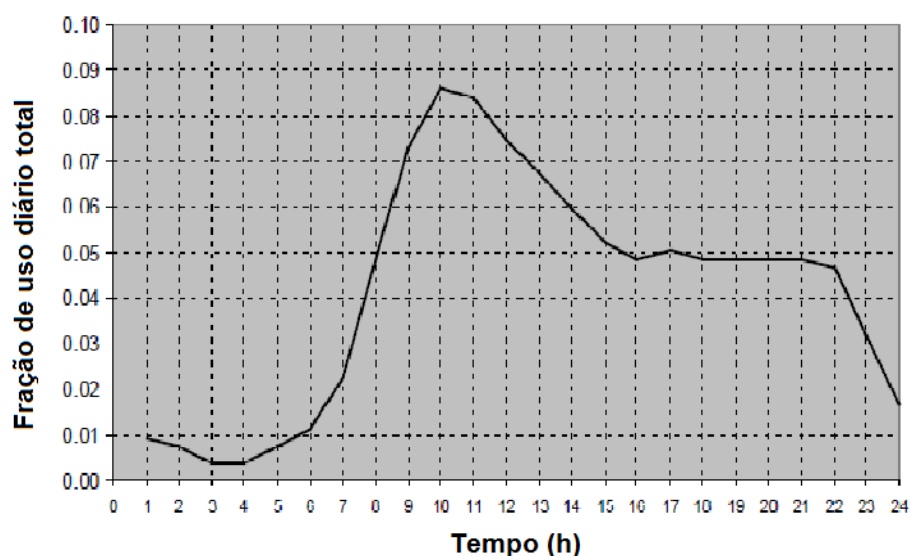


Fig. 36 - Perfil diário do uso da máquina de lavar roupa, adaptado de Hendron (2010).

No mesmo trabalho é aconselhada a utilização de fatores de correção (ver Quadro 7) para o fim de semana e dias de semana e sugere-se que se considere um período de férias, em que se admite que não há atividade (os períodos de férias são 26-28 de maio, 12-18 de agosto e 22-25 de dezembro).

Quadro 7 – Fatores de multiplicação para dias específicos, adaptado de Hendron (2010).

Dias específicos	Máquina da roupa	Máquina da louça	Duche	Banho
Fim de semana	1,15	1,05	1,05	1,26
Dia da semana	0,94	0,98	0,98	0,90

No modelo apresentado por Hendron (2010), relativamente ao uso da iluminação, é referido que a quantidade de iluminação interior anual é linearmente dependente da área útil da habitação. Na Fig. 37 pode observar-se essa relação e a comparação com outras referências. Assim, existe uma variabilidade associada ao tamanho da casa, como seria de esperar. As diferenças entre referências bibliográficas advêm, provavelmente, do tipo de amostra, das características do edifício, do número de casos, da localização das habitações estudadas, etc., de acordo com o autor.

Ainda para a iluminação, foram criados perfis diários normalizados para um dado dia de cada mês e para uma cidade tipo dos Estados Unidos (ver Fig. 38). Pode observar-se que existe uma variabilidade horizontal (relativa à hora do dia) entre os perfis de cada mês, o que estará associado ao facto de nos meses de inverno escurecer mais cedo.

Neste trabalho, também se apresenta um perfil diário de uso de eletrodomésticos que corresponde a um conjunto de eletrodomésticos comuns numa habitação (ver Fig. 39).

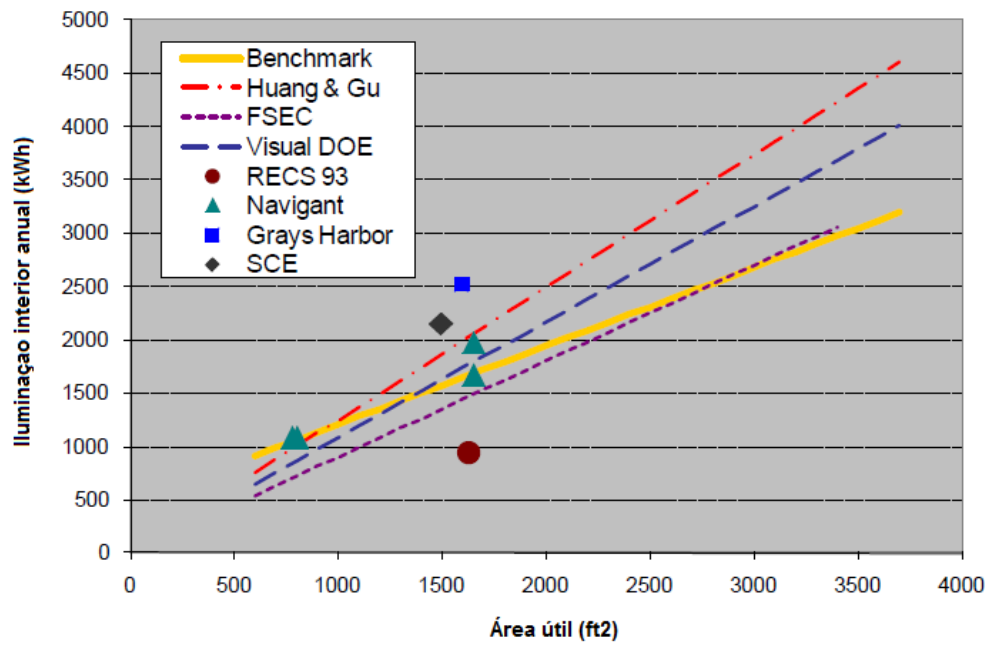


Fig. 37 – Modelo de previsão da quantidade de energia gasta em iluminação, linha amarela, e comparação com outros modelos, adaptado de Hendron (2010).

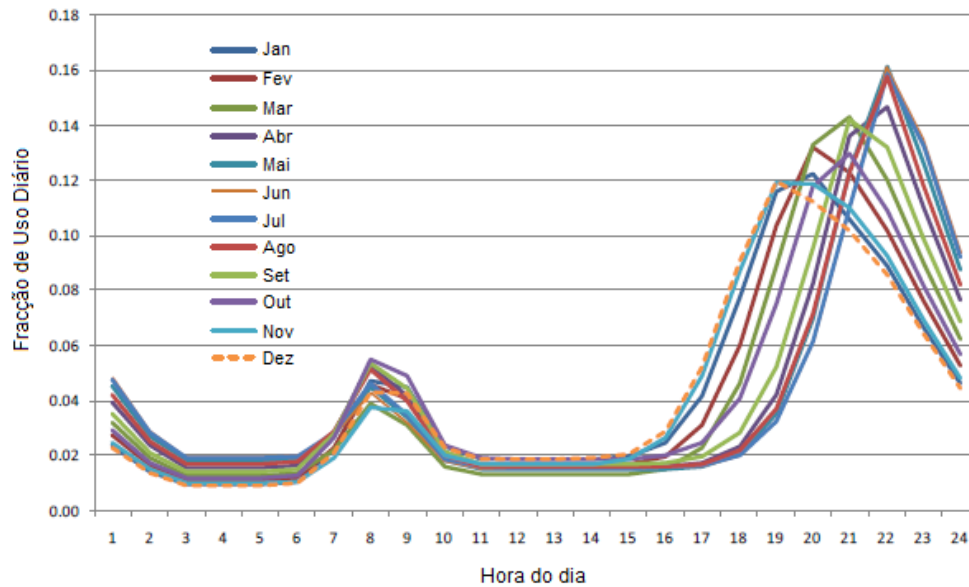


Fig. 38 – Perfil horário normalizado do uso de iluminação para cada mês do ano, adaptado de Hendron (2010).

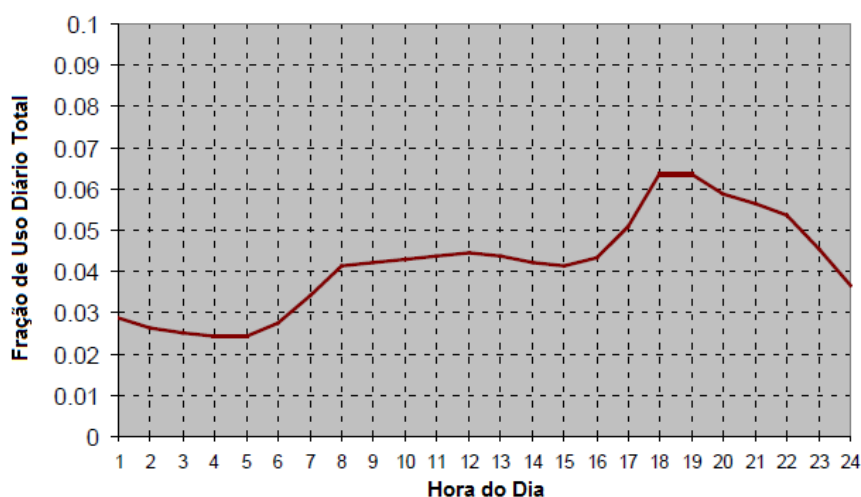


Fig. 39 – Perfil diário de uso de eletrodomésticos, adaptado de Hendron (2010).

4.2.16 JOHANSSON, PALLIN E SHAHRIARI

O objetivo do trabalho desenvolvido por Johansson et al. (2010) era obter dados estocásticos da produção de vapor em habitações, que pudessem ser utilizados em análises de risco de medidas de reabilitação, para habitações localizadas na Suécia. Este trabalho também se insere no projeto RAP-RETRO. Assim, foram recolhidos dados da literatura referentes às durações, às distribuições diárias e aos níveis de produção de vapor de ações como tomar banho, tomar duche, fazer sauna, fazer jacúzi, preparação de refeições, lavagem de louça manual, uso da máquina de lavar louça, uso da máquina de lavar roupa, secagem de roupa, passar a ferro, limpar o chão, respiração e transpiração de humanos, animais e plantas e produção de vapor de um aquário. Seguidamente, será feita uma exposição de algumas ações tais como: tomar banho, tomar duche, preparação de refeições, lavagem manual de louça, secagem de roupa e respiração e transpiração de humanos, por se considerarem os de maior relevância e sempre presentes em qualquer habitação.

Na atividade de tomar banho, o comportamento do utilizador foi dividido em cinco categorias que diferenciam o número de vezes de uso da banheira, descritas no Quadro 8. No mesmo quadro também está indicada a frequência de ocorrência de cada categoria.

Quadro 8 – Tempo de uso da banheira na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Tempo de uso da Banheira	[%]
Mais do que uma vez ao dia	1,0
Uma vez por dia	3,6
4 a 6 vezes por semana	10,0
1 a 3 vezes por semana	27,0
Menos de uma vez por semana	58,0
Não respondeu	0,4

O perfil do uso da banheira ao longo do dia está ilustrado na Fig. 40. Este perfil ao longo de 24 horas sugere dois picos de utilização, um de manhã e outro ao fim do dia. A duração desta atividade está também condicionada pela estação do ano, de acordo com o Quadro 9.

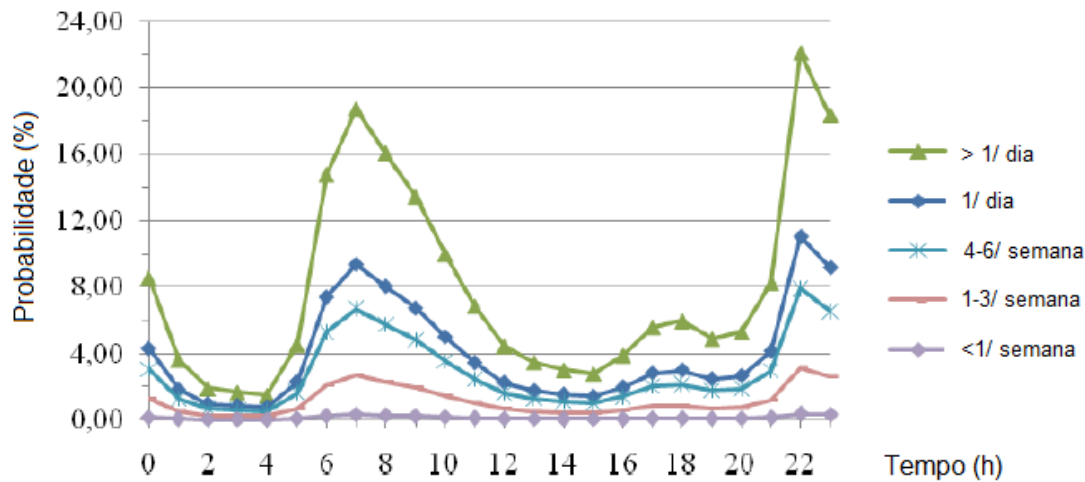


Fig. 40 – Perfil de uso da banheira ao longo de 24 horas na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Quadro 9 – Duração do banho por estação do ano, adaptado de (Johansson et al. (2010)).

Duração do banho (min)											
Verão				Outono				Inverno			
μ	σ	max	min	μ	σ	max	min	μ	σ	max	min
12:24	04:48	21:25	04:17	16:50	05:53	28:48	05:22	11:33	04:50	24:16	06:02

Para os níveis de produção de vapor, os autores tomaram como referência uma expressão [1] da ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (2007), que dá os níveis de produção de vapor (em kg/h) em função da área de superfície de água exposta, A (em m^2), pressão de saturação do vapor à temperatura da água na superfície, p_w (em kPa), pressão de saturação do vapor à temperatura de ponto de orvalho, p_a (em kPa), e fator de atividade, F_a :

$$w_p = 0,144 \cdot A \cdot (p_w - p_a) \cdot F_a \quad [1]$$

A área da superfície de água exposta varia com o tipo de banheira e os valores normalmente utilizados pertencem ao intervalo $[0,7 ; 1,1] m^2$. A pressão de saturação do vapor à temperatura da água na superfície é dependente da temperatura da água à superfície. A pressão de saturação do vapor à temperatura do ponto de orvalho depende da temperatura interior e da humidade do ar interior. Os

valores para estas variáveis são os representados no Quadro 10. O valor para o fator de atividade numa banheira residencial é apontado como 0,5 (ASHRAE, 2007).

Quadro 10 – Valores para pressão de saturação do vapor à temperatura da água na superfície e à temperatura do ponto de orvalho, para diferentes temperaturas da água e do ar, respetivamente, adaptado de Johansson et al. (2010).

Temperatura da água à superfície (°C)	p_w (kPa)	Temperatura do ar interior (°C)	p_a (kPa)					
			HRi	30%	40%	50%	60%	70%
35,0	5,629	17,0		0,581	0,775	0,969	1,163	1,357
35,5	5,788	17,5		0,600	0,801	1,001	1,201	1,401
36,0	5,948	18,0		0,619	0,826	1,032	1,239	1,445
36,5	6,115	18,5		0,639	0,853	1,066	1,279	1,492
37,0	6,282	19,0		0,659	0,879	1,099	1,319	1,539
37,5	6,457	19,5		0,681	0,907	1,134	1,361	1,588
38,0	6,632	20,0		0,702	0,936	1,170	1,404	1,637
38,5	6,816	20,5		0,724	0,965	1,207	1,448	1,690
39,0	7,000	21,0		0,746	0,995	1,244	1,493	1,742
39,5	7,192	21,5		0,770	1,027	1,283	1,540	1,797
40,0	7,384	22,0		0,794	1,058	1,323	1,587	1,852
40,5	7,586	22,5		0,818	1,091	1,364	1,637	1,910
41,0	7,787	23,0		0,843	1,124	1,405	1,687	1,968
41,5	7,998	23,5		0,869	1,159	1,449	1,739	2,029
42,0	8,209	24,0		0,896	1,194	1,493	1,791	2,090
42,5	8,430	24,5		0,923	1,231	1,539	1,847	2,154
43,0	8,650	25,0		0,951	1,268	1,585	1,902	2,219
43,5	8,881	25,5		0,980	1,307	1,633	1,960	2,287
44,0	9,112	26,0		1,009	1,345	1,682	2,018	2,355

O fator de incidência que contabiliza a probabilidade de existir uma banheira numa habitação é de 67% para a Suécia e é o utilizado neste estudo.

No caso do duche, a distribuição ao longo do dia considerada é baseada num estudo de habitantes da Califórnia (ver Fig. 41). É possível observar dois períodos de maior atividade, um no início da manhã e outro no fim do dia.

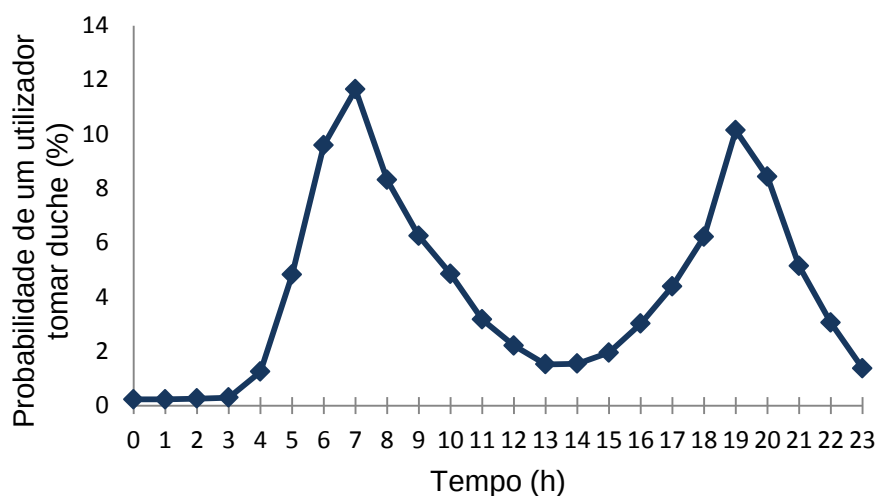


Fig. 41 – Perfil diário da probabilidade de tomar duche na Califórnia, adaptado de Johansson et al. (2010).

De acordo com a mesma fonte, a probabilidade de um membro da casa tomar duche é de 50% para o inverno e 85% no verão. Admite-se a necessidade de ajustar este fator de acordo com o clima e a região.

A duração estimada do duche varia entre 5 e 15 minutos, mas normalmente assume-se que dura 5 minutos e a produção de vapor é dada como o total de produção de humidade em vez de uma taxa, de acordo com o Quadro 11. Os valores utilizados no estudo referido são os do mesmo quadro.

Quadro 11 – Valores da literatura para a produção de vapor num duche de 5 minutos, adaptado de Johansson et al. (2010).

Produção de vapor num duche [kg/5min]					
Angell W.J.	Christian J.E.	CIBSE	Hansen A.T.	Rousseau M.	Kalamees T.
1988	1994	1999	1984	1984	2006
0,25	0,22	0,20-0,38	0,23	0,35	0,30

A preparação de refeições também contribui para a produção de vapor. O perfil da realização desta atividade ao longo do dia utilizado neste estudo foi o ilustrado na Fig. 42.

Uma vez que pode existir a possibilidade dos habitantes jantarem fora ou ao ar livre, é considerado um fator de incidência que contabiliza essas situações (ver Quadro 12).

A quantidade de vapor libertado depende do tipo de refeição e da forma de cozinhar e os valores médios estão representados no Quadro 13. Estes valores médios foram obtidos através da média aritmética de valores da literatura. São valores referentes a uma família de quatro.

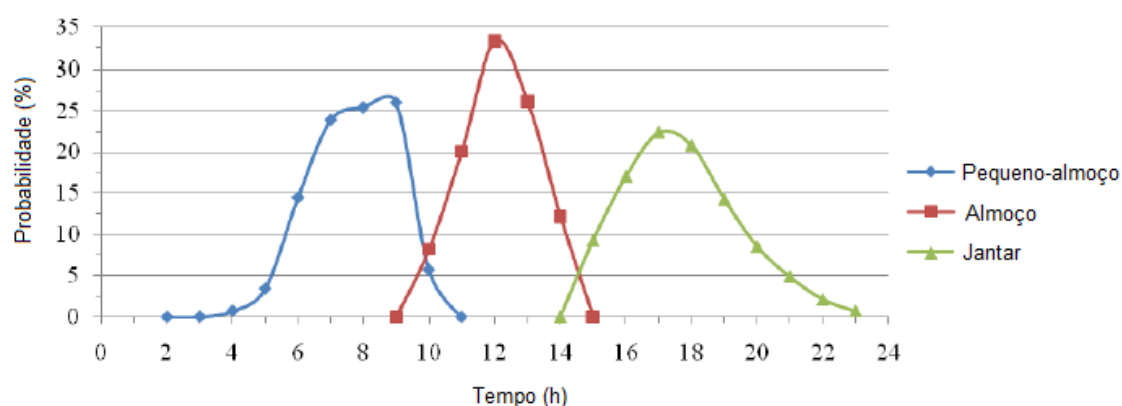


Fig. 42 – Probabilidade de ocorrência da confeção de uma refeição ao longo de 24 horas na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Quadro 12 – Fatores de incidência de refeições ao ar livre ou fora de casa na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Consumir uma refeição fora de casa à semana	Probabilidade (%)	Consumir uma refeição fora de casa ao fim de semana	Probabilidade (%)
Mais de uma vez por dia	2,5	Mais de uma vez por dia	2,8
Uma vez por dia	34	Uma vez por dia	8,7
4 a 5 vezes na semana	16,4	Menos de uma vez por fim de semana	86,5
1 a 3 vezes na semana	24,5	Não respondeu	2,0
Menos de uma vez por semana	22,0		
Não respondeu	0,7		

Quadro 13 – Produção de vapor na confeção de refeições, baseado na literatura, adaptado de Johansson et al. (2010).

[kg] por evento	Pequeno-Almoço	Almoço	Jantar
Média	0,273	0,721	1,295
Desvio-padrão	0,05	0,17	0,38

A lavagem manual de louça depende da existência ou não de máquina de lavar louça. O perfil desta atividade ao longo do dia está ilustrado na Fig. 43, distinguindo-se a existência ou não de máquina de lavar louça. Verifica-se que o perfil é semelhante e coincidente com a altura das refeições.

A duração de lavagem manual de louça é estimada entre 25 e 32 minutos por dia. Os níveis de produção dependem se a água é deixada a correr durante o processo ou não, mas esta questão ainda não foi estudada. Além disso, depende se o utilizador lava com água quente ou fria. Mais uma vez ainda não há dados sobre esta matéria. Os níveis de produção usados foram os ilustrados no Quadro 14.

Além dos fatores atrás referidos, é tido em conta um ajuste devido ao número de membros da família, já que os valores são relativos a famílias de quatro elementos. Assim, por cada membro, a mais ou a menos, soma-se ou subtrai-se 25% do valor para quatro pessoas.

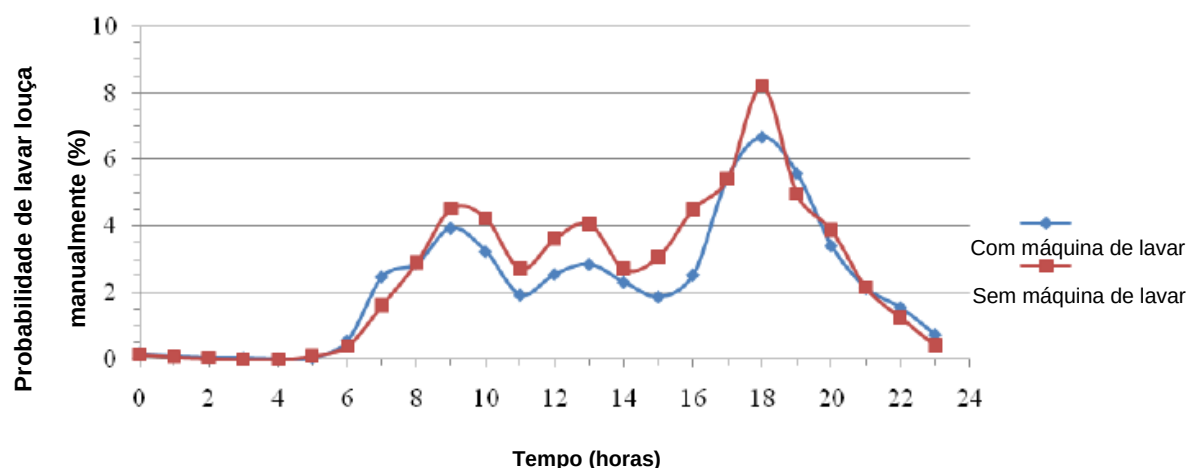


Fig. 43 – Perfil diário da probabilidade de lavar louça manualmente na Suécia, com existência ou não de máquina de lavar louça, adaptado de Johansson et al. (2010).

Quadro 14 – Níveis de produção de vapor para lavagem manual de louça, valores da literatura, adaptado de Johansson et al. (2010)

Produção de vapor – lavagem manual de louça [kg]	Angell/Olson 1988	Hansen 1984	Rousseau 1984	Christian J. E. 1993	CIBSE 1999
Pequeno-almoço	0,10	0,09	0,12	0,10	0,09
Almoço	0,08	0,07	0,10	0,08	0,07
Jantar	0,32	0,29	0,38	0,32	0,29
Quantidade diária	0,50	0,45	0,60	0,50	0,45

O uso da máquina de lavar louça foi categorizado da forma descrita no Quadro 15, dependendo do número de habitantes por fração.

O perfil de uso da máquina de lavar louça ao longo dia está ilustrado na Fig. 44, onde se verifica que os picos de utilização correspondem também à altura das refeições.

Quadro 15 – Probabilidade do uso da máquina de lavar louça por categorias e por número de habitantes na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Probabilidade de uso da máquina de lavar louça por categorias (%)	Número de habitantes por fração				
	1	2	3	4	≥ 5
Uma vez ou mais por dia	2,3	12,4	20,0	26,4	46,3
4 a 6 vezes por semana	4,6	16,7	26,4	27,4	20,9
2 a 3 vezes por semana	35,1	43,8	30,0	25,5	14,9
Uma vez por semana	27,5	14,2	9,1	6,6	4,5
Menos de uma vez por semana	29,8	12,9	14,5	13,2	14,9

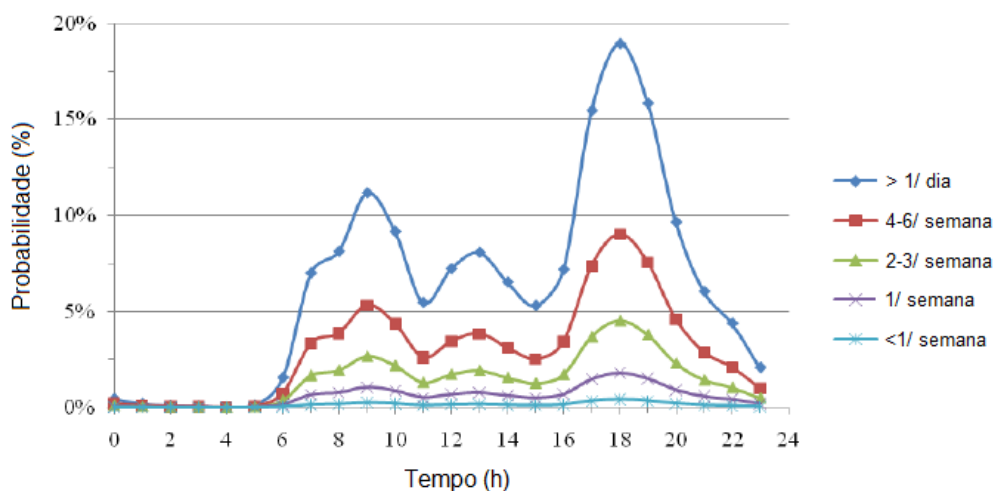


Fig. 44 – Perfil do uso da máquina de lavar louça ao longo de 24 horas na Suécia, para as categorias consideradas, adaptado de Johansson et al. (2010).

Quadro 16 – Fator de incidência para a existência de máquina de lavar louça na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Fator de incidência									
Nº de habitantes por fração e tipo de habitação (%)									
1		2		3		4		≥ 5	
Uni familiar	Multi familiar	Uni familiar	Multi familiar	Uni familiar	Multi familiar	Uni familiar	Multi familiar	Uni familiar	Multi familiar
43,9	13,4	70,3	34,2	80,7	45,9	87,5	40,1	86,2	52,5

Os níveis de produção são dados por evento e variam entre 0,2 e 0,4 kg. A AHSRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* -, sugere um valor por hora consistente com este, dependente do programa da máquina.

O fator de incidência de existência de máquina de lavar louça é dado por número de habitantes por fração e por tipo de moradia, de acordo com o Quadro 16.

O próximo fator de risco tem a ver com o tratamento da roupa. A máquina de lavar roupa não liberta vapor, antes o que contribui para a produção de vapor é a secagem da roupa. Como tal, os níveis de produção de vapor dependem de como é efetuada a secagem. A secagem pode ser efetuada através de equipamentos elétricos, máquina de secar ou máquina de secar/engomar, ou ao ar. A última pode ser dentro ou fora da habitação.

Tendo em conta o perfil de uso da máquina de lavar roupa e a quantidade de roupa por lavagem, estima-se a secagem. O fator de incidência para a existência de dispositivo elétrico de secagem na Suécia é de 35%, os restantes 65% dos utilizadores secam a roupa sem dispositivos elétricos.

O comportamento para o uso da máquina da roupa é categorizado segundo o Quadro 17, por número de habitantes por fração.

Os níveis de produção de vapor na secagem de roupa que os autores referem no seu trabalho são os mostrados no Quadro 18.

Quadro 17 – Uso da máquina de lavar roupa, por categorias na Suécia, adaptado de Johansson et al. (2010).

Uso da máquina de lavar por fração, por categorias [%]	Nº de pessoas por fração				
	1	2	3	4	≥5
Mais de 15 vezes por semana	0,0	0,0	2,5	4,3	10,4
10 a 15 vezes por semana	0,0	5,0	13,8	18,6	24,5
6 a 9 vezes por semana	14,1	37,9	48,4	53,6	39,6
2 a 5 vezes por semana	61,0	51,8	32,1	20,7	23,6
1 vez por semana	23,0	4,3	2,5	2,1	0,0

Quadro 18 – Valores estimados para a produção de vapor gerada pelo processo de secagem da roupa. Os valores são definidos para secagem ao ar e por cada carregamento da máquina de lavar. Adaptado de Johansson et al. (2010).

Produção de vapor – secagem de roupa [kg/carregamento]				
Angell W. J. 1988	CIBSE 1999	Yik F. W. H. 2004	Rousseau M. Z. 1984	Hansen A. T. 1984
2,2 - 2,92	1,25 - 3,5	1,66	1,75	1,92

A respiração e transpiração humana também contribuem para a libertação de vapor de água para o ambiente. Os níveis produzidos dependem do tipo de atividade e da temperatura ambiente, também há uma variabilidade inerente a cada utilizador, ou seja, devido ao metabolismo próprio de cada pessoa.

Neste estudo, foram usadas atividades retratadas no HETUS para a Suécia, tendo em conta o tipo de família e a presença ou não de crianças, bem como a diferença entre dias da semana e fim de semana. Assim, também foram estimadas as composições das famílias suecas, de acordo com dados estatísticos do país.

A produção de vapor gerada por humanos varia com o tipo de atividade física de acordo com o Quadro 19. Os níveis de produção de vapor situam-se entre 0,03 e 0,3 kg por hora para um corpo humano e podem atingir 0,5 kg por hora em casos de grande atividade física, segundo outras fontes citadas pelos autores. A partir daqui, foram estimados os níveis de produção para cada atividade retratada no HETUS e considerada pelos autores. Os níveis estimados são baseados em valores médios para um homem adulto. Deste modo, para estimar os níveis de mulheres e crianças, os valores devem ser reduzidos para 85% e 75%, respetivamente, de acordo com a ASHRAE (2005).

Quadro 19 – Níveis de produção de vapor de transpiração e respiração de um humano, conforme a atividade física, adaptado de Johansson et al. (2010).

Produção de vapor – Transpiração e Respiração [kg/h/pessoa]			
Atividade	Christian J. E. 1994	CIBSE 1999	Yik F. W. H. 2004
Dormir	-	-	0,043
Atividade leve	0,03 a 0,12	0,04	0,065
Atividade média	0,12 a 0,20	-	0,079
Atividade pesada	0,2 a 0,3	0,1	0,102

5

PARAMETRIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR

5.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Neste capítulo, é feita a divisão do comportamento do utilizador em parâmetros, caracterizando as ações do utilizador inerentes a cada parâmetro. Depois, aborda-se a relação do comportamento do utilizador com os restantes intervenientes de uma análise de risco.

Seguidamente, são apresentadas as análises efetuadas por outros autores acerca dos parâmetros que definem o comportamento do utilizador a fim de ajudar na caracterização dos parâmetros do comportamento do utilizador e na forma como estes podem ser incluídos na base de dados estocásticos para a simulação numérica de soluções de reabilitação. Os estudos efetuados sobre este tema foram introduzidos no capítulo 4. Neste capítulo pretende-se analisar as metodologias de análise seguidas para cada parâmetro do comportamento do utilizador. Nomeadamente, pretende-se identificar, para cada parâmetro do comportamento do utilizador, as variáveis propulsoras e os fatores de ruído que representam a variabilidade das ações dos utilizadores. Além disso, avaliou-se de que forma é que cada parâmetro afeta o funcionamento do edifício.

5.2 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR

A primeira tarefa a desenvolver na tentativa de contabilizar as ações do ser humano numa análise de risco é perceber quais são os parâmetros que interferem com as condições do sistema em estudo, no que diz respeito a desempenho energético, higrotérmico e de custos. Os edifícios de habitação são o foco principal deste estudo.

Comece-se por refletir sobre as infraestruturas básicas de um edifício: abastecimento e recolha de águas, distribuição de eletricidade, abastecimento de gás natural, sistema de aquecimento/arrefecimento e sistema de ventilação. Estas infraestruturas existem para servir os utilizadores do edifício e estão associadas a algumas atividades do quotidiano.

Limitando a análise a residências, no dia-a-dia, e ao longo de 24 horas, o utilizador tem várias necessidades, que se enumeram de seguida: tomar banho/duche, lavar roupa, secar roupa, acender a luz, cozinhar, utilizar eletrodomésticos, controlar a temperatura interior, ventilar, controlar a entrada de luz natural, limpar a casa, dormir, ver televisão, fazer exercício, descansar, realizar outras

atividades fora de casa, etc. Cada uma destas ações está de fato associada a energia consumida e alteração das condições higrotérmicas.

De acordo com o exposto e com a análise da informação recolhida na literatura, sugere-se uma divisão em parâmetros de comportamento, os quais representam ações do utilizador que afetam o funcionamento do edifício/sistema em estudo. De alguma forma, todos os parâmetros do comportamento do utilizador estão também relacionados com o conforto dos utilizadores.

Os parâmetros do comportamento do utilizador são (ver Fig. 45):

- *Ventilar (abrir/ fechar janelas; grelhas; sistema mecânico)*
- *Sombrear*
- *Aquecer*
- *Arrefecer*
- *Produzir calor*
- *Produzir vapor*
- *Desumidificar*

Assim, o controlo da ventilação por parte do utilizador faz variar os fluxos de ar, o que interfere com a temperatura interior, a humidade interior e a qualidade do ar interior; pode interferir com o consumo de energia se se estiver a considerar o uso de um sistema mecânico ou se ao mesmo tempo se considerar o uso do sistema de aquecimento ou arrefecimento. Num edifício, a forma de ventilar pode ser natural ou mecânica. A abertura e fecho de janelas, regulação de possíveis grelhas e abertura e fecho de portas são processos naturais de ventilação num edifício. Em paralelo, pode existir um sistema de ventilação mecânica de extração e/ou insuflação de ar. Por exemplo, em habitações é comum que a ventilação seja natural e exista um sistema mecânico na cozinha e nos quartos de banho, que é acionado quando necessário. Por outro lado, em edifícios de escritórios, ou em centros comerciais, a ventilação pode ser totalmente mecânica. Em qualquer dos casos, o utilizador tem o controlo do sistema e o que se pretende é compreender como é efetuado esse controlo.

Normalmente, a ventilação é uma medida preventiva, do ponto de vista do desempenho higrotérmico de um edifício. No entanto, se estiver a ser analisado o uso de energia, pode ser considerada um fator de risco, por exemplo se o utilizador manter as janelas abertas enquanto o sistema de arrefecimento estiver ligado. Depende, portanto do cenário que se pretende simular. A variabilidade do comportamento do utilizador relativamente a este parâmetro é representada pelos fatores de ruído que lhe estão associados (ver Fig. 2 para compreensão dos conceitos).

O parâmetro *ventilar* será dividido em abertura/fecho de janelas, regulação de grelhas e ligar/desligar ventiladores mecânicos.

O uso de dispositivos de sombreamento faz variar os ganhos solares, o que está diretamente relacionado com a temperatura interior e, consequentemente, com o consumo de energia. A forma como são utilizados os dispositivos de sombreamento em associação com as características da fachada pode ser considerado como medida preventiva. Isto, no caso em que o critério de desempenho em análise seja o consumo de energia relativo ao aquecimento ou arrefecimento do edifício ou ao uso de iluminação artificial.

O uso dos sistemas de aquecimento e arrefecimento são dois parâmetros de extrema importância, uma vez que estão diretamente relacionados com o consumo de energia. Seja qual for o sistema de aquecimento/arrefecimento: elétrico, a gás, etc., o seu custo mensal entra diretamente na fatura de energia de qualquer edifício, residencial ou não. Além de serem extremamente relevantes para a

avaliação do desempenho energético e de custos de um edifício, os parâmetros *aquecer* e *arrefecer* são fundamentais no controlo da temperatura interior.

Na composição de um cenário, o papel desempenhado por estes dois parâmetros depende do critério de desempenho em análise. O comportamento do utilizador no que diz respeito ao controlo dos sistemas mecânicos de aquecimento e arrefecimento tem a sua variabilidade definida pelos fatores de ruído associados a estes parâmetros (ver Fig. 2 para compreensão dos conceitos).

O parâmetro *produzir calor* engloba a contribuição dos eletrodomésticos, iluminação artificial e dos seres humanos. Estes aspetos afetam os ganhos internos de um edifício, o que por sua vez altera a temperatura interior. Deste modo, o parâmetro *produzir calor* está relacionado com o consumo de energia para aquecimento ou arrefecimento.

No caso de se considerar como critério de desempenho, numa análise de risco, o consumo de energia para arrefecimento, a produção de calor será tomada como um fator de risco. Pelo contrário se se considerar o consumo de energia para aquecimento, este parâmetro corresponde a uma característica favorável do sistema em análise (ver Fig. 2 para compreensão dos conceitos).

O uso de água quente, a secagem da roupa, a respiração e transpiração do ser humano contribuem para a produção de vapor, o que faz variar os níveis de humidade interior. No dia-a-dia, o utilizador pratica várias ações que interferem com a produção de vapor. Centrando a análise em residências, ações naturais como tomar banho, tomar duche, lavar roupa, lavar louça, secar roupa e cozinhar, fazem com que haja um aumento dos níveis de humidade interior num compartimento/habitação. Por exemplo, ao tomar duche, os níveis de humidade, no quarto de banho, podem aumentar de modo que, em conjunto com outros fatores, se origine condensações superficiais nos elementos. Esta interação tem impacto imediato ao nível do material e pode dar origem a patologias.

Os próprios utilizadores produzem vapor de acordo com o metabolismo de cada um. Neste caso, a variabilidade da quantidade de vapor produzida terá a ver com o tipo de utilizador, a sua idade, o género e a atividade. Por outro lado, nos casos de tomar banho, tomar duche, lavar louça, cozinhar e secar roupa, o tipo de eletrodoméstico, a temperatura da água, a duração dos eventos, etc. são fatores de variabilidade que interferem com os níveis de vapor produzidos.

Numa análise de risco, as ações que estão associadas à produção de vapor, correspondem a fatores de risco, considerando o desempenho higrotérmico dos materiais dos elementos, por exemplo. A variabilidade introduzida pelo comportamento do utilizador que está relacionada com a duração dos eventos, os níveis de produção de vapor em cada evento e as distribuições diárias das atividades, está associada aos fatores de risco da análise (ver Fig. 2).

Em Portugal, devido ao clima húmido, pensa-se que se deverá considerar o parâmetro do comportamento do utilizador relativo à desumidificação do ambiente interior. Devido à falta de informação sobre este parâmetro, não será desenvolvido neste trabalho.

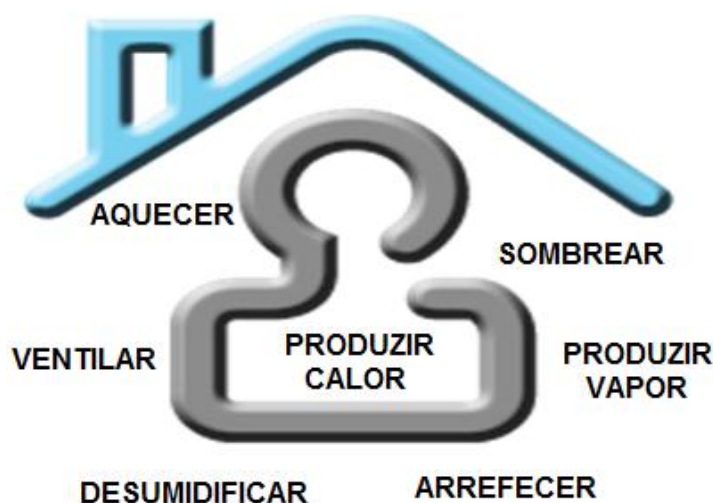


Fig. 45 – Parâmetros do comportamento do utilizador.

5.3 RELAÇÃO ENTRE O COMPORTAMENTO DO UTILIZADOR E OS COMPONENTES DUMA ANÁLISE DE RISCO

O comportamento do utilizador é uma das famílias de dados de entrada apresentadas no capítulo 3 como importantes para a construção da base de dados estocásticos. Para inserir o comportamento do utilizador na análise de risco de medidas de reabilitação de edifícios residenciais, torna-se necessário compreender a sua relação com os restantes intervenientes da análise.

As propriedades temperatura interior, qualidade do ar interior, fluxos de ar e humidade interior, são importantes para a análise do comportamento de um edifício e podem ser dados de entrada ou fazer parte dos resultados esperados, dependendo do objetivo da análise. A alteração destes fatores ao longo do tempo também se deve às ações do utilizador. Do mesmo modo, a temperatura interior, a qualidade do ar interior, os fluxos de ar e a humidade interior podem ter influência no comportamento do utilizador. Esta relação cíclica acrescenta complexidade à análise.

O resultado do cenário, criado pela inclusão na análise dos parâmetros das várias famílias de dados, corresponde a um certo nível de um critério de desempenho.

Da informação recolhida na literatura e exposta no capítulo anterior, pode adiantar-se que as características do edifício e as condições fronteira são variáveis que influenciam o comportamento do utilizador. Além destas, existem outros fatores de origem humana, social, cultural ou económica que também interferem na forma como se comporta o utilizador (ver Fig. 46).

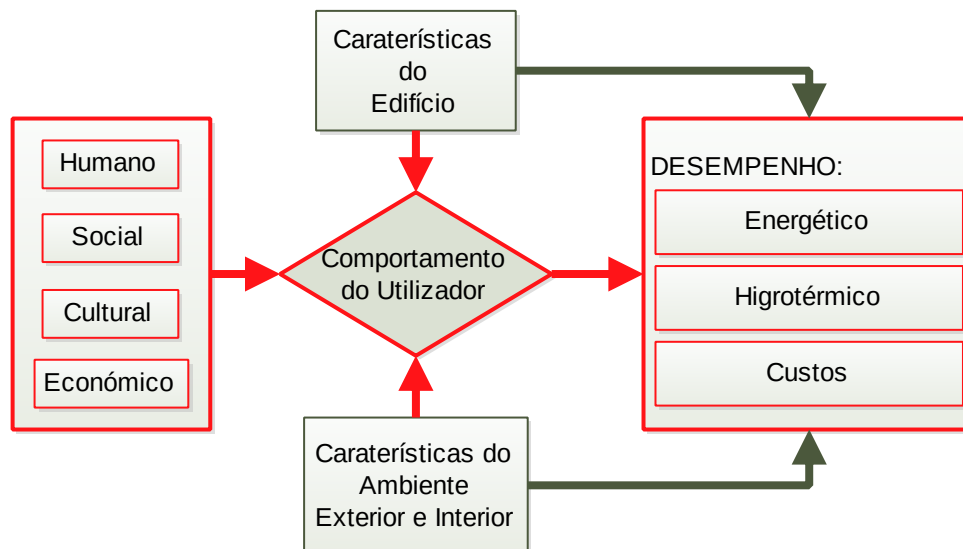


Fig. 46 – Interação entre as famílias de dados de entrada com influência no comportamento de um edifício.

As variáveis que influenciam o comportamento do utilizador podem ser de dois tipos:

- Fatores de ruído;
- Variáveis propulsoras (*driving variable*, adaptado de Yun e Steemers (2008), Herkel et al. (2008), Haldi e Robinson (2009), Antretter et al. (2011)).

Os fatores de ruído já foram definidos no capítulo 2. As variáveis propulsoras são um tipo de fator de ruído, uma vez que definem a variabilidade associada a um dado comportamento do utilizador. No entanto é necessário destacar este conceito, uma vez que desempenham um papel fundamental de motivação para as ações do utilizador. Ou seja, a variável propulsora é a causa e a forma como o utilizador se comporta a consequência. Uma variável propulsora é sempre um fator externo ao utilizador, por exemplo a temperatura interior ou a qualidade do ar interior. De modo a caracterizar qualquer parâmetro do comportamento do utilizador, inicialmente é imprescindível identificar a variável propulsora e a sua relação com as ações do utilizador. Os parâmetros que são exceção são *produzir calor* e *produzir vapor*, isto porque as ações associadas são motivadas por fatores intrínsecos ao próprio utilizador. Por exemplo, o utilizador contribui para a produção de calor com o próprio metabolismo de forma espontânea. Em conjunto, os fatores de ruído e as variáveis propulsoras caracterizam o comportamento do utilizador (ver Fig. 47).

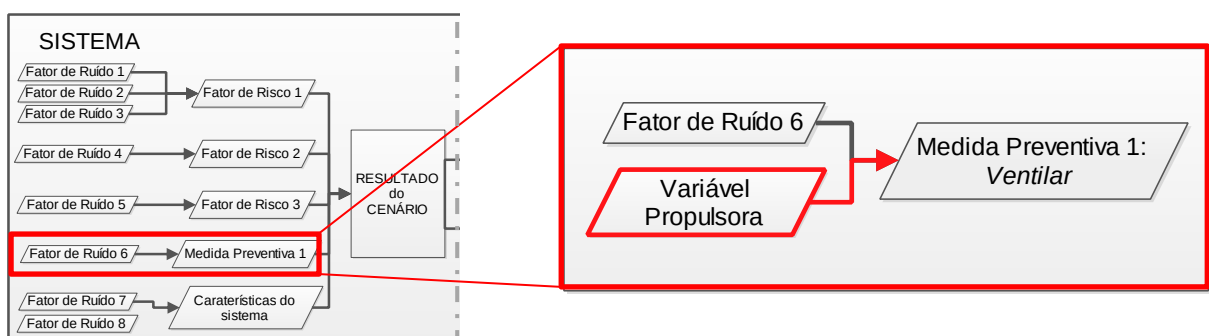


Fig. 47 – Relação do Comportamento do Utilizador com outros intervenientes da análise de risco: introdução do conceito de variável propulsora.

Depois, as características do edifício, as condições fronteira e o comportamento do utilizador, em conjunto, definem o desempenho energético, higratérmico e de custos do sistema que se pretenda analisar (ver relação esquematizada na Fig. 46).

Assim, o estudo vai ser direcionado começando por perceber quais são as variáveis que influenciam o comportamento do utilizador e como e, depois, de que forma é que o comportamento do utilizador poderá afetar os critérios de desempenho que se pretendam estudar.

Dada a natureza estocástica dos acontecimentos, a única forma de caracterizar o comportamento do utilizador é com recurso à estatística. Por isso, será necessário observar dados recolhidos numa amostra que seja representativa da população e a partir daí tirar conclusões sobre a forma como se desencadeiam e processam as ações do utilizador.

Inicialmente, é necessário definir qual o processo que vai ser estudado, de seguida, quais as causas e consequências desse processo. Por fim, depois da observação dos dados, o ideal seria a possibilidade de inferir um modelo do processo. Neste caso, cada parâmetro do comportamento do utilizador é um processo do qual se pretende conhecer as causas e consequências da sua ocorrência e obter um modelo de funcionamento representativo de cada comportamento. Através desse modelo, seria possível prever o efeito de cada parâmetro no edifício. A dificuldade está em inferir um modelo. Seguidamente serão analisados os estudos da literatura sobre comportamento do utilizador em edifícios na tentativa de contribuir para o desenvolvimento da compreensão do comportamento do utilizador e incluí-lo na simulação numérica de edifícios.

5.4 VENTILAR

5.4.1 ABRIR/FECHAR JANELAS

No trabalho de Andersen et al. (2009), depois do tratamento dos dados recolhidos, conclui-se que as variáveis com influência na abertura de janelas são:

- Temperatura exterior;
- Radiação solar;
- Qualidade do ar interior (QAI);
- Perceção de ruído;
- Perceção de iluminação;
- Título de propriedade;
- Tamanho da habitação;
- Género do utilizador.

Os resultados foram baseados no método de regressão logística múltipla. A temperatura exterior revela ser um fator de extrema importância na decisão de abertura de janelas. Existe um resultado numérico que relaciona o género, a perceção de iluminação e a percentagem de janelas abertas. Verifica-se que, para o sexo feminino, a frequência com que abrem uma janela é maior à medida que a perceção de iluminação melhora. Enquanto no sexo masculino, a iluminação percecionada não é significativa na decisão de abrir as janelas (ver Fig. 48).

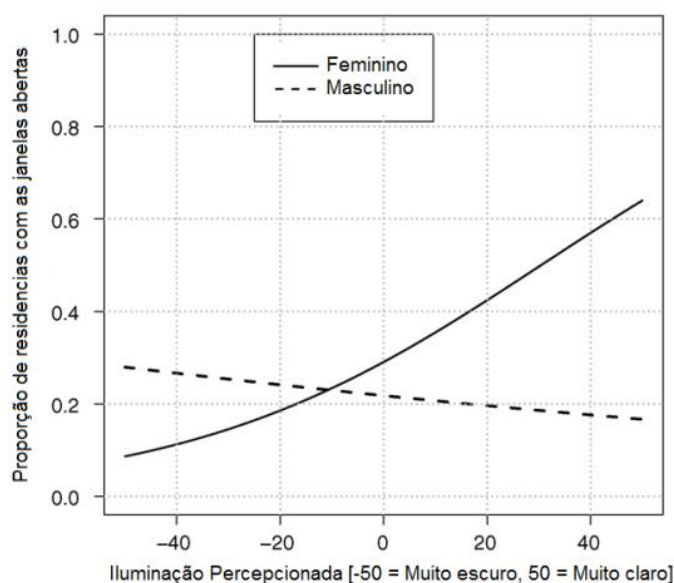


Fig. 48 – Relação entre a proporção de janelas abertas, a iluminação percebida e o género do utilizador, adaptado de Andersen et al. (2009).

Na análise de Frontczak et al. (2011), depois do tratamento dos dados do questionário, concluiu-se que a temperatura interior e a qualidade do ar interior eram fatores que os utilizadores consideravam importantes para o conforto. Note-se que, neste estudo, estas são variáveis propulsoras para a abertura de janelas.

Além destas, existe um fator que também tem influência que é a existência ou não de ventilação mecânica. Quando confrontados com os dois sistemas de ventilação, os utilizadores têm preferência por obter ar fresco da ventilação natural, pelo que valorizam o facto de ter total controlo sobre a abertura de janelas em suas casas (Frontczak et al., 2011). Neste estudo, existiam dados de habitações providas de sistemas de ventilação natural e mistos com extração e insuflação de ar. O que se verificou foi que a maioria dos utilizadores, com ou sem ventilação mecânica em suas casas, classifica como muito importante a possibilidade de abrir uma janela – 86% (ver Quadro 6). Enquanto uma pequena percentagem, considera relevante ter ar fresco fornecido por um sistema de ventilação mecânica (ver Quadro 6).

O estudo de Guerra-Santin e Itard (2010) foi conduzido de forma a perceber o número de horas em que as janelas permanecem abertas em cada compartimento (como mostra o

Quadro 2 do subcapítulo 4.4.2) e o que influencia esse resultado. O número de horas em que as janelas permanecem abertas é um fator de variabilidade associado ao parâmetro *abrir/fechar janelas*, por fazer variar o seu efeito final; ou seja, de acordo com o esquema de análise apresentado no capítulo 2.3 (ver Fig. 2), o número de horas em que as janelas permanecem abertas afeta o efeito final deste parâmetro sobre o edifício. Depois, a variabilidade relativa ao número de horas está, por sua vez, associada à presença de idosos ou crianças na habitação. Assim, concluem que o número de horas aumenta com a ausência de crianças e idosos (ver Fig. 49). A relação entre o número de horas abertas e a presença de idosos e crianças foi investigada através do método Anova e do teste do Chi-quadrado.

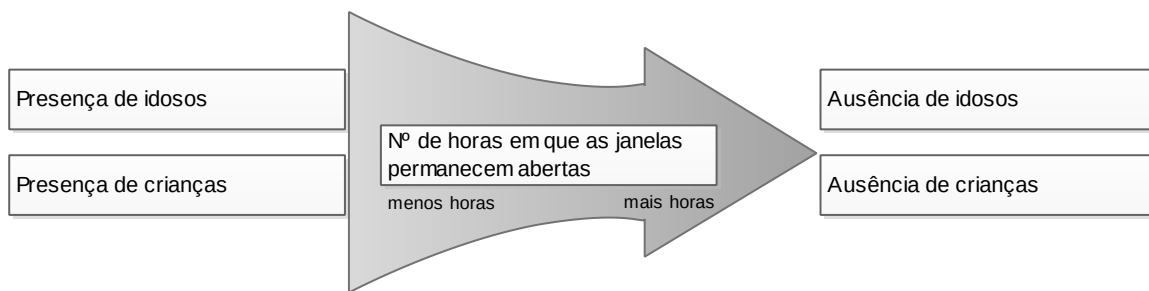


Fig. 49 – Fatores que influenciam o número de horas em que as janelas permanecem abertas, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).

No trabalho desenvolvido por Antretter et al. (2011), com base na análise de regressão múltipla, foi deduzido um modelo (ver expressão [2]) que prevê a probabilidade de abertura de uma qualquer janela, num compartimento, numa dada altura do dia. As variáveis com influência no comportamento do utilizador são as seguintes:

- Temperatura exterior;
- Humidade do ar exterior;
- Temperatura interior;
- Altura do dia;
- Tipo de compartimento.

$$P = \frac{e^{(-1,76+0,10AT+0,007AF-0,074RT+0,011TZ-0,387W-0,517B+0,46S)}}{1+e^{(-1,76+0,10AT+0,007AF-0,074RT+0,11TZ-0,387W-0,517B+0,46S)}} \quad [2]$$

Em que,

P - Probabilidade de abertura;

AT – Temperatura exterior;

AF – Humidade exterior;

RT – Temperatura interior no compartimento;

TZ – Altura do dia (para cada instante de tempo de uma hora ao longo das 24 horas de um dia)

Tipo de compartimento: W – sala de estar; B – quarto de banho; S – quarto.

Em paralelo, foi desenvolvido um modelo que prevê a duração de abertura, que segue uma distribuição de Poisson (ver expressão [3]).

Neste trabalho, foram utilizados dados de validação o que permitiu validar os modelos desenvolvidos.

$$D = e^{(6,1+0,1AT-0,27RT+0,007AF-0,02WI+0,19W-0,28B+0,58S)} \quad [3]$$

Em que,

D - Duração de abertura

AT – Temperatura exterior

AF – Humidade exterior

RT – Temperatura interior no compartimento

WI – Velocidade do vento

Tipo de compartimento: W – sala de estar; B – quarto de banho; S – quarto.

As referências apresentadas até agora fazem parte de estudos para residências. Seguidamente vão ser descritos os estudos efetuados com dados de escritórios.

No estudo de Nicol e Humphreys (2004), com os dados recolhidos no Paquistão foi feita uma análise das ações que o utilizador leva a cabo para manter a temperatura de conforto. O movimento do ar demonstra ser uma medida importante tomada pelo utilizador para manter a temperatura de conforto (ver Fig. 50).

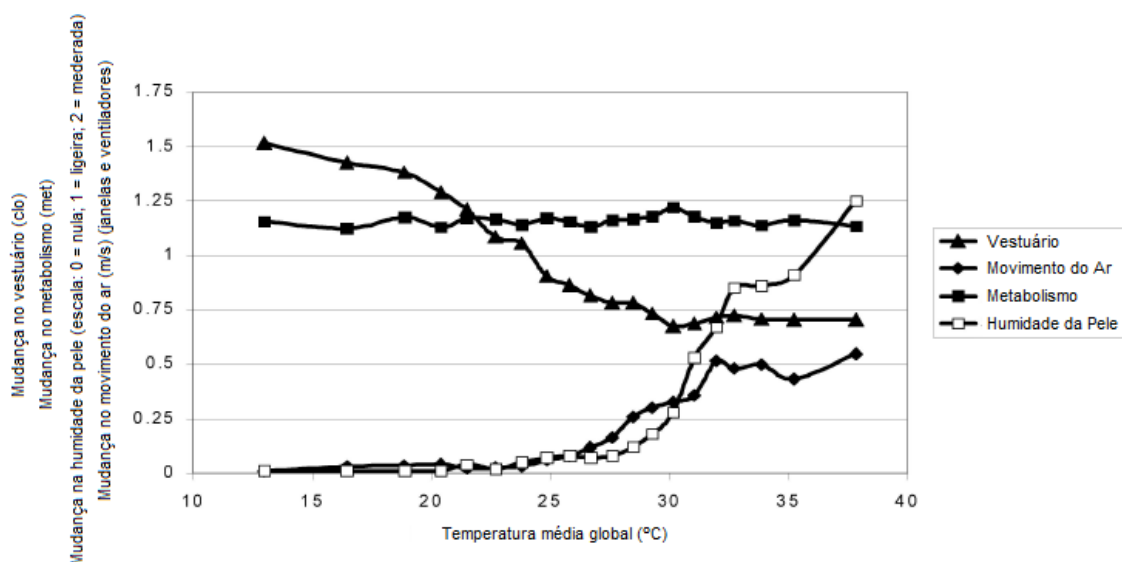


Fig. 50 – Ações que o utilizador leva a cabo para manter a temperatura de conforto, de acordo com Nicol e Humphreys (2004).

Esta análise foi depois conduzida tendo em conta a alteração no movimento do ar, por se considerar relacionada com as características do edifício – controlo de janelas e ventiladores, ou seja, a temperatura é uma variável propulsora do comportamento do utilizador para a ventilação do compartimento.

Assim, com os dados medidos tentou encontrar-se uma relação entre o uso de janelas e as temperaturas interior e exterior. Neste estudo, foi usado o método de regressão com a função logística para relacionar a proporção de janelas abertas com as temperaturas interior ou exterior. Na Fig. 51 pode observar-se os valores reais representados por pontos e os modelos de previsão da percentagem de janelas abertas em função da temperatura representados por linhas.

A relação entre as temperaturas interior e exterior e o parâmetro *abrir/fechar janelas* é evidente. Nota-se que, para a temperatura interior há um ponto em comum para o qual a percentagem de janelas

abertas dispara, a partir dos 22°. Embora com crescimentos diferentes para os vários utilizadores das diferentes bases de dados: no Paquistão o uso de janelas é menos frequente do que na Europa, para as mesmas temperaturas. No caso da temperatura exterior, já não é possível fazer essa observação. É difícil escolher qual das duas variáveis melhor descreveria o comportamento do utilizador: a temperatura interior terá em conta as características do edifício, por outro lado, normalmente é já um resultado da simulação, o que pode adulterar a conclusão final (Mayer, 2011).

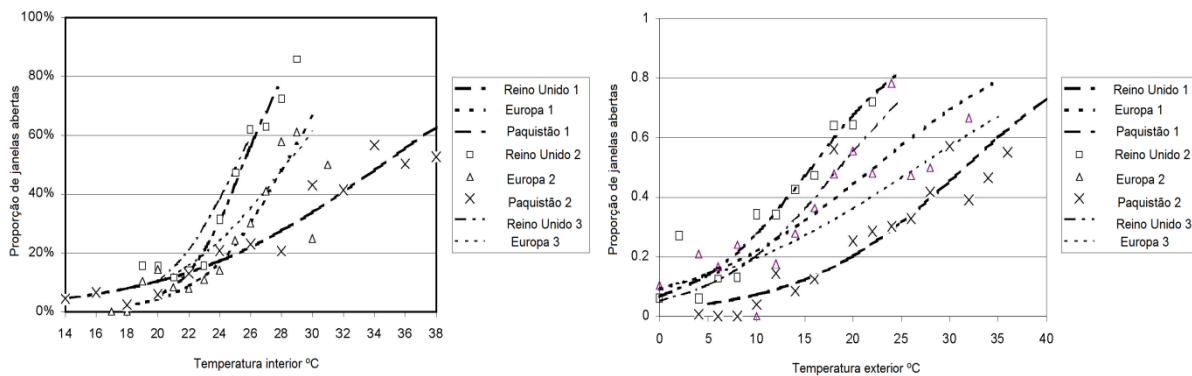


Fig. 51 – Proporção de escritórios com as janelas abertas para diferentes temperaturas interiores e exteriores. As linhas são as aproximações logísticas para cada amostra. Os valores reais são representados pelos pontos, adaptado de Nicol e Humphreys (2004).

O modelo apresentado foi melhorado mais tarde por Rijal et al. (2009), tendo em conta o tipo de ventilação e o tipo de sistemas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios em estudo, usando as mesmas bases de dados do anterior.

Mais uma vez, o estudo foi conduzido assumindo a temperatura interior como variável propulsora do comportamento do utilizador. Deste modo, através da análise de regressão com a função logística, obtiveram curvas de previsão da proporção de janelas abertas para cada amostra e para cada tipo de edifício (ver Fig. 52). Naturalmente, nos edifícios com ar condicionado, a proporção de janelas abertas é inferior comparado com os de ventilação natural ou mista. Mais uma vez, a proporção de janelas abertas no Paquistão é inferior à dos dados da Europa, provavelmente devido aos habitantes do Paquistão estarem mais familiarizados com temperaturas mais elevadas.

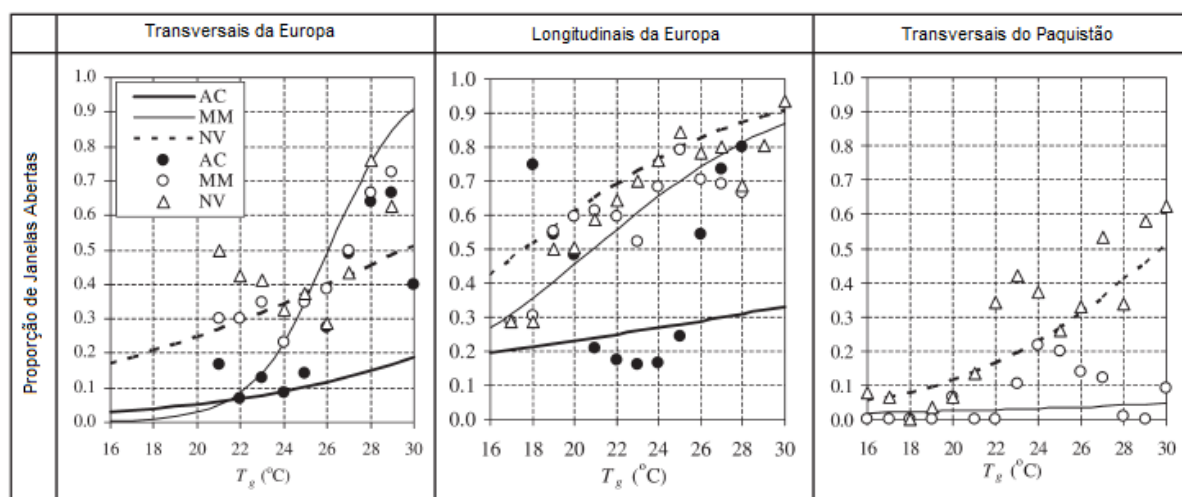


Fig. 52 – Modelo de previsão de abertura de janelas para três amostras, dependendo da temperatura interior ($T_g(^{\circ}\text{C})$). Os pontos correspondem aos valores medidos, as linhas aos modelos de precisão. AC – ar-condicionado. MM – existência de ar condicionado, mas com possibilidade de ventilação natural. NV – ventilação natural. Adaptado de Rijal et al. (2009).

A análise desenvolvida por Herkel et al. (2008) foi conduzida de modo a analisar as variáveis estação do ano, temperatura interior e exterior e estado da ocupação do compartimento (chegada, tempo intermédio, saída), como variáveis com influência no comportamento do utilizador para a abertura de janelas. Estes autores escolheram estas variáveis por já terem sido tratadas na literatura e com os dados recolhidos confirmaram a interação com as ações do utilizador.

As conclusões sobre a análise destas variáveis são as seguintes: o número de janelas abertas é superior no verão e a frequência de alteração do estado das janelas é superior no inverno, como se pode observar na Fig. 13. À medida que a temperatura exterior aumenta, a partir de um certo valor, aumenta a proporção de janelas abertas. Para a temperatura interior, a partir de um certo valor, a percentagem de janelas abertas, aumenta rapidamente. A alteração do estado das janelas ocorre normalmente à chegada ou saída do utilizador do compartimento e as janelas costumam ser todas fechadas no fim do dia de trabalho.

Neste trabalho, acrescentou-se à análise o tamanho das janelas e o estado anterior das janelas como fatores com influência no comportamento do utilizador. Assim, através de análise de regressão, foram ajustadas aos valores medidos, curvas que dão a previsão da probabilidade de abrir uma janela, dependendo da temperatura exterior e para cada estado da ocupação – chegada, saída, intermédia. Na Fig. 53 está representada a curva que prevê a probabilidade de abrir uma janela, à chegada, dependendo da temperatura exterior. Existe uma curva para cada combinação: estado da ocupação-abrir/fechar-tamanho das janelas (ver Fig. 14).

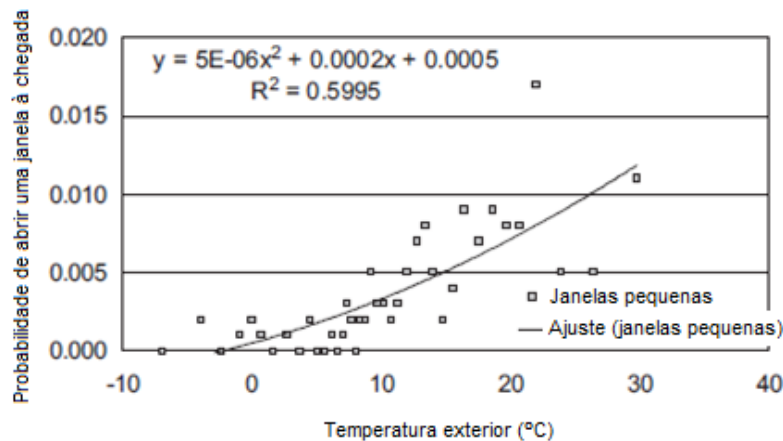


Fig. 53 – Probabilidade de abrir uma janela à chegada dependendo da temperatura exterior, adaptado de Herkel et al. (2008).

Com base na informação recolhida, ilustrada em 4.2.3, e nas análises de regressão efetuadas, Herkel et al. (2008) criaram o modelo representado na

Fig. 54, que prevê o estado das janelas, dependendo da temperatura exterior e do estado da ocupação. Assim, o primeiro passo neste modelo é confirmar o estado de ocupação do compartimento – utilizador chega, sai ou já estava presente. Existe um processo estocástico que prevê o estado da ocupação dependendo da hora do dia. O estado da ocupação é o primeiro dado de entrada da análise. Depois, introduz-se o segundo dado de entrada, que é a temperatura exterior. Utilizando os modelos acima referidos – exemplo Fig. 53 – em conjunto com um processo estocástico que caracteriza a evolução no tempo (para contabilizar o estado anterior das janelas), é obtida a probabilidade de uma janela estar aberta. Note-se que os dados de entrada referentes à temperatura exterior são diferentes para cada estação do ano, o que se traduz no desdobrar do modelo em dois, um para os dados de verão e outro para os dados de inverno. O modelo foi comparado com os dados medidos, demonstrando um bom ajuste.

Yun e Steemers (2008) conduziram a sua análise, tomando como variáveis com influência no comportamento do utilizador a temperatura interior, o estado de ocupação do compartimento e o estado anterior das janelas. A temperatura interior foi escolhida porque observaram que para as mesmas condições exteriores, os valores interiores podiam apresentar uma variação significativa, dependendo do tipo de escritório. Neste caso, é feita a distinção entre edifícios com e sem ventilação noturna.

Assim, com base nas medições efetuadas e com a informação ilustrada em 4.2.4, utilizaram a análise de regressão com a curva logística para modelar a probabilidade de abertura de uma janela, em função da temperatura interior.

A Fig. 55 representa a probabilidade de se abrir uma janela que se encontrava fechada, à chegada, em edifícios sem ventilação noturna.

Na Fig. 56 está representada a probabilidade de uma janela se encontrar aberta, à chegada e à saída, em edifícios com ventilação noturna, dependendo da temperatura interior.

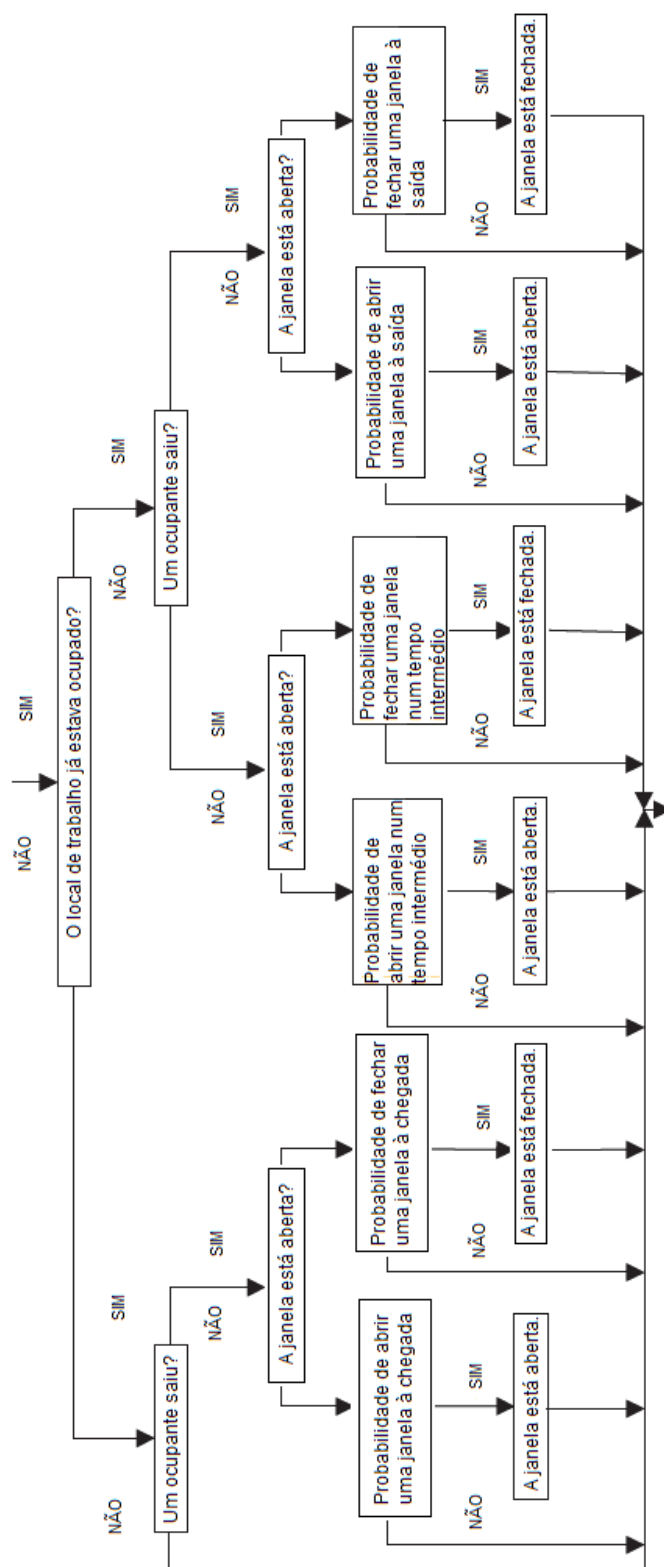


Fig. 54 – Algoritmo de previsão de abertura de janelas, adaptado de Herkel et al. (2008).

Neste estudo, verifica-se que a partir de um certo valor da temperatura interior, aproximado dos 22°C, há um crescimento mais acentuado do número de janelas abertas, tal como no estudo de Nicol e Humphreys (2004). Com base nesta informação e utilizando o processo de Markov, foi desenvolvido um algoritmo que permite prever o estado das janelas, dependendo da temperatura interior, da ocupação do compartimento – chegada, intermédio e saída - e do estado anterior das janelas. Mais tarde Yun, Tuohy e Steemers (2009), introduziram no algoritmo o tipo de utilizador: ativo, passivo e médio.

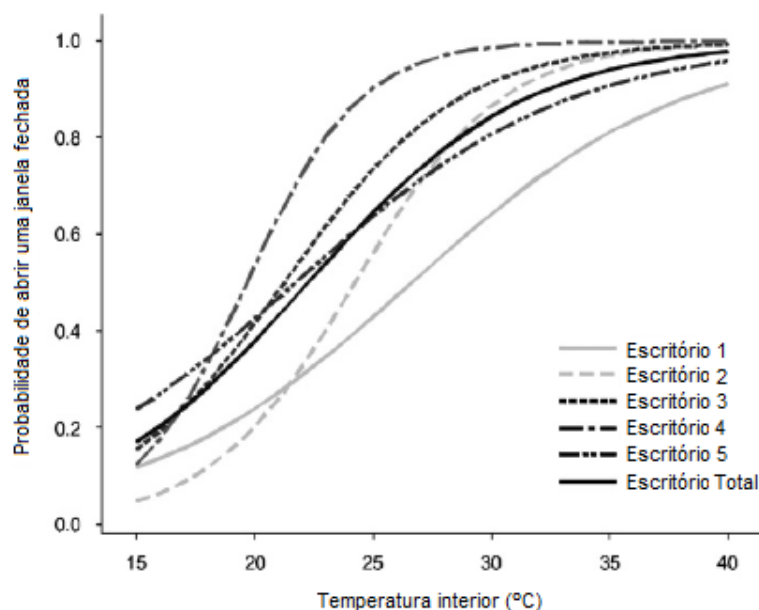


Fig. 55 – Probabilidade de abrir uma janela, dependendo da temperatura interior, adaptado de Yun e Steemers (2008).

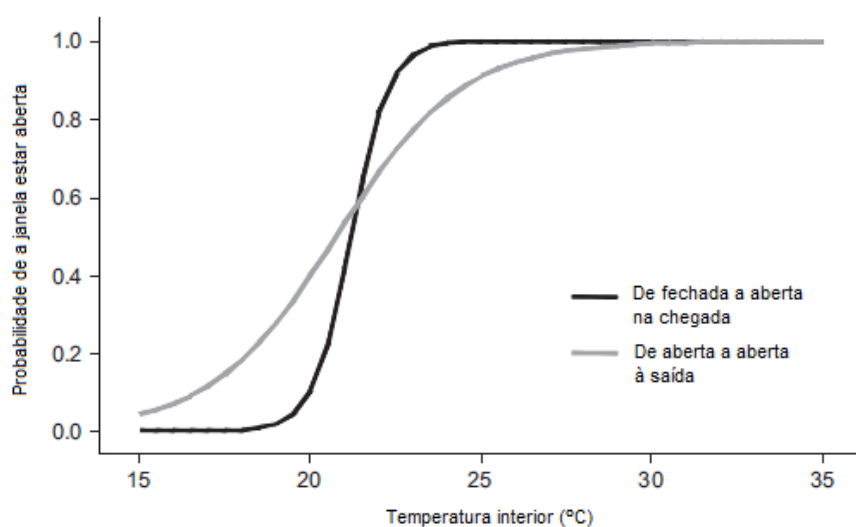


Fig. 56 – Probabilidade do estado de uma janela ser “aberta”, para edifícios com ventilação noturna, adaptado de Yun e Steemers (2008).

A análise de Haldi e Robinson (2010) foi conduzida admitindo como variáveis com influência no comportamento do uso de janelas, a temperatura interior, as condições exteriores, bem como o estado da ocupação – chegada, intermédio, saída - e o estado anterior das janelas. Estes autores alertam para o facto do tipo de utilizador (ativo, passivo e médio) ser relevante para a análise em causa, bem como o número de pessoas que partilham o mesmo compartimento. Este facto é comprovado pela diferença nos resultados entre escritórios duplos e individuais - Fig. 17.

Deste modo, para a ocupação do compartimento foi criado um submodelo (ver Fig. 57), baseado no processo de Markov, que permite prever as ações do utilizador à chegada, num tempo intermédio e à saída.

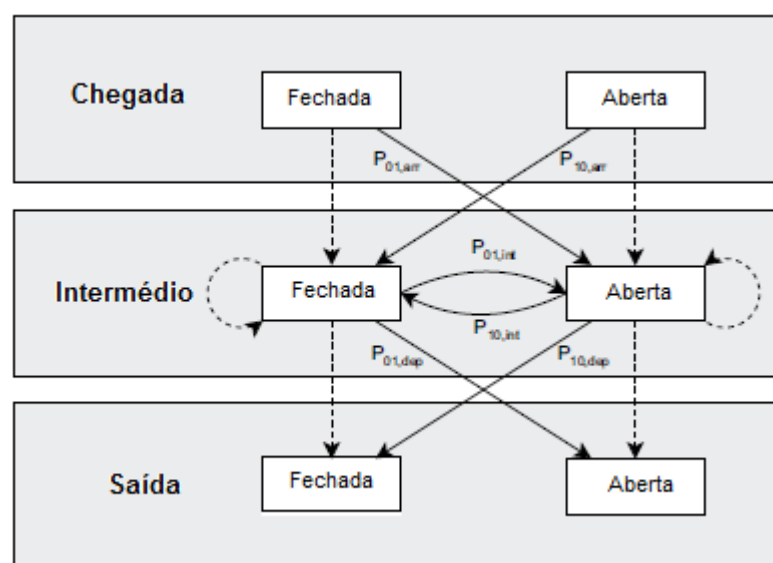


Fig. 57 – Submodelo que permite prever a alteração do estado das janelas, dependendo do estado da ocupação, adaptado de Haldi e Robinson (2009).

Neste trabalho também foi recolhida informação sobre a duração do estado das janelas, pelo que foi inferido um submodelo, baseado na análise de sobrevivência que permite prever esta duração.

Outro submodelo tem em conta o tipo de utilizador (médio, ativo ou passivo) conforme a frequência de alteração do estado das janelas.

Os resultados dos modelos estocásticos foram comparados com os valores medidos e com outros modelos já existentes, para se encontrar o modelo que melhor descreve este comportamento. Assim, estes autores recomendaram o uso de um modelo híbrido que inclui o processo estocástico de Markov em tempo discreto para previsão da abertura e a distribuição de Weibull para caracterizar a duração dos eventos. O modelo final está representado na Fig. 58.

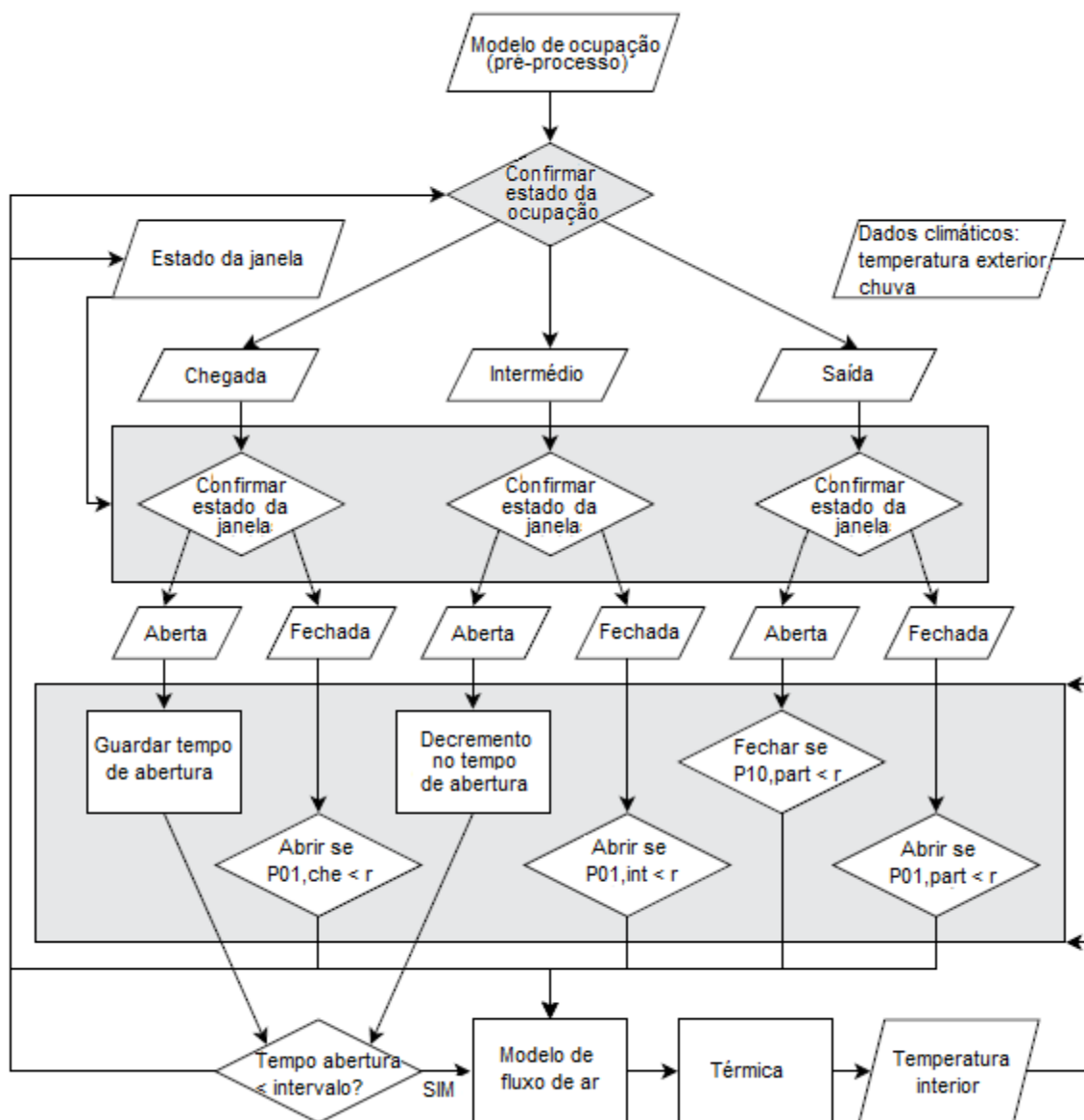


Fig. 58 – Algoritmo de previsão de abertura de janelas, adaptado de Haldi e Robinson (2009).

5.5 SOMBREAR

No trabalho de Nicol e Humphreys (2004), verificou-se que existe uma dependência entre o uso de dispositivos de sombreamento e a temperatura interior. Embora o efeito seja ligeiro, aparentemente os utilizadores têm mais tendência para usar os dispositivos com temperaturas interiores mais altas. Neste estudo foi utilizada a análise de regressão com a função logística para previsão do comportamento do utilizador para as amostras da Europa e Reino unido (ver Fig. 59).

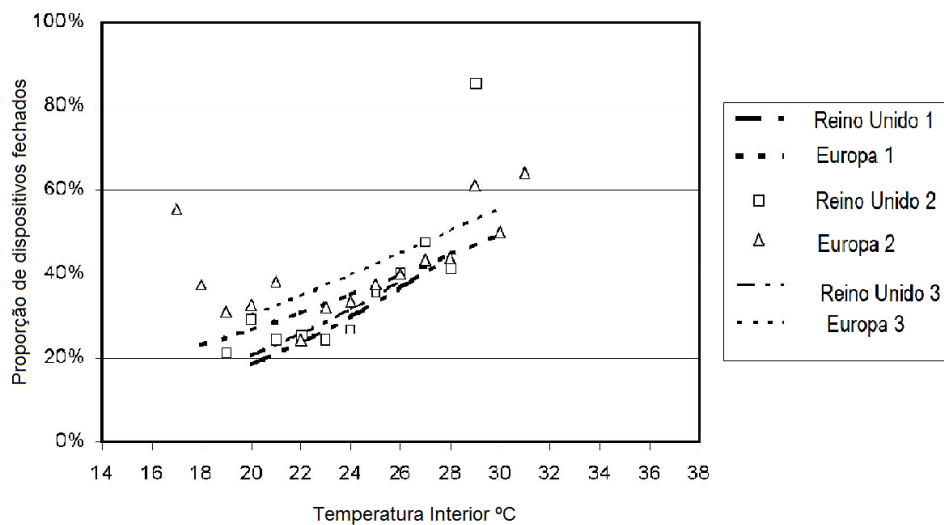


Fig. 59 – Proporção de escritórios com os dispositivos de sombreamento fechados para diferentes temperaturas interiores. As linhas são as aproximações para cada base de dados. Os valores reais estão representados pelos pontos. As bases de dados “Reino Unido 3” e Europa 3” são referentes a edifícios ventilados naturalmente.

Adaptado de Nicol e Humphreys (2004).

Existe um modelo estocástico de previsão do uso de dispositivos de sombreamento, desenvolvido por Haldi e Robinson (2010), para escritórios. Da análise dos dados medidos - 4.2.5 -, concluiu-se que a principal motivação para o comportamento do utilizador é o estímulo visual. Assim, esta análise é conduzida de modo a determinar as variáveis propulsoras do comportamento do utilizador para fechar e para abrir o dispositivo de sombreamento. Concluiu-se que para fechar o dispositivo a variável mais preponderante é a iluminância interior e depois o estado anterior do dispositivo. Por outro lado, para abrir importa mais o estado anterior do dispositivo e depois a iluminância interior. Por exemplo, à chegada ao compartimento, se o dispositivo estiver fechado, o utilizador preocupa-se mais em ter a vista desobstruída do que com os níveis de iluminação interior. Estes factos são válidos para todos os estados de ocupação, embora a frequência de alteração do estado dos dispositivos seja mais elevada à chegada. Também se verifica que a iluminância exterior é importante quando se trata de fechar ou abrir totalmente o dispositivo.

No mesmo estudo, foram deduzidas as distribuições de probabilidade que preveem a probabilidade de ação do utilizador para cada estado da ocupação e dependendo da iluminância interior.

No final, resultou um modelo que prevê o comportamento do utilizador, em função do estado de ocupação, iluminância interior e exterior e estado anterior do dispositivo. O modelo deve ser implementado em paralelo com um programa de simulação que preveja iluminâncias interiores. A iluminância exterior é um dado de entrada necessário para este passo. O modelo também prevê a posição do dispositivo de sombreamento. O processo está esquematizado na Fig. 60.

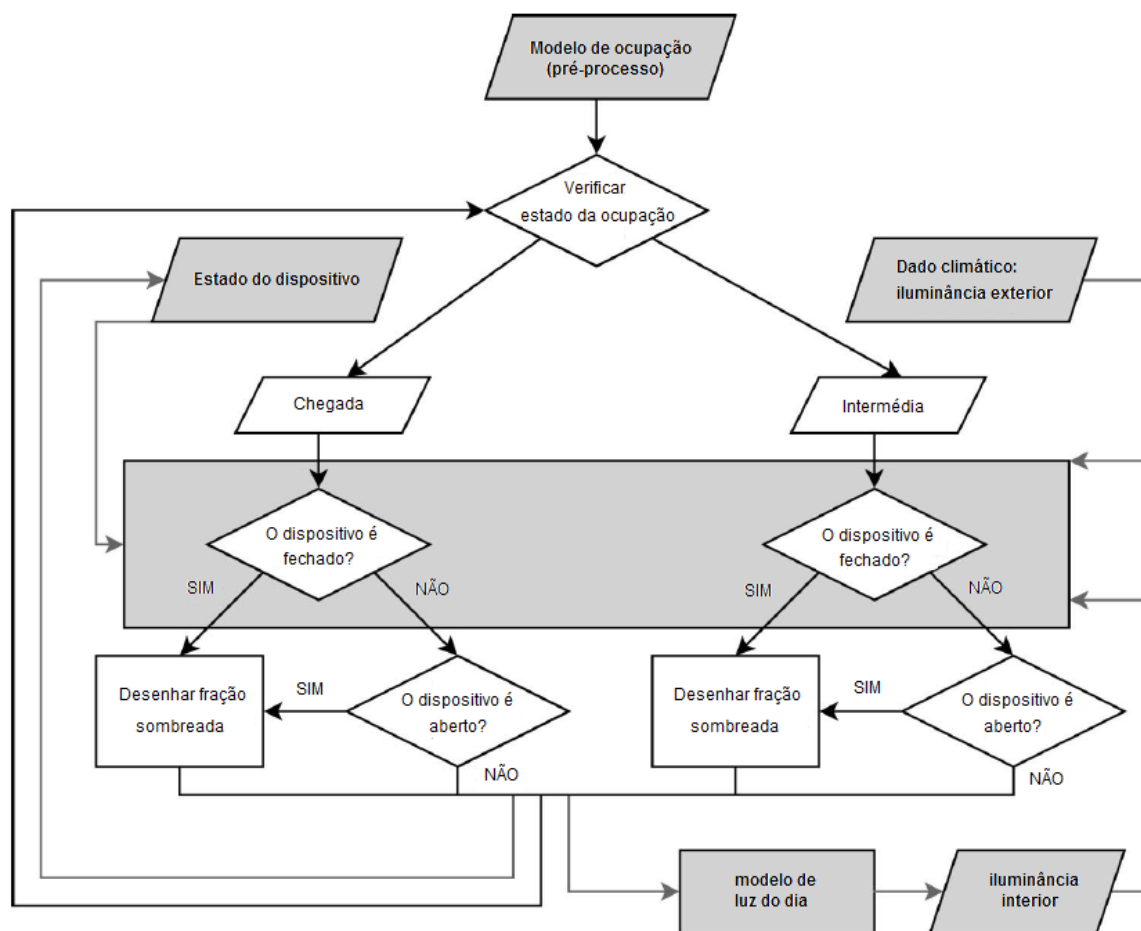


Fig. 60 – Esquema de modelo estocástico de previsão do uso de dispositivos de sombreamento, adaptado de Haldi e Robinson (2010).

5.6 AQUECER

No trabalho de Nicol e Humphreys (2004), estudou-se a relação entre o uso do sistema de aquecimento e a temperatura interior e exterior. Através da análise de regressão com a curva logística, obtiveram-se curvas que preveem a proporção de aquecedores ligados, conforme os valores de temperatura, para as três bases de dados do estudo.

Neste caso, a temperatura exterior é preponderante para o uso do sistema de aquecimento (ver Fig. 61).

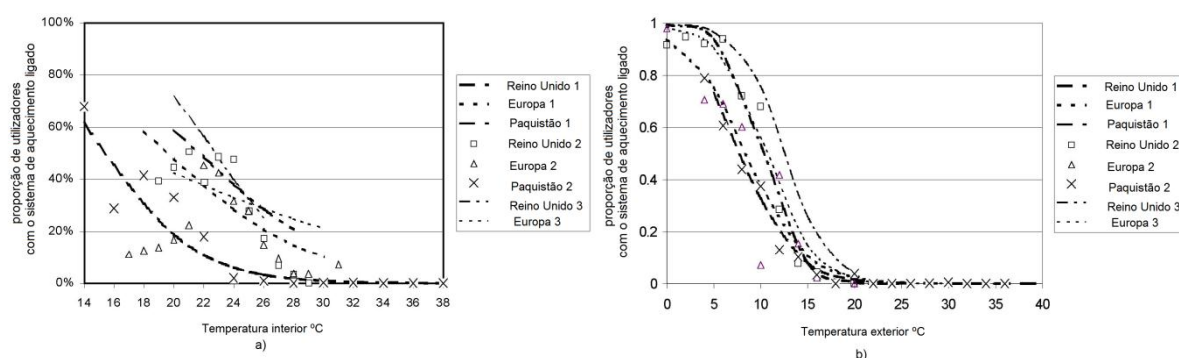


Fig. 61 - Proporção de escritórios com o aquecimento ligado para a) diferentes temperaturas interiores e b) para diferentes temperaturas exteriores. As linhas são as aproximações logísticas para cada base de dados. Os valores reais são representados pelos pontos. Adaptado de Nicol e Humphreys (2004).

Guerra-Santin e Itard (2010) referem no seu estudo que o *número de horas em que o sistema permanece na temperatura mais alta* e o *número de horas em que os radiadores estão ligados* crescem à medida que aumenta o nível de formação, se passamos de uma habitação multifamiliar para uma unifamiliar (nível de vida), se a regulação for feita através de termóstato, com a presença dos habitantes em casa e com a presença de idosos, como representado na Fig. 62. Estes são, portanto, os fatores que influenciam o uso do sistema de aquecimento.

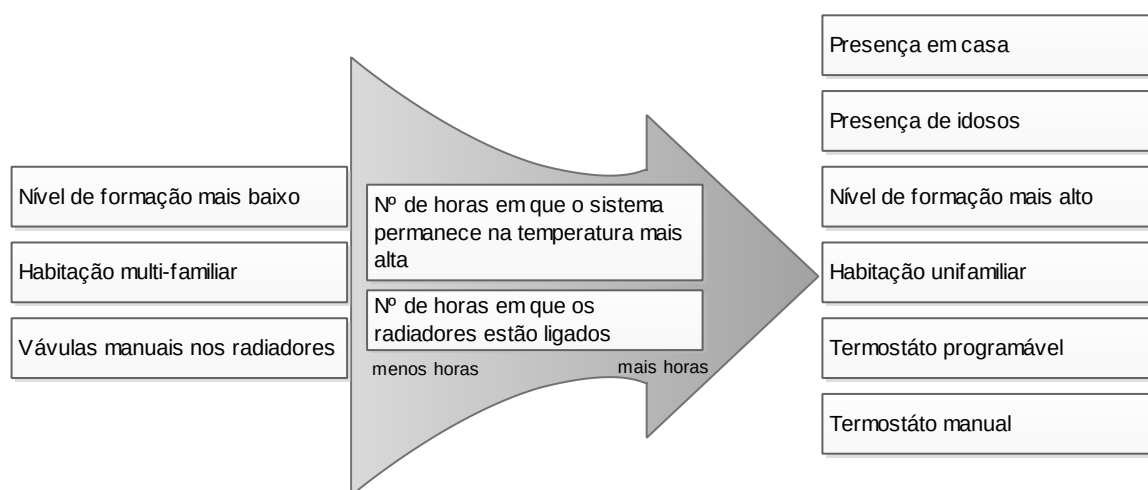


Fig. 62 – Fatores que influenciam o parâmetro *aquecer* do comportamento do utilizador, adaptado de Guerra-Santin e Itard (2010).

No estudo de Guerra-Santin (2011), foi utilizada a análise fatorial para averiguar os fatores que estão na base do comportamento do utilizador. Desta análise resultaram cinco grupos, de variáveis do comportamento do utilizador relacionadas com o consumo de energia, nomeados de Fatores de Comportamento que são “uso do espaço e eletrodomésticos”, “uso intensivo de energia”, “ventilação”, “mídia” e “conforto térmico”.

Quadro 20 – Fatores de Comportamento, adaptado de (Guerra-Santin and Itard 2010).

Fator	Nome do Fator	Variáveis
Fator 1: Uso do espaço e eletrodomésticos		• Número de quartos em uso
		• Número de lavagens com máquina da louça por semana
		• Máquina de secar roupa
		• Máquina de lavar roupa
		• Lâmpadas de halogénio na sala de estar
Fator 2: Uso intensivo de energia		• Lâmpadas de halogénio na sala de estar
		• Nº horas radiadores ligados na sala de estar
		• Nº de horas radiadores ligados nos quartos
		• Nº de horas radiadores ligados no quarto de banho
		• Nº de horas radiadores ligados na entrada
		• Nº de horas aparelhos eletrónicos ligados na sala de estar
		• Menor nº de lâmpadas económicas
Fator 3: Ventilação		• Nº de horas em que as grelhas abertas na sala de estar
		• Nº de horas em que as grelhas abertas nos quartos
		• Nº de horas em que as grelhas abertas no resto da casa
Fator 4: Mídia		• Menor nº de quartos em uso
		• Lâmpadas de halogénio na sala de estar
		• Nº de horas aparelhos eletrónicos ligados na sala de estar
		• Nº de horas janelas abertas na sala de estar
		• Duches
		• Menor uso da banheira
Fator 5: Conforto térmico		• Nº de horas radiador ligado na sala de estar
		• Nº de horas aparelhos eletrónicos ligados na sala de estar
		• Lâmpadas económicas
		• Horas com o termostato na maior temperatura
		• Menos horas janelas abertas nos quartos
		• Aparelhos eletrónicos em <i>standby</i>

De acordo com estes fatores de comportamento, surgiram cinco Padrões de Comportamento que relacionam os fatores de comportamento com a energia gasta.

- “Consumistas”: uso de mais espaço, maior uso de aparelhos eletrónicos, mais horas de aquecimento, mais horas de ventilação, sem preocupações com economia no uso de energia.
- “Frequentemente fresco”: uso de mais espaço, maior número de horas de ventilação (maior número de horas com as grelhas abertas nos quartos, sala de estar e resto da casa).
- “Consciente-quente”: uso de mais espaço, maior uso de aparelhos eletrónicos, mais horas de aquecimento, menos horas de ventilação (menos horas com as janelas abertas na sala de estar), preocupações com poupança de energia.
- “Confortável”: maior uso de aparelhos eletrónicos, mais horas de aquecimento, preocupações com poupança de energia.
- “Conveniente-fresco”: maior uso de aparelhos eletrónicos, mais horas de ventilação.

Depois, os Fatores de Comportamento foram correlacionados com características dos utilizadores e do edifício e determinaram-se os Perfis Energéticos De Utilizadores:

- Sêniore (casal com mais de 60 anos): preferem mais conforto; ênfase nos fatores de comportamento “ventilação” e “conforto térmico”.
- Famílias: precisam de mais espaço e fazem mais uso de eletrodomésticos pesados.
- Solteiros/Casais: é o perfil menos relacionado com “conforto térmico” e “uso intensivo de aparelhos eletrónicos e espaço”.
- Casais com rendimento alto: menos preocupados com a economia de energia, usam a habitação da forma que mais lhes convém.

Encontrou-se a relação entre os Padrões de Comportamento e os Perfis de Utilizadores: o perfil “Famílias” corresponde aos padrões “consumistas”, “conforto” e “frequentemente fresco”. O perfil “Sêniore” corresponde ao padrão “conscientes-quente”. O perfil “Casais baixo rendimento” corresponde aos padrões “conveniente fresco” e “conscientes-quente”. O perfil “Casais com alto rendimento” corresponde aos padrões “frequentemente-fresco”, “confortável” e “consumistas”.

A relação entre os Padrões de Comportamento e o uso de energia demonstra que as diferenças no consumo de energia são só indicativos. São apontadas como possíveis razões o facto de os edifícios estudados serem novos, a amostra ser pequena e o facto de nem todas as variáveis que definem os comportamentos estarem relacionadas com o uso da energia.

Os Perfis de Utilizadores estão relacionados com o uso de energia da seguinte forma: “Solteiros” e “Casais baixo rendimento” têm tendência para usar menos energia do que qualquer outro perfil. Isto está relacionado com uma pontuação alta no fator “mídia” e baixa em “aparelhos e espaço”. O resto dos perfis de utilizadores têm um consumo de energia superior. O perfil “Casais com rendimento alto” tendem a fazer um uso intensivo de energia; “Famílias” tendem a usar o espaço e eletrodomésticos pesados de forma mais intensiva. Os “Sêniore” escolhem temperaturas mais altas durante um período de tempo mais longo.

5.7 PRODUIR VAPOR

O estudo de Johansson et al. (2010) teve como objetivo a modelação estocástica das fontes de humidade interior, em habitações localizadas na Suécia. Este estudo consistiu na simulação higrotérmica e estocástica das habitações, tendo em conta fatores de variabilidade como o número de membros da habitação e a área de pavimento. O que se pretendia era conhecer a produção de vapor numa habitação (em gramas por hora e por ano).

Para tal, foram definidas as características do edifício, os fatores de risco, que neste caso são as fontes de produção de vapor, e as características de ventilação, como medida preventiva. No caso dos fatores de risco foi necessário definir os fatores de ruído a eles associados, seguindo a linha de raciocínio descrita no capítulo 2. Os fatores de risco considerados são tomar banho, tomar duche, fazer sauna, fazer jacuzzi, preparar refeições, lavar louça, usar a máquina de lavar louça, lavar roupa, secar roupa, passar a ferro, limpar o chão, respiração e transpiração de humanos, animais, aquário e plantas.

Os fatores de ruído para cada fator de risco são: a altura do dia, a duração da atividade e os níveis de produção de vapor. A variabilidade dos fatores de ruído está associada a questões culturais, características intrínsecas a cada utilizador como a idade, o género, etc., e faz parte da análise para que os resultados sejam o mais próximo possível da realidade.

Neste estudo, foi utilizado o método de Monte Carlo para produzir dados estocásticos que pudessem ser utilizados na simulação higrotérmica de edifícios habitacionais com as mesmas características daqueles em estudo. O método foi implementado utilizando os dados descritos na secção 4.2.16.

O resultado da simulação de Monte Carlo gerou dados de produção de vapor para as características de ventilação e do edifício assumidas (em gramas por hora, por ano) e para diferentes áreas de pavimento e número de habitantes por fração. O resultado final deste estudo apresenta distribuições de probabilidade de ocorrência de valores de produção de vapor (ver Fig. 63).

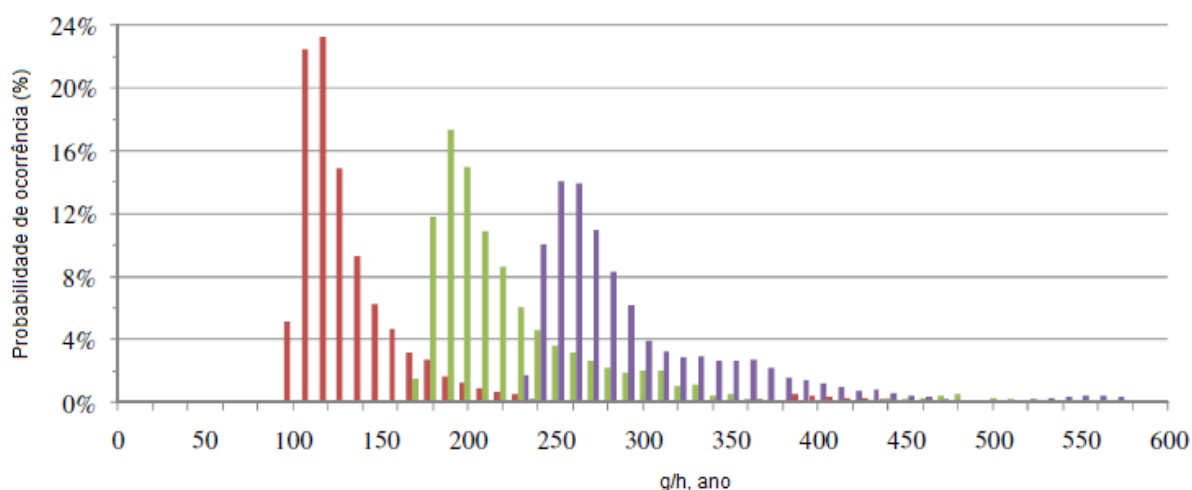


Fig. 63 – Simulação de produção de vapor de água, para famílias de 1, 2 ou 3 membros, respetivamente vermelho, verde e azul, adaptado de Johansson et al. (2010).

6

SÍNTESE CRÍTICA

6.1 ENQUADRAMENTO

Seguindo o principal objetivo deste trabalho, que se prende com a inclusão do comportamento do utilizador na análise de risco do comportamento de edifícios, para cada parâmetro do comportamento do utilizador, realizam-se as seguintes tarefas:

- Perceber o processo (variáveis propulsoras, fatores de ruído, relação com outros intervenientes na análise);
- Simplificar para incluir na base de dados estocásticos e na simulação numérica;
- Referir a informação que ainda é necessário recolher para caracterização do parâmetro.

Com base na informação recolhida na literatura e nas análises efetuadas por outros autores sobre o comportamento do utilizador em edifícios, tecem-se algumas considerações sobre o processo envolvido em cada ação do utilizador, bem como as consequências que provocam no funcionamento de um edifício.

Propõem-se alguns procedimentos sobre a forma como se poderá incluir cada parâmetro do comportamento do utilizador na base de dados estocásticos e na simulação numérica de edifícios, sugerindo métodos estatísticos ou probabilísticos.

O estado de desenvolvimento da investigação para cada parâmetro é distinto, por isso neste capítulo abordam-se os parâmetros *abrir/fechar janelas (ventilar)*, *sombrear*, *aquecer* e *produzir vapor*, por serem aqueles com mais informação disponível. Por isto, para cada um destes quatro parâmetros a síntese crítica efetuada apresenta também diferentes graus de desenvolvimento, conforme a informação disponível para cada um.

As considerações são direcionadas a edifícios de habitação, conforme os objetivos desta dissertação.

6.2 VENTILAR

6.2.1 SÍNTESE DAS ANÁLISES SOBRE ABRIR/FECHAR JANELAS

A ação *abrir/fechar janelas* foi definida neste trabalho como um parâmetro do comportamento do utilizador passível de influenciar o desempenho de um edifício. A literatura contém informação sobre a realização desta ação pelo utilizador e já existem algumas análises efetuadas, com mais foco em edifícios de escritórios, tal como apresentado no capítulo anterior. As análises constantes na literatura são conduzidas de modo a identificar as variáveis propulsoras e os fatores de ruído do comportamento do utilizador. Posteriormente foram inferidos modelos de previsão da probabilidade de abrir janelas em função de uma ou mais variáveis propulsoras e dos fatores de ruído (ver Fig. 64).

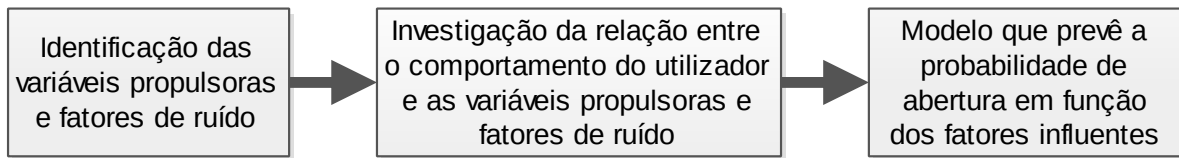


Fig. 64 – Forma como são conduzidos os estudos sobre a abertura/fecho de janelas em edifícios.

Os métodos probabilísticos utilizados nas análises são variados e de diferente complexidade. Os modelos criados para escritórios são bastante desenvolvidos e envolvem um conjunto de fatores passíveis de influenciar o comportamento do utilizador. Um destes modelos também inclui a duração do evento (janela aberta) (Haldi e Robinson, 2009). Para edifícios residenciais existe alguma informação, mas apenas existe um modelo proposto que prevê a probabilidade de abertura das janelas (Antretter et al., 2011).

As variáveis propulsoras do comportamento do utilizador para a abertura de janelas (temperatura interior e qualidade do ar interior) são as mesmas tanto em edifícios de escritórios como residenciais, no entanto, existem diferenças que estão relacionadas com o uso dado a cada tipo de edifício. Por exemplo, o estado da ocupação do compartimento é distinto, assim como a hora do dia. Isto é, a hora do dia em que o utilizador permanece em casa é contrária àquela em que permanece no trabalho e o estado de ocupação de um compartimento não seguirá o mesmo padrão nos dois tipos de edifícios.

Da informação disponível é possível efetuar uma divisão dos fatores que influenciam este comportamento, em externos, internos e inerentes ao utilizador. Os fatores externos são:

- Temperatura exterior;
- Humidade exterior;
- Radiação solar;
- Velocidade do vento;
- Ocorrência de chuva;
- Estação do ano;
- Altura do dia;
- Perceção de ruído.

Os fatores internos são:

- Temperatura interior;
- Qualidade do ar interior (QAI);
- Perceção de iluminação no compartimento;
- Tamanho da habitação;
- Tipo de ventilação;
- Características da janela.

Depois, existem os fatores inerentes ao próprio utilizador, como:

- Género;
- Idade;
- Cultura;
- Presença no compartimento (estado de ocupação);
- Conforto térmico.

Os últimos fatores dependem da sensibilidade e vontade de cada utilizador. Estes aspetos são de tratamento mais difícil, mas até agora a consideração de vários tipos de utilizador – ativo, médio, passivo – parece ter ajudado na análise (Mayer, 2011).

Das análises realizadas, é possível retirar algumas conclusões com relevância para este trabalho. De entre os fatores de influência considerados, é possível identificar duas variáveis propulsoras principais que são o conforto térmico, associado às temperaturas interior e exterior e a qualidade do ar interior (QAI). Depois, existem outros fatores de ruído associados às características do edifício (por exemplo, características da janela) ou ao próprio utilizador (idade, cultura, etc.) (ver Fig. 65).

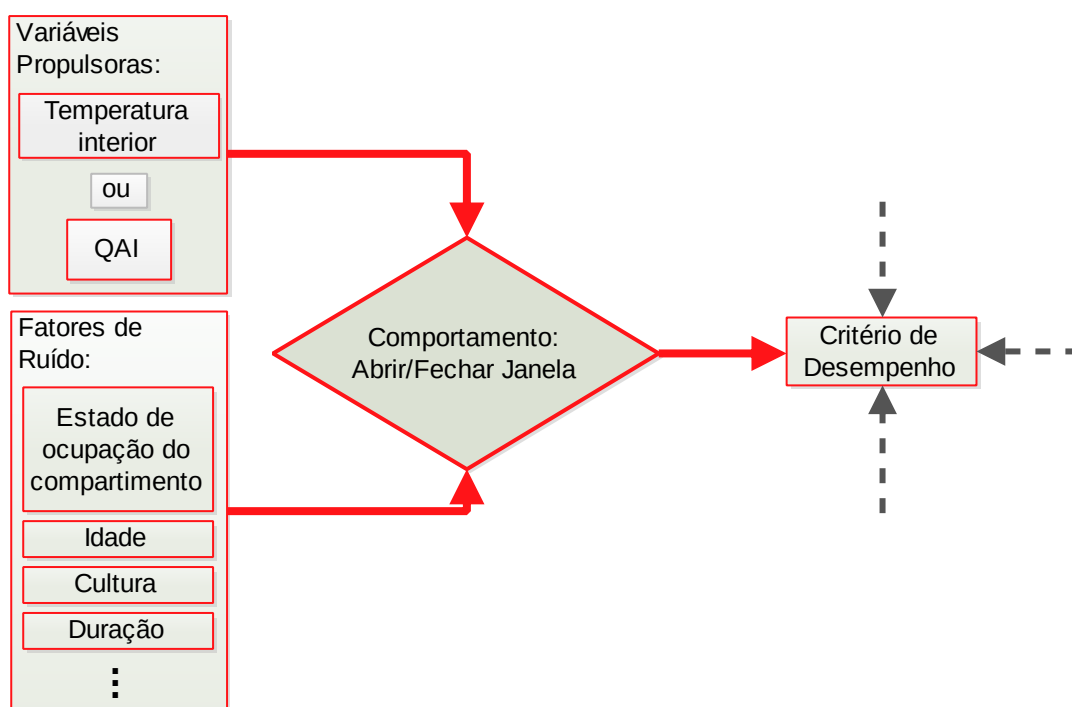


Fig. 65 – Relação do parâmetro *abrir/ fechar janelas* com outros fatores intervenientes na análise de risco.

Quando se considera a temperatura interior como variável propulsora do comportamento do utilizador, não se consideram outras adaptações que o utilizador pode efetuar para se sentir termicamente confortável, tais como vestuário, beber, etc.(Parys, 2010).

Assim, verifica-se que as temperaturas interior e exterior são fatores de maior relevância no comportamento do utilizador. Existe a discussão sobre qual a temperatura que deve ser tida em consideração na análise. A temperatura interior tem em conta as características do edifício, mas é já um dado de entrada da simulação e isso pode acarretar erros à partida (Mayer, 2011). No entanto, Yun e Steemers (2008) comprovaram que, para condições exteriores idênticas, o comportamento do utilizador pode ser muito distinto. Nicol e Humphreys (2004) e Haldi e Robinson (2009), encontraram relações idênticas entre a proporção de janelas abertas e a temperatura interior, para diferentes países da Europa e para o Paquistão. Nas Fig. 66 e Fig. 67 é possível observar que quando a temperatura interior, se aproxima de 22°C, a proporção de janelas abertas acentua-se. A partir dos 22°C, o aumento de proporção de janelas abertas é bastante diferente entre países (ver Fig. 66), o que provavelmente estará relacionado com questões culturais e de adaptação ao clima local. Além disso, os dados

relativos à temperatura interior são mais coerentes do que os relativos à temperatura exterior (ver o ajuste das curvas aos resultados das observações na Fig. 67).

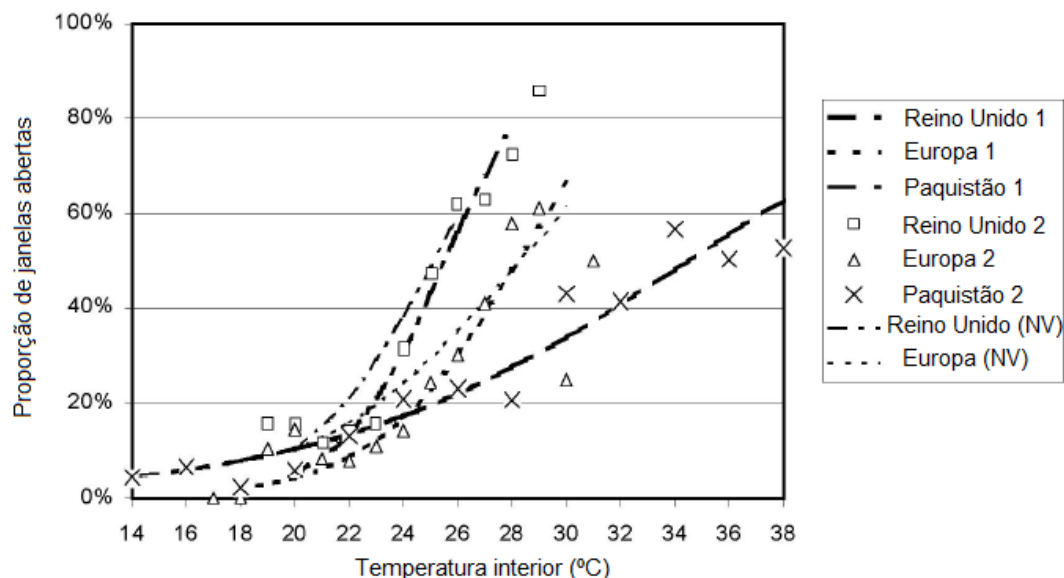


Fig. 66 – Relação entre a temperatura interior e a proporção de janelas abertas, para diferentes países, adaptado de Nicol e Humphreys (2004).

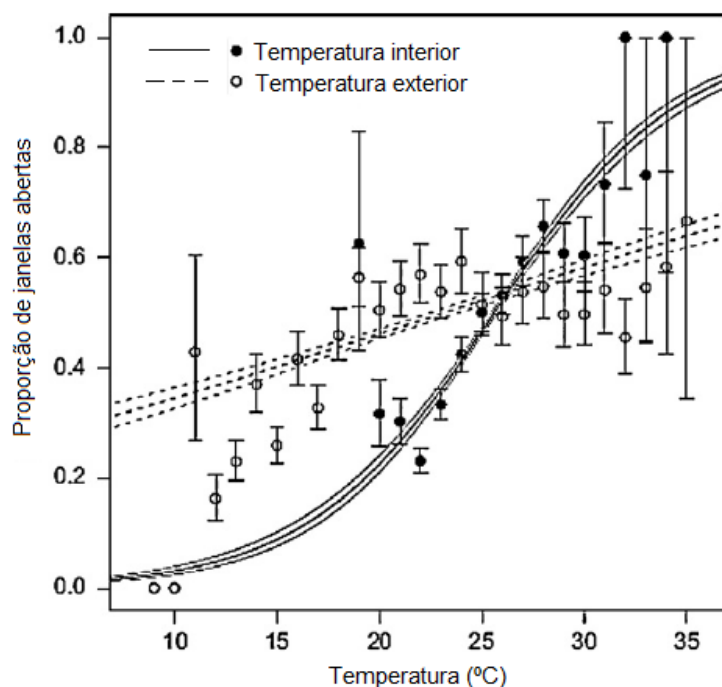


Fig. 67 – Relação entre a temperatura interior e a proporção de janelas abertas, adaptado de Haldi e Robinson (2009).

Também deverá ter-se em atenção que o comportamento do utilizador é distinto para cada estação do ano, verão, inverno e intermédias. Além das temperaturas serem diferentes para cada estação do ano, verifica-se que a relação entre o comportamento do utilizador e a temperatura interior é mais forte no verão do que no inverno. Mais, a frequência de alteração do estado das janelas é superior nas estações intermédias, verificando-se os maiores períodos de abertura no verão. Isto remete para o facto de, no verão, a variável propulsora ser o conforto térmico, ou seja, a temperatura interior, e no inverno a qualidade do ar interior (QAI).

A radiação solar também tem influência na temperatura interior, que por sua vez altera o comportamento do utilizador.

Outros aspetos que também afetam esta análise são, nomeadamente, as correntes de ar, a ocorrência de chuva e a existência de ruído exterior, diminuindo a ocorrência de abertura de uma janela. As características físicas da janela, o tipo de ventilação do edifício, e o estado anterior da janela também devem ser tidos como fatores que interferem no comportamento.

Relativamente ao próprio utilizador, a idade, o género e o estado da ocupação do compartimento são fatores que têm influência no seu comportamento. A presença de idosos ou crianças nas habitações faz diminuir a probabilidade de abertura de uma janela (Guerra-Santin, 2010).

6.2.2 METODOLOGIA PROPOSTA PARA A INCLUSÃO DO PARÂMETRO *ABRIR/FECHAR JANELAS* NA BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS

De modo a caracterizar o comportamento do utilizador relativamente ao uso de janelas na simulação numérica de edifícios, pensa-se que o ideal seria ter um perfil diário de ocorrência do evento (janela aberta), para cada compartimento da habitação. Além disso, é imprescindível conhecer as áreas de abertura para conhecer a forma como a abertura de uma janela afeta os fluxos de ar no compartimento/habitação. A fim de obter o perfil diário da probabilidade de ocorrência do evento estabeleceu-se uma metodologia que considera as duas variáveis propulsoras (temperatura interior e QAI) e os vários fatores de ruído importantes na análise deste parâmetro do comportamento do utilizador. Devido à complexidade da análise, não se inclui todos os fatores de ruído referidos na literatura, mas aqueles que se consideram de maior relevância, justificando sempre que se considera necessário. A metodologia tem por base a informação recolhida na literatura e será descrita de seguida e esquematizada na Fig. 71.

Considera-se que seria possível, através da análise de regressão múltipla, obter um modelo de previsão da probabilidade, y , de uma janela estar aberta, num determinado compartimento e ao longo de 24 horas. Para isso é necessário acrescentar a variável tempo à análise, sugerindo-se a escolha de instantes de tempo pequenos para caracterizar com precisão o comportamento do utilizador ao longo de 24 horas. As variáveis independentes que afetam esta probabilidade são:

- Temperatura interior (no verão) ou QAI (no inverno), por serem as variáveis propulsoras do comportamento do utilizador para a abertura de janelas;
- Tipo de utilizador, definido pelas idades dos utilizadores, porque a presença de idosos e/ou crianças faz diminuir a proporção de janelas abertas (Guerra-Santin e Itard, 2010);
- Estado da ocupação do compartimento.

Assim, para o verão:

$$y = f(\text{Temperatura interior, Tipo de utilizador, Estado da ocupação});$$

e, para o inverno

$$(y) = f(QAI, \text{Tipo de utilizador, Estado da ocupação}).$$

Cada uma destas funções é definida ao longo de 24 horas para cada compartimento, considerando um determinado intervalo para os instantes de tempo.

De modo a definir este modelo é fundamental caracterizar as variáveis independentes referidas. Deste modo, para modelar o comportamento do utilizador é necessário recolher informação sobre as variáveis. Seguidamente descreve-se a informação imprescindível para caracterizar cada uma das variáveis independentes:

- **Caraterização das Idades dos utilizadores:**
Uma vez que a idade dos utilizadores tem influência na abertura de janelas, julga-se que seria útil categorizar a composição de famílias de acordo com a idade dos membros. Sugerem-se as seguintes categorias:
 1. Casais jovens ou de idade média sem crianças ou idosos ao encargo;
 2. Casais com filhos com idade inferior a 10 anos;
 3. Casais de idade média com idosos (+65) a seu encargo;
 4. Casais de idosos ou idoso (+65) a viver sozinho.

Para obter esta informação sobre a população de um determinado país ou região, pode consultar-se as bases de dados estatísticos disponíveis, como o HETUS ou o Instituto Nacional de Estatística – INE, para Portugal.

- **Caraterização do Estado de ocupação do compartimento:**
Para cada compartimento, é necessário saber quando está ou não ocupado por um utilizador. Encontra-se informação sobre qual a altura do dia em que os habitantes estão em casa na literatura. Assim, através do HETUS, gerou-se dois gráficos que ilustram a informação sobre a permanência dos habitantes em casa, ao longo de 24 horas, por idades (ver Fig. 68 e Fig. 69). Os resultados são distintos por idade e ligeiramente diferentes entre países. Naturalmente, as pessoas mais idosas têm mais tendência para passar mais tempo em casa e cada país tem diferentes costumes. A divisão por idades é importante devido ao ponto anterior. A questão da diferença entre países enfatiza o facto de ser necessário ter em atenção os dados que são utilizados dependendo do país onde será realizado o estudo (escolha da amostra).
Depois é importante conhecer o estado da ocupação por compartimento. Sobre isso, apenas existe a informação de utilizadores Belgas (ver Fig. 70). Seria interessante ter estes dados para Portugal e para outros países.
A distinção entre dias da semana e fim de semana também será interessante, no entanto não esquecendo que quanto mais informação, mais complexa se torna a modelação da análise.

- **Caraterização da Temperatura interior e da QAI.**
A relação entre a temperatura exterior e interior é dependente do isolamento térmico do edifício, da tecnologia e design da fachada e da inércia térmica. No trabalho de Herkel et al. (2009) a relação entre a temperatura interior e exterior é obtida através dos dados medidos. Num caso de estudo de um edifício e para a metodologia proposta, essa informação é obtida durante a própria simulação dinâmica, através da temperatura exterior e das características do edifício. Ao mesmo tempo, considerando que a simulação é efetuada com intervalos de tempo curtos (hora a hora ou inferiores à hora), a temperatura interior é um dado de entrada para a

simulação do parâmetro do comportamento do utilizador *abrir/fechar janelas*. Ou seja, o programa simula de forma dinâmica (ao longo de 24 horas) a temperatura interior, de acordo com os outros fatores que a influenciam, e o modelo de regressão linear prevê o comportamento do utilizador para aquela temperatura. Este comportamento do utilizador volta a modificar a temperatura interior, que no intervalo de tempo seguinte será diferente e voltará a influenciar de forma distinta o comportamento do utilizador e assim sucessivamente.

No inverno, seria considerada a QAI, que poderia ser quantificada através dos níveis de CO₂. Seria necessário relacionar os níveis de CO₂ com a proporção de janelas abertas, mas ainda não existe informação sobre este tema, sugerindo-se que seria importante a caracterização desta variável.

A reunião da informação relativa às três variáveis independentes, permitiria a aplicação do método de regressão linear, como anteriormente referido. O resultado seria um modelo de previsão da probabilidade de abertura de uma janela, por compartimento, no verão e no inverno, ao longo de 24 horas. Fica em aberto qual a variável propulsora que deve ser considerada na análise nas estações intermédias, talvez incluir as duas.

Em paralelo com este modelo, se for conhecida a área de abertura das janelas, poderia analisar-se o efeito nos fluxos de ar numa habitação, sendo este o objetivo final da caracterização do parâmetro do comportamento do utilizador *abrir/fechar janelas* e da sua inclusão na simulação numérica de edifícios (ver Fig. 71).

Relativamente à forma como as áreas de abertura afetam os fluxos de ar, existe uma aproximação no trabalho de Roetzel (2010), dependente da configuração da fachada, que poderia ser explorada.

Salienta-se, mais uma vez, o facto de que a recolha de informação, sobre as variáveis independentes para o modelo de regressão linear, deve ser realizada no mesmo país, numa amostra significativa da população, de modo a despistar fatores de ruído culturais que possam ter influência no comportamento do utilizador.

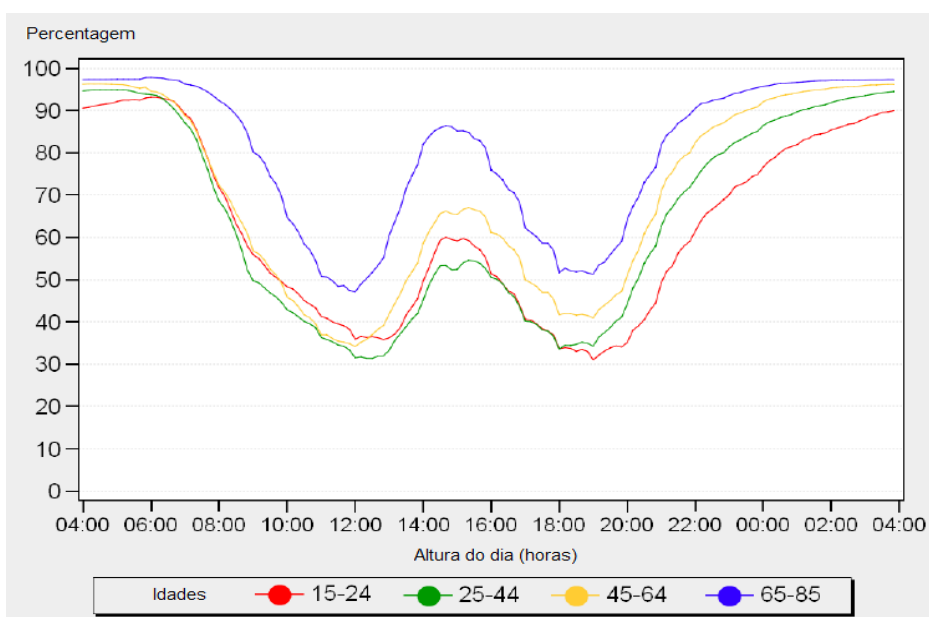


Fig. 68 – Percentagem de habitantes presentes em casa, em Espanha, por idades, adaptado de HETUS (2012).

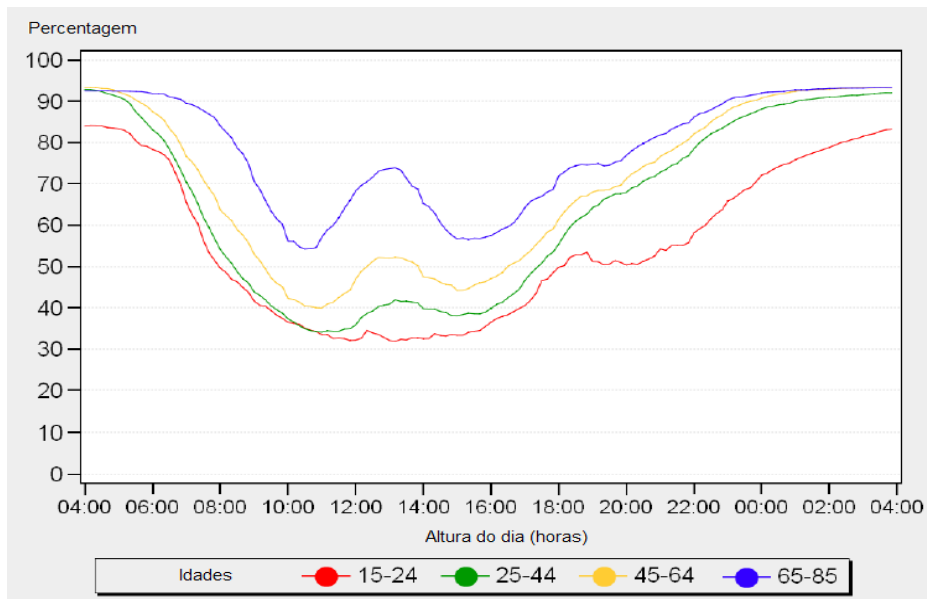


Fig. 69 – Percentagem de habitantes presentes em casa, na Alemanha, por idades, adaptado de HETUS (2012).

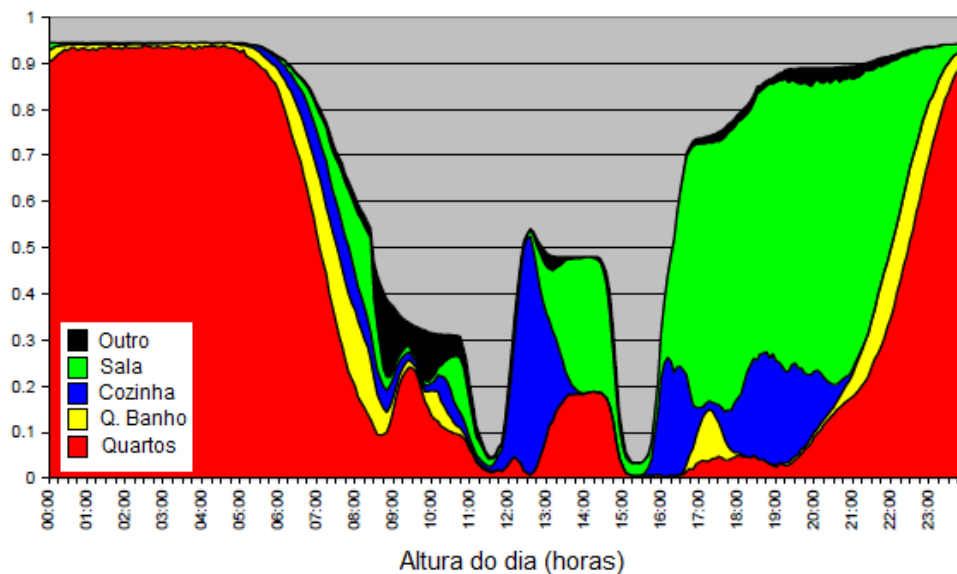


Fig. 70 – Proporção de habitantes presentes em casa, na Bélgica, ao longo de um dia, por compartimento, dados do Instituto Nacional de Estatística Belga, adaptado de Delghust et al. (2012).

Concluindo, a inclusão de todos os fatores passíveis de influenciar o parâmetro do comportamento do utilizador *abrir/fechar janelas* na sua caracterização é um processo complexo, pelo que a metodologia sugerida inclui aqueles que se consideram de maior relevância. Mesmo assim, salientam-se as dificuldades da caracterização de um parâmetro relativo ao comportamento do utilizador: na obtenção da amostra, na escolha de um método que conjugue todas as variáveis e na compreensão da relação do comportamento com os fluxos de ar de um edifício.

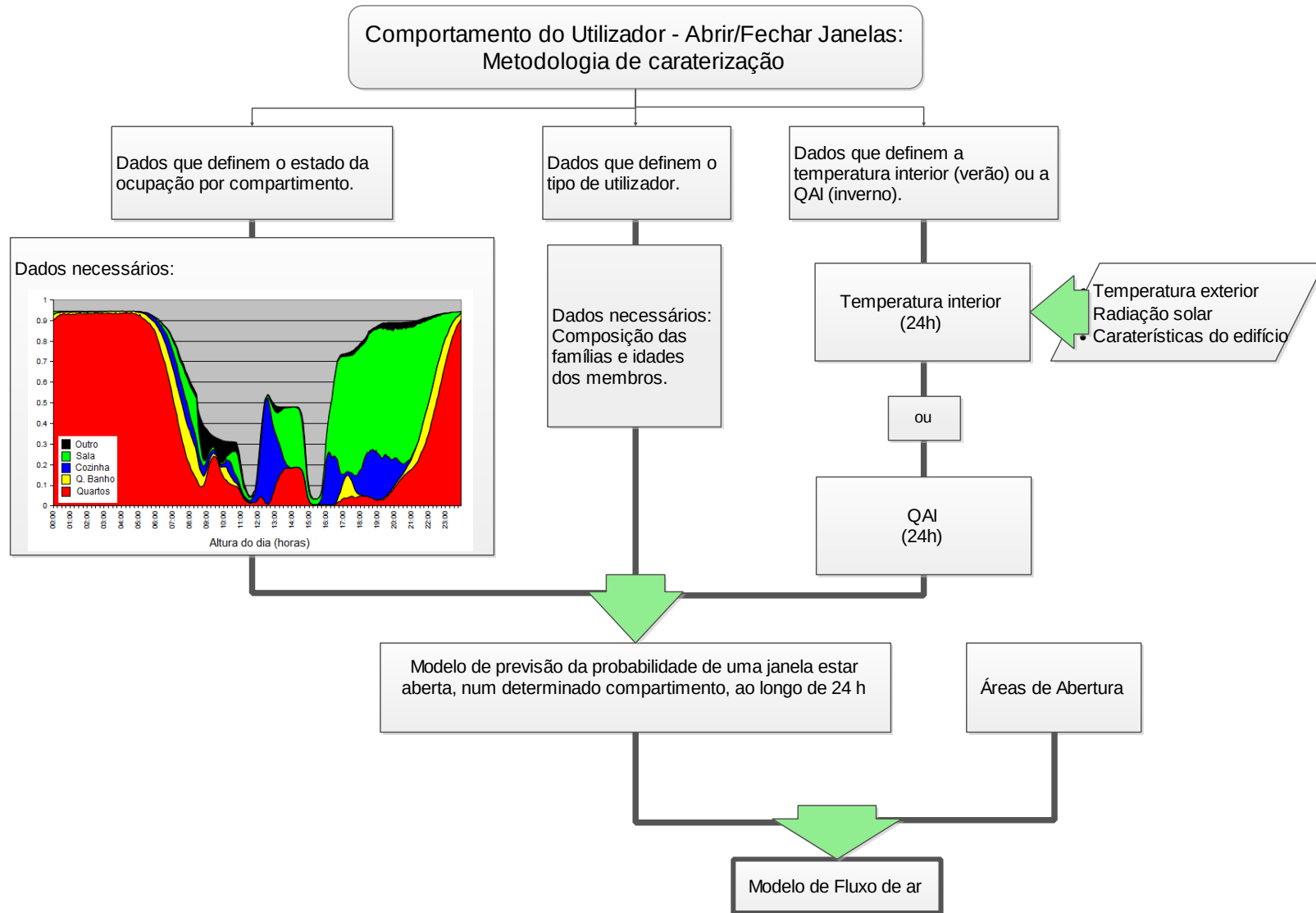


Fig. 71 – Processo de caracterização do parâmetro do comportamento do utilizador *abrir/fechar janelas (ventilar)*.

6.3 SOMBREAR

6.3.1 SÍNTESE DAS ANÁLISES SOBRE SOMBREAR

De acordo com Parys (2010), o conforto visual é a principal, mas não a única motivação para o uso dos dispositivos de sombreamento. Outros fatores como a orientação da fachada, a radiação solar (com influência na temperatura interior), a altura do dia, o tipo de controlo e o tipo de dispositivo são referidos como tendo influência no comportamento do utilizador.

Estas conclusões são retiradas de análises efetuadas em escritórios. Considera-se que em habitações seja provável que as variáveis propulsoras do comportamento do utilizador relativo ao sombreamento sejam a temperatura interior/radiação solar e o conforto visual com a mesma importância, uma vez que não está a ser considerado um local de trabalho.

6.3.2 TIPO DE DADOS PRETENDIDOS PARA A BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS.

O ideal seria ter o perfil diário de utilização dos dispositivos de cada compartimento, ao longo de 24 horas. Não existem dados que permitam obter o perfil desejado, pelo que seria necessário recolher a seguinte informação numa amostra significativa da população, medindo em contínuo durante pelo menos um ano de modo a incluir dados de todas as estações do ano:

- Posição (aberto, fechado, intermédio) do dispositivo de sombreamento;
- Áreas em sombra, em simultâneo com o anterior;
- Tipo de compartimento e orientação da janela;
- Temperatura interior e radiação solar no compartimento.

O objetivo seria obter um perfil diário do uso dos dispositivos de sombreamento, por compartimento e por orientação da fachada, dependendo da temperatura interior ou da radiação solar no compartimento, o que poderia ser incluído na base de dados.

Estas informações entram num programa de simulação em simultâneo com todos os dados das restantes famílias intervenientes na análise. Associando a informação sobre os ganhos solares, pode obter-se o efeito do sombreamento, controlado pelo utilizador, no desempenho do edifício. Mais uma vez, o efeito do sombreamento sobre o comportamento do edifício faz alterar as condições interiores que voltam a ser um dado de entrada para o modelo que prevê o estado do sombreamento num compartimento.

6.4 AQUECER

6.4.1 SÍNTESE DAS ANÁLISES SOBRE AQUECER

O parâmetro do comportamento do utilizador *aquecer* é de extrema importância para a análise de soluções de reabilitação, tanto do ponto de vista higrotérmico como do consumo de energia. O uso do sistema de aquecimento interfere diretamente com a temperatura interior que se faz sentir dentro do edifício e, portanto, com o conforto do utilizador. Além disso, está fortemente relacionado com os custos de uma habitação, por envolver o consumo de energia.

Analisando os estudos efetuados por outros autores, pode dizer-se que a variável que propulsiona a ação do utilizador para ligar o sistema de aquecimento é a temperatura exterior. Esta em conjunto com as características do edifício influencia a temperatura interior e, por isso, o conforto do utilizador.

Depois, existem fatores de ruído que estão relacionados com a forma como o utilizador controla o sistema de aquecimento (ver Fig. 72):

- Nível de vida;
- Idade dos utilizadores;
- Temperatura escolhida para o termóstato;
- Duração dos períodos de aquecimento;
- Distribuição diária dos períodos de aquecimento;
- Tipo de controlo do sistema de aquecimento.

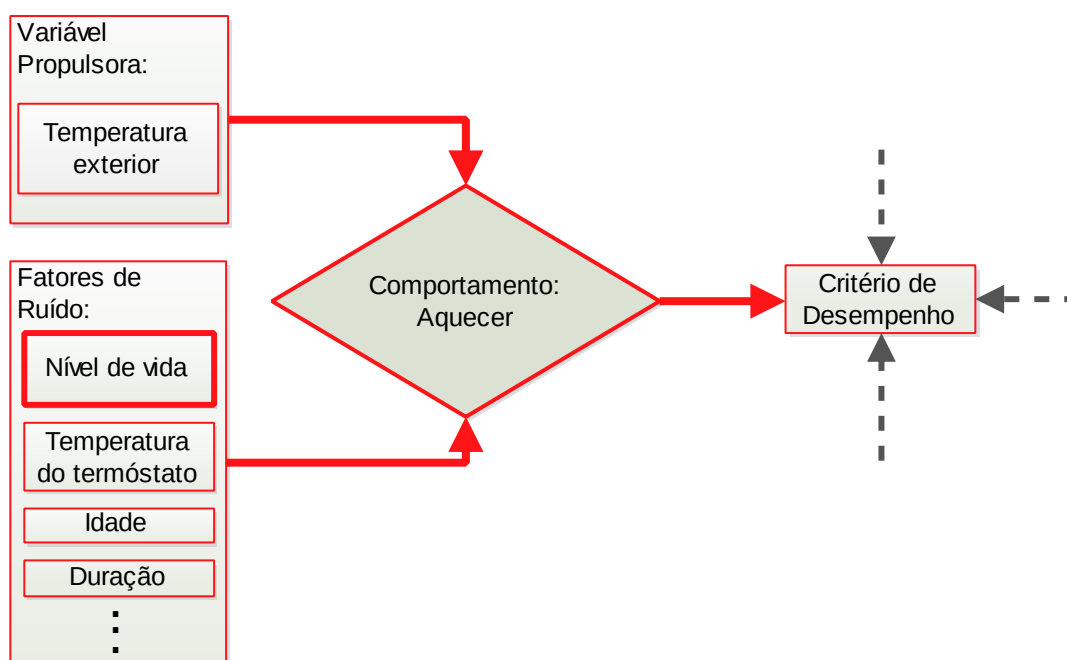


Fig. 72 – Relação do parâmetro *aquecer* com outros fatores intervenientes na análise de risco.

O nível de vida (fator de origem económica) é um fator de ruído com relevância no comportamento do utilizador por desempenhar um papel antagónico ao da variável propulsora. Com isto pretende-se explicitar que o utilizador pode escolher um nível de conforto térmico mais baixo do que o padrão (Bae e Chun, 2009) por estar limitado em termos económicos.

Deste modo, as análises efetuadas para residências são conduzidas no sentido de relacionar este comportamento do utilizador com o uso de energia, procurando encontrar padrões de comportamento e perfis de utilizadores.

Não existe nenhum estudo em residências que calcule a probabilidade de usar o aquecimento, em função da temperatura exterior, como o de Nicol e Humphreys (2004) para escritórios.

6.4.2 TIPO DE DADOS PRETENDIDOS PARA A BASE DE DADOS ESTOCÁSTICOS

Julga-se que o tipo de dados de entrada, relativos ao uso do sistema de aquecimento por parte do utilizador, úteis para a simulação numérica de edifícios se traduz na conjugação de quatro tipos de informação:

- Probabilidade de ligar o sistema de aquecimento em função da temperatura exterior;
- Perfil diário da temperatura escolhida para o termóstato;
- Relação entre a temperatura escolhida para o termóstato e a temperatura interior que se faz sentir devido ao uso do sistema de aquecimento.

Cada um destes tópicos deve existir para cada compartimento, uma vez que o uso dado a cada compartimento influencia o uso do sistema de aquecimento (Delghust et al., 2012). Os dois primeiros tópicos caracterizam o comportamento do utilizador face ao sistema de aquecimento. A relação entre a temperatura do termóstato e a temperatura interior serve para definir de que forma é que este comportamento altera o desempenho higratérmico do edifício. Este último é um assunto de tratamento minucioso, porque o tipo de aquecimento, o local onde está posicionado o termóstato, etc. alteram o resultado final. Por último, se a análise que se pretende efetuar for do ponto de vista do desempenho energético, devem associar-se consumos de energia e custos, conforme o tipo de sistema de aquecimento.

A fim de se obter os dados necessários para a criação de perfis seria necessário efetuar as seguintes medições em contínuo, durante a estação de aquecimento, numa amostra significativa de edifícios:

- Controlo do sistema de aquecimento (ligado/desligado);
- Temperatura escolhida para o termóstato;
- Temperatura exterior, para relacionar com o acionamento do sistema de aquecimento;
- Tipo de família que habita no local das medições, em termos de situação económica e idade dos utilizadores.

A compilação desta informação para criação dos perfis diários deverá ter em conta o tipo de utilizador no que diz respeito à condição económica, tal como anteriormente referido, daí o registo do tipo de família. Isto corresponde à criação de perfis de utilizadores tal como foi efetuado nas análises de outros autores (Guerra-Santin e Itard, 2010; Gram-Hanssen, 2010 e Becker e Paciuk, 1993). Sugere-se a aplicação da análise de clusters para diferenciação do tipo de utilizadores. Cada perfil teria de ter associada uma probabilidade de ocorrência para ter em consideração na simulação.

Devido à complexidade da análise deste parâmetro do comportamento do utilizador, salienta-se a importância da escolha de uma amostra significativa da população, sugerindo-se que a recolha seja realizada no mesmo país e para o mesmo tipo de clima (ver Fig. 11 para observação da diferença entre países para a temperatura de conforto). Além disso, devem ser recolhidos dados em conjuntos habitacionais de vários estratos económicos.

A evolução do comportamento do utilizador ao longo do tempo, tal como analisado no estudo de Bae e Chun (2009), pode demonstrar diferenças significativas. Estas diferenças podem ser explicadas por fatores culturais e socioeconómicos, por exemplo, numa crise energética tenderá a usar-se menos energia e, logo, o uso do aquecimento poderá ser condicionado. Por isso, ao efetuar o processo acima descrito deve ter-se em atenção o período de recolha dos dados e por quanto tempo são válidos.

6.5 PRODUZIR VAPOR

A ação do utilizador *produzir vapor* é também um parâmetro do comportamento do utilizador. Este parâmetro engloba todas as ações do utilizador suscetíveis de *produzir vapor* de água, elas são:

- Tomar banho;
- Tomar duche;
- Lavar a louça com água quente;
- Utilizar a máquina da louça;
- Secar roupa;
- Cozinhar
- Respiração e transpiração de seres vivos.

Na perspetiva da análise de risco de soluções de reabilitação, as ações que provocam a produção de vapor são fatores de risco, pois podem levar a um mau desempenho higrotérmico, dependendo das restantes condições do sistema em análise. Associados a estes fatores de risco estão os fatores de ruído que, seguindo a linha de raciocínio de Johansson et al. (2010), são:

- Perfil diário da ação;
- Duração do evento;
- Níveis de produção de vapor.

Estes fatores de ruído estão associados à variabilidade do comportamento do utilizador e dependem, por sua vez, de cada pessoa e de fatores sociais, culturais e económicos, bem como da temperatura da água, da temperatura do compartimento, etc. no caso dos níveis de produção de vapor. A relação entre os intervenientes do processo da produção de vapor por parte do utilizador está esquematizada na Fig. 73.

A análise do parâmetro produção de vapor por esta perspetiva tem em conta a natureza estocástica dos acontecimentos.

No trabalho de Johansson et al. (2010), para os fatores de ruído de 1º nível (ver Fig. 73) em que não existia informação disponível na literatura, reuniu-se informação sobre os fatores que tinham influência sobre eles (de 2º nível) para caracterizá-los. Foi o caso do nível de produção de vapor do banho que depende de outros fatores como a temperatura do compartimento e a temperatura da superfície da água.

Os resultados do estudo de Johansson et al. (2010) foram apresentados no capítulo 5 e correspondem a distribuições de probabilidade de valores da produção de vapor (em g/h, ano) de acordo com a informação que recolheram na literatura (descrita no capítulo 4) e com as características das habitações em estudo.

Eventualmente, estes resultados poderão ser usados em simulações de outros edifícios, tendo em atenção as características do sistema em análise. No entanto, pensa-se que o ideal para a simulação de medidas de reabilitação higrotérmica seria ter a quantidade de vapor produzido ao longo de 24 horas por compartimento e conhecer a sua variabilidade vertical.

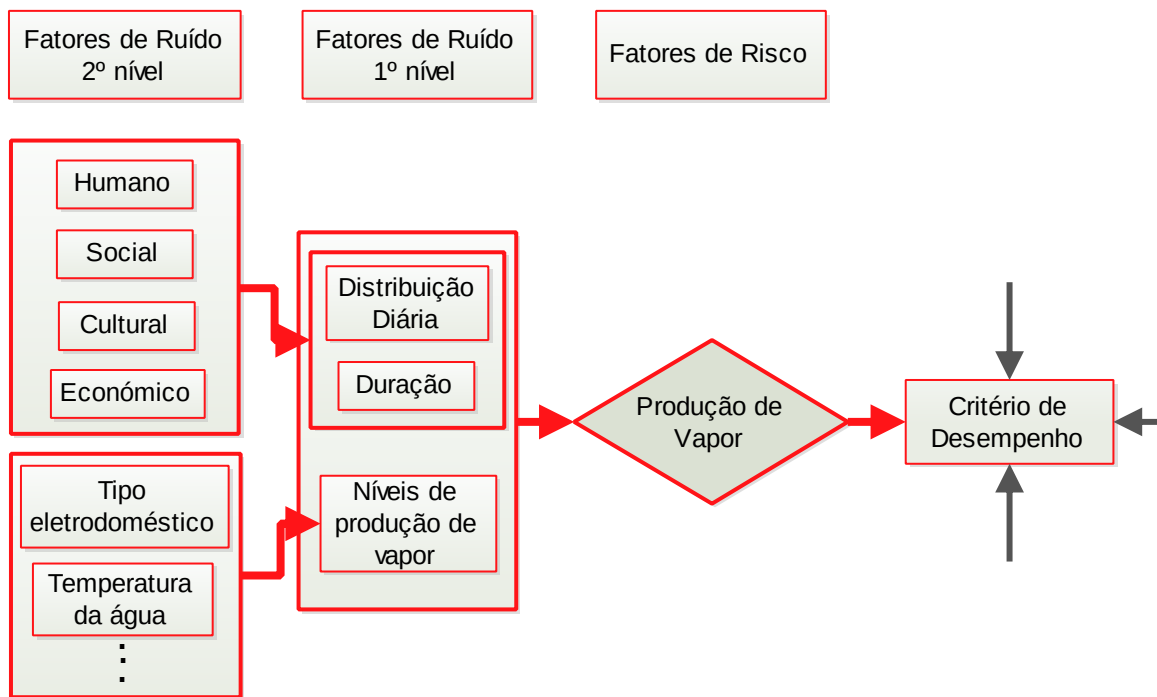


Fig. 73 – Fatores de ruído associados ao parâmetro do comportamento do utilizador produção de vapor.

A separação por compartimentos é relevante pois a produção de vapor pode variar muito com o tipo de ação, por exemplo, a quantidade de vapor produzida num duche varia entre 0,20 e 0,40 kg/evento e a confeção de um jantar entre 0,47 e 3,86 kg/evento (Johansson et al, 2010). Ou seja, as concentrações de vapor de água podem ser muito distintas por compartimento e, dependendo das condições de ventilação, o risco de ocorrer falhas pode ser de igual modo díspar. Nesse caso, para a análise de um quarto de banho, as fontes de vapor a considerar seriam o banho e o duche; para a cozinha, a confeção de refeições, o uso da máquina da louça e a lavagem manual de louça; para a lavandaria, a secagem de roupa; para um quarto, o metabolismo humano com mais significado durante o sono, por ser durante um maior número de horas consecutivas.

O passo seguinte passa então por sintetizar os dados existentes para cada fonte de produção de vapor na tentativa de transformá-los em perfis diários. Cada compartimento vai ser tratado num subcapítulo.

Segue-se um raciocínio idêntico ao do trabalho de Johansson et al (2010), tendo em conta os fatores de variabilidade: perfil diário, duração do evento e níveis de produção de vapor, para cada fonte de produção de vapor. A análise será feita por compartimento e tenta-se desenvolver uma metodologia que permita chegar aos dados finais a incluir na base de dados estocásticos.

6.5.1 QUARTO DE BANHO

Iniciando as considerações para um quarto de banho. Explora-se tomar banho e duche, considerando que o metabolismo humano é irrelevante face a estes dois eventos, em termos de níveis de produção de vapor.

No estudo de Johansson et al. (2010) foram reunidas informações sobre a ação do utilizador *tomar banho*. Note-se que esta atividade pode não ocorrer todos os dias e, por isso, são apresentadas cinco

categorias de frequência de ocorrência deste evento, numa semana (capítulo 4). Pode verificar-se que a categoria que tem maior probabilidade de ocorrência é “menos de uma vez por semana”. De facto, o mais corrente nos dias de hoje é o utilizador tomar duche. Por isso, e porque as duas atividades não ocorrem ao mesmo tempo, as informações sobre este fator de risco não serão aqui aprofundadas.

Começa-se por organizar a informação disponível para caracterizar os fatores de ruído associados a *tomar duche*.

A frequência deste evento ao longo de 24 horas está disponível no estudo de Johansson et al. (2010), de outra fonte por eles citada (ver secção 4.2.16), e no estudo de Hendron (2010). Os picos de utilização ocorrem a horas semelhantes, com alguma variabilidade horizontal (nas horas do dia), mais uma vez devido aos horários distintos entre regiões por diferentes horas do entardecer ou por costumes quotidianos. Também se verifica que o pico do fim do dia é mais acentuado no perfil de Johansson et al. (2010).

Os dois perfis disponíveis foram obtidos com dados de utilizadores dos E.U.A. Não foram encontradas informações que permitissem obter a distribuição para Portugal, mas pensa-se que o perfil de Johansson et al. (2010) será compatível à realidade portuguesa.

Note-se que *tomar duche* é uma atividade à qual está associada uma ocorrência diária com comportamento sazonal distinto, ou seja, por exemplo, no estudo de Johansson et al. (2010), para a Suécia, os autores assumiram que a probabilidade de cada utilizador tomar um duche num dia variava entre 50% para o Inverno e 85% para o Verão. Para Portugal não é conhecido, mas parece razoável 50% para o inverno, 90% para o verão e 60% para as estações intermédias. Normalmente, a simulação numérica de edifícios é efetuada ao longo de um ano ou mais para observar, por exemplo, a secagem dos materiais, daí esta diferenciação ser relevante.

Pode assumir-se, tal como na análise de Johansson et al. (2010) que a duração média deste evento é de 5 minutos, uma vez que os níveis de produção de vapor do duche disponíveis na literatura são dados em quilogramas por 5 minutos. No trabalho de Hendron (2010), a distribuição de probabilidade da duração do duche é definida como log-normal com média de 7,81 minutos e desvio-padrão de 3,52 minutos. Neste trabalho será considerada a duração de 5 minutos devido à informação sobre a produção de vapor, no entanto, sugere-se a medição de níveis de produção de vapor para ter uma distribuição de probabilidade associada em vez de um intervalo de valores.

O nível de produção de vapor em kg/5min admite-se variar entre 0,20 e 0,38 kg/5min (Johansson et al., 2010). Considera-se todos os valores com a mesma probabilidade de ocorrência, pois não existe outra informação.

Com a informação disponível não é possível obter diretamente um perfil diário de produção de vapor no quarto de banho devido a *tomar duche*. A informação disponível consiste no seguinte:

- Probabilidade de ocorrência de *tomar duche* ao longo das 24 horas;
- Evento dura 5 minutos;
- Cada utilizador da habitação toma duche uma vez por dia com a probabilidade definida anteriormente, para cada estação do ano;
- A produção de vapor para um evento de 5 minutos varia entre 0,20 e 0,38 kg.

A distribuição da produção de vapor ao longo de 24 horas é importante pois, numa simulação numérica de uma solução de reabilitação, este dado tem de ser associado às condições de ventilação e às condições interiores, que também variam ao longo do dia. O perfil diário da probabilidade de tomar duche tem implícita a variabilidade horizontal (ao longo das 24 horas) do evento. O intervalo da

quantidade de produção de vapor por evento, traduz a variabilidade vertical. Assim, pode resumir-se esta informação de acordo com o ilustrado na Fig. 74 e no Quadro 21.

De notar que é necessário ter em conta o número de utilizadores por habitação, pois é fundamental para determinar a quantidade de vapor produzida. Por exemplo, se dois utilizadores tomarem duches seguidos, a quantidade de vapor produzida já será a dobrar, no mesmo intervalo de tempo.

A inclusão desta informação num programa de simulação numérica ainda não pode ser efetuada, uma vez que é necessário conjugar as duas informações num programa de simulação. Porém, a forma de efetuar esta tarefa ainda não é clara, não existindo dados que possam ser incluídos na base de dados estocásticos.

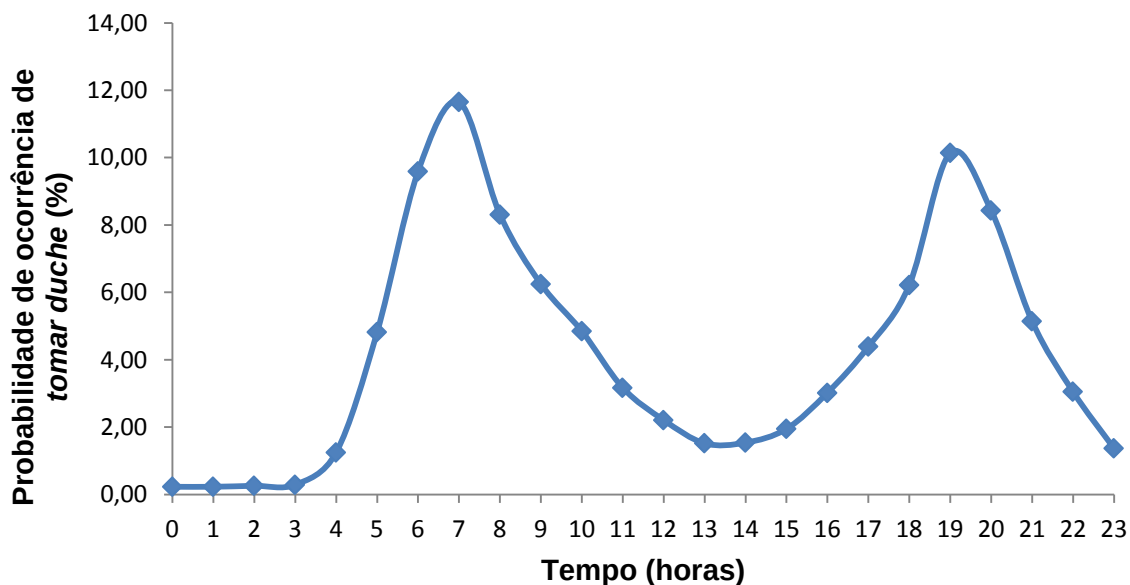


Fig. 74 – Perfil diário da probabilidade da ocorrência de *tomar duche*.

Quadro 21 – Níveis de produção de vapor para o evento *tomar duche* com duração de 5 minutos.

Produção de vapor para um evento de 5 minutos	
[kg]	
Tomar duche	0,20 a 0,38

6.5.2 COZINHA

Na cozinha, como fontes de produção de vapor temos a confeção de refeições, a lavagem manual da louça e a utilização da máquina de lavar louça.

Relativamente à confeção de refeições, o perfil diário de ocorrência do evento que foi considerado é o mesmo do estudo de Johansson et al. (2010). Neste estudo é discriminado o perfil diário para cada refeição: pequeno-almoço, almoço e jantar. No servidor europeu (HETUS) não existe essa separação. Da análise dos resultados para diferentes países obtidos do servidor europeu, já se tinha demonstrado,

para Espanha e França (na secção 4.2.1), que os horários das refeições entre diferentes países podem ser muito distintos. Mais uma vez devido a questões culturais, sociais, etc..

Uma vez que os níveis de produção de vapor para as refeições são dados por evento e para cada tipo de refeição (Johansson et al., 2010), optou-se por utilizar o perfil diário disponível no trabalho de Johansson et al. (2010). Sugere-se a obtenção da mesma informação para Portugal, devido às diferenças entre países.

Nas Fig. 75, e Fig. 76 está ilustrada a informação disponível sobre a produção de vapor para a confeção de cada refeição. Tal como anteriormente para o duche, a variabilidade horizontal está implícita no perfil diário da probabilidade de ocorrência de cada evento. A variabilidade vertical está representada com base no desvio padrão associado a cada valor médio de produção de vapor (em kg por evento), ambos expostos no Quadro 13 da secção 4.2.16.

Naturalmente que os níveis de produção de vapor variam conforme o tipo de confeção dos alimentos. Neste trabalho foram utilizados os dados disponíveis (valores médios e desvios-padrão para cada refeição) no trabalho de Johansson et al. (2010), baseados em dados da literatura que são referentes a países de cultura distinta. Os próprios autores consideram a aproximação como “grosseira”, mas são os únicos dados disponíveis.

Note-se que estas figuras são ilustrações da informação disponível e, mais uma vez, esta informação não pode ser diretamente transposta para a base de dados estocásticos.

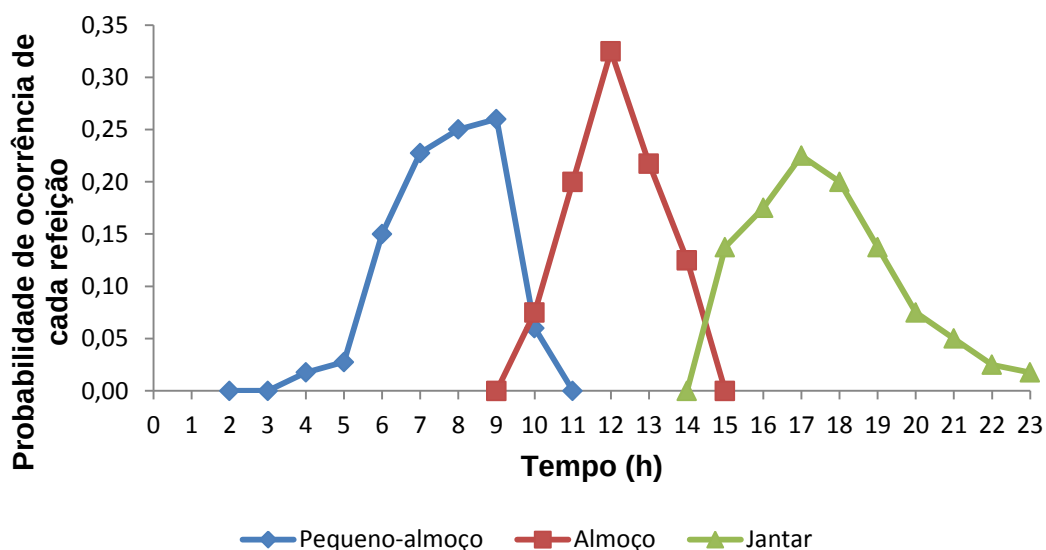


Fig. 75 – Perfil diário da probabilidade de ocorrência dos eventos *confeção de pequeno-almoço, almoço e jantar*.

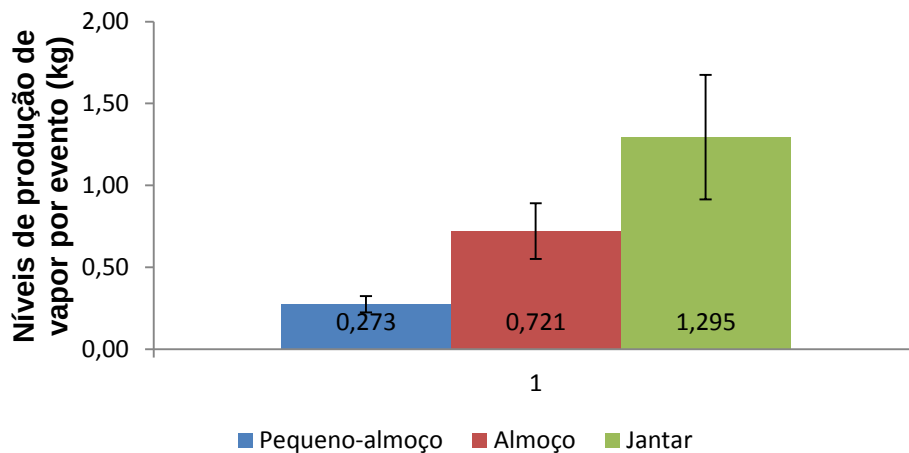


Fig. 76 – Níveis de produção de vapor para cada refeição e respetiva variabilidade.

A atividade *lavar louça* é outro fator de risco a ter em conta no compartimento da cozinha. A frequência de ocorrência da lavagem manual de louça está dependente da existência ou não de máquina de lavar louça na habitação.

O perfil diário desta atividade está disponível no trabalho de Johansson et al. (2010) e é diferenciado para a existência ou não de máquina de lavar louça.

O fator de incidência da existência de máquina de lavar louça para uma família de quatro elementos, por exemplo, é 40,1% , portanto o perfil da lavagem manual de louça com existência de máquina de lavar louça tem a mesma probabilidade de ocorrência. Normalmente, quando se efetua a análise de edifícios conhece-se a composição das famílias, pelo menos pela tipologia do edifício. Nesse caso, e dependendo da complexidade da análise que se queira efetuar, poderá usar-se as informações constantes na secção 4.2.16, para diferentes composições do agregado familiar.

Por outro lado, o perfil diário de ocorrência de lavagem manual de louça quando não existe máquina de lavar tem a probabilidade de ocorrência de 59,9% (a complementar).

Note-se que relativamente à lavagem manual de louça, considera-se que esta é sempre efetuada com água quente, de contrário não haveria produção de vapor de água. Embora não exista informação sobre a probabilidade de lavar a louça com água quente, sugere-se que se continue a considerar que a lavagem é efetuada com água quente, por ser a situação mais gravosa e porque podem existir utilizadores que realmente o façam. Os níveis de produção de vapor para a lavagem manual de louça estão disponíveis na literatura, sendo dados por evento. A esta informação é necessário associar a informação relativa aos fatores de ruído para o uso da máquina da louça.

O uso da máquina da louça está categorizado de acordo com a frequência semanal de uso e com o número de elementos da habitação (Johansson et al., 2010). Deste modo, deve ter-se em consideração que este perfil, numa simulação numérica ao longo de um determinado período de tempo, não ocorrerá todos os dias.

Os níveis de produção de vapor para a máquina da louça variam entre 0,2 e 0,4 kg por evento, admitindo-se a mesma probabilidade de ocorrência de todos os valores dentro deste intervalo, inclusivé.

Salienta-se novamente o facto da existência de diferenças no comportamento entre culturas distintas, pelo que seria interessante obter estas informações para Portugal.

6.5.3 LAVANDARIA

No caso da lavandaria, a ação do utilizador que provoca produção de vapor é *secar roupa*. A secagem da roupa pode ser efetuada através de dispositivos elétricos ou ao ar livre. Só ocorre produção de vapor se a secagem for efetuada ao ar livre e só importa se for dentro do compartimento. Por isso, considera-se que quando é efetuada ao ar livre será sempre dentro do compartimento. O fator de incidência para a existência de dispositivo elétrico de secagem é de 35%, dado relativo à Suécia retirado do estudo de Johansson et al. (2010).

A secagem da roupa ocorre quando os utilizadores lavam a roupa, portanto está associada ao uso da máquina de lavar roupa. Existe informação sobre os níveis de produção de vapor e a frequência de ocorrência deste evento por semana para diferentes composições das famílias. Sugere-se a obtenção destes dados para Portugal.

A conjugação da informação relativa ao uso da máquina da roupa com a informação disponível para *secar roupa*, permitiria obter a quantidade de produção de vapor ao longo de 24 horas devido à secagem da roupa. Porém, para obter este resultado é necessário recolher mais informação e, tal como no caso dos outros fatores de risco, a disponível não possibilita a inclusão deste parâmetro do comportamento do utilizador na base de dados estocásticos.

6.5.4 QUARTOS

Nos quartos, a produção de vapor é devida à atividade humana. Neste trabalho optou-se por uma análise mais prática do que aquela que foi efetuada no estudo de Johansson et al. (2010). Assim, considera-se que a atividade mais relevante no caso deste compartimento é *dormir*, por ocorrer diariamente e durante um número de horas prolongado.

Para caraterizar a produção de vapor devido a esta atividade são necessárias as seguintes informações:

- O perfil diário da atividade (foi retirado do servidor europeu para Itália, por se considerar que deve ser idêntica à de Portugal e para ilustrar a informação disponível sobre este fator de risco);
- Os níveis de produção de vapor e a sua variabilidade (apenas existe um valor disponível na literatura: 0,043 em kg/hora/pessoa).

A Fig. 77 representa a informação disponível sobre a probabilidade de um utilizador estar a *dormir*, ao longo de 24 horas. A variabilidade horizontal está implícita na consideração da probabilidade de ocorrência da atividade em cada hora. Não esquecer da importância da utilização de dados referentes a cada país onde se queira efetuar uma simulação numérica. A variabilidade vertical terá a ver com o tipo de utilizador, mas não existem dados, e com o número de utilizadores que dorme no mesmo compartimento.

Mais uma vez, estes dados não podem ser usados diretamente na simulação numérica de edifícios e não estão prontos para serem organizados na base de dados estocásticos.

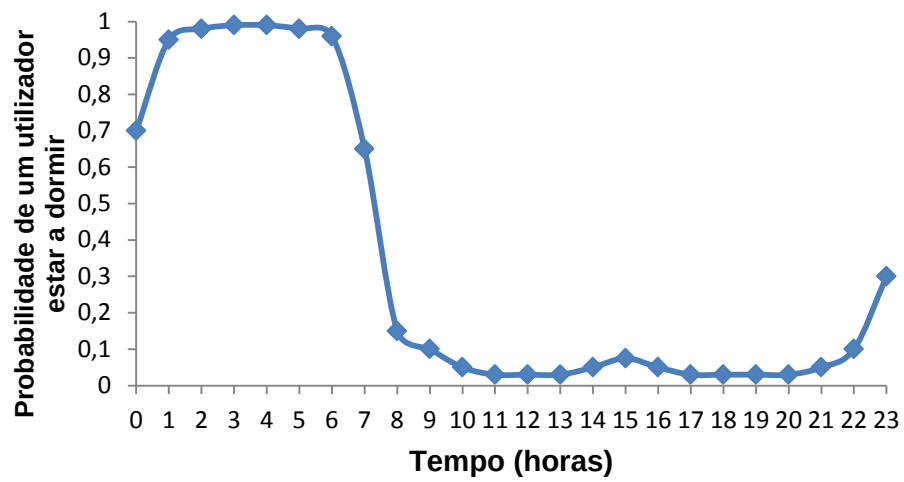


Fig. 77 – Perfil diário da ocorrência da atividade *dormir* na Itália, adaptado de HETUS (2012).

7

CONCLUSÕES

7.1 CONCLUSÕES GERAIS

O avanço na simulação numérica de edifícios, relativamente à consideração da natureza estocástica dos dados de entrada e à definição do risco associado a medidas de reabilitação higrotérmica de edifícios, é um passo importante na evolução da forma de projetar. Isto deve-se ao facto já referido de que as soluções implementadas, muitas vezes, não satisfazem os critérios de desempenho para os quais foram propostas, o que se traduz numa perda desnecessária, muitas vezes dispendiosa, de recursos.

A inclusão da natureza estocástica dos dados de entrada na simulação numérica de soluções de reabilitação de edifícios é uma tarefa que acarreta dificuldades. Nomeadamente, no que diz respeito à obtenção de amostras significativas de uma população, à escolha dos métodos estatísticos que devem ser usados para tratar a amostra e na forma final de inclusão desses dados na simulação numérica. Neste sentido, o comportamento do utilizador, definido como uma família de dados de entrada necessários numa análise de risco, demonstra ser uma variável particularmente complexa, por um lado pela forte componente aleatória e, por outro, por ser um tema atualmente em investigação e pouco desenvolvido (pelo menos da forma que se pretende para a sua inclusão na análise de risco).

Relativamente à criação de uma proposta de estrutura para a base de dados estocásticos, entende-se que foram cumpridos os objetivos propostos, assim:

- Definiu-se o tipo de famílias que a base de dados estocásticos deverá conter:
 - Custos;
 - Condições fronteira;
 - Propriedades do edifício;
 - Comportamento do utilizador;
 - Mão-de-obra;
 - Sistemas Mecânicos.
- Enumeraram-se alguns dos métodos que podem ser usados para caraterizar a natureza estocástica dos dados.
- Definiram-se as informações que a base de dados deve conter para cada variável como sendo:
 - Caraterização estatística da variável;
 - Métodos utilizados na caraterização estatística;
 - Limitações da informação produzida.

Estes pontos são importantes para decidir se é possível utilizar a informação da base de dados, caso a caso.

O comportamento do utilizador foi a família escolhida para estudo nesta dissertação por se ter presente que as suas ações e a forma como afetam o edifício são inevitáveis e não controladas. Em relação a este ponto, conclui-se que se cumpriram os objetivos inicialmente propostos, salientando-se o facto da necessidade de continuar o estudo, como se explicita na secção 7.2. Deste modo, destacam-se os seguintes pontos:

- Foi efetuada uma recolha exaustiva na literatura sobre o comportamento do utilizador e a forma como este influencia o desempenho do edifício;
- Encontraram-se várias referências ao tema, muitas vezes referentes a utilizadores de escritórios, que se consideram conter informações relevantes para a caracterização do comportamento do utilizador. Por isso, a informação recolhida foi organizada e exposta nesta dissertação;
- Com base na informação da literatura e no conhecimento da física e da tecnologia das construções parametrizou-se o comportamento do utilizador, clarificando a relação com os conceitos envolvidos numa análise de risco. Os parâmetros são os seguintes:
 - *Ventilar (abrir/fechar janelas, grelhas e ventilação mecânica);*
 - *Aquecer;*
 - *Arrefecer;*
 - *Sombrear;*
 - *Produzir Calor;*
 - *Produzir Vapor;*
 - *Desumidificar.*
- Para os parâmetros cuja informação disponível era mais detalhada (*ventilar – abrir/fechar janelas, aquecer, sombrear e produzir vapor*), procedeu-se à análise das metodologias propostas por outros autores. Deste modo, observou-se que para cada parâmetro é importante definir as variáveis propulsoras, os fatores de ruído e a relação do parâmetro com o funcionamento do edifício. As variáveis propulsoras para cada parâmetro são as seguintes:
 - *Abrir/fechar janelas:* temperatura interior e qualidade do ar interior.
 - *Sombrear:* temperatura interior, radiação solar e conforto visual.
 - *Aquecer:* temperatura exterior.
- Existem fatores de diferentes origens que provocam a variabilidade do comportamento do utilizador.

Depois, sugeriu-se processos de tratamento da informação disponível sobre cada parâmetro do comportamento do utilizador (*ventilar – abrir/fechar janelas, aquecer, sombrear, produzir vapor*) para obtenção de dados finais para incluir na base de dados estocásticos. As principais conclusões relativamente a esta questão são as seguintes:

- Entende-se que a informação que a base de dados estocásticos deve conter acerca de cada parâmetro do comportamento do utilizador deve ser ao longo de 24 horas e por compartimento, para uma correta definição do cenário que se queira testar;
- A informação atualmente disponível sobre cada parâmetro do comportamento do utilizador não é suficiente para a obtenção de tais resultados, passíveis de incluir na base de dados estocásticos;

- A obtenção da informação necessária para a base de dados estocásticos passa pelo aprofundamento do conhecimento disponível sobre cada parâmetro, nomeadamente pela aplicação de técnicas estatísticas e desenvolvimento de novos modelos;
- A caracterização desta família de dados revela-se um processo demorado, detalhado e de difícil compatibilização com os métodos até à data de prática comum na simulação higrotérmica de edifícios.

Por fim, entende-se que se cumpriu os objetivos inicialmente propostos, considerando a problemática que envolve a conceptualização e a consideração dos fenómenos relativos ao comportamento do utilizador em edifícios. Espera-se que o contributo dado por este trabalho permita a continuação do estudo deste tema, contando com a clarificação de alguns conceitos, com a informação reunida e com as sugestões de inclusão desta variável na simulação higrotérmica de edifícios.

7.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este trabalho pode ser o ponto de partida para o progresso da caracterização de cada um dos parâmetros do comportamento do utilizador em edifícios, de modo a obter a informação útil para a base de dados estocásticos.

Nomeadamente, pensa-se que seria interessante desenvolver as metodologias propostas no que diz respeito à recolha, tratamento e validação dos dados relativos a cada parâmetro do comportamento do utilizador que foram abordados no capítulo 6 deste trabalho.

Além disso, os parâmetros *ventilar – grelhas* e *ventilação mecânica, arrefecer, produzir calor e desumidificar*, não foram tratados nos capítulos 5 e 6, pela falta de informação detalhada. Por isso, sugere-se a continuação da pesquisa sobre os mesmos, de modo a incluí-los, na base de dados estocásticos.

Bibliografia

- Andersen, R. V., J. Toftum, K. K. Andersen, and B. W. Olesen. 2009. *Survey of occupant behaviour and control of indoor environment in Danish dwellings*. *Energy and Buildings* no. 41 (1):11-16.
- Angell, W.J. & Olsson, W.W. 1988. *Moisture sources associated with potential damage in cold climate housing*. CD-FS-3405, 1988. St. Paul MN: Minnesota Extension Service, University of Minnesota.
- Antretter, Florian; Christine; Mayer, and Ulrich Wellisch. 2011. *An Approach for Statistical Model for the User Behavior Regarding Window Ventilation in Residential Buildings*. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 14-16 November.
- ASHRAE. 2004. Standard 55-2004. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. edited by Refrigerating and Air Conditioning Engineers American Society of Heating. E.U.A.
- Bae, C., and C. Chun. 2009. *Research on seasonal indoor thermal environment and residents' control behavior of cooling and heating systems in Korea*. *Building and Environment* no. 44 (11):2300-2307.
- Becker, R., and M. Paciuk. 1993. *Effects of heating patterns on overall thermal performance of dwellings*. *Energy and Buildings* no. 20 (2):133-142.
- Delghust, Marc; Laverge, Jelle; Janssens, Arnold; Van Erck, Charline; Taelman, Charlotte. 2012. *The influence of user behaviour on energy use in old dwellings: case-study analysis of a social housing neighbourhood*. Proceedings of the 5th IBPC, Kyoto, Japan, May 28-31, 2012.
- Frontczak, M., and P. Wargocki. 2011. *Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments*. *Building and Environment* no. 46 (4):922-937.
- Christian, J.E. 1993. *A search for moisture sources – Proceedings for Bugs, Mold and Rot II – A workshop on Control of humidity for health, artifacts and buildings*. Washington DC: Building Environment and Thermal Envelope Council and ORNL.
- Christian, J.E. 1994. *Manual on moisture control in buildings - Moisture sources*./Heinz L. Trechsel editor. Ann Arbor, MI: ASTM Manual Series (MNL 18).

- CIBSE. 1999. *Environmental Design – CIBSE Guide A*. London GB: The Yale press ltd.
- Gram-Hanssen, K. 2010. *Residential heat comfort practices: Understanding users*. *Building Research and Information* no. 38 (2):175-186.
- Guerra-Santin, O., and L. Itard. 2010. *Occupants' behaviour: Determinants and effects on residential heating consumption*. *Building Research and Information* no. 38 (3):318-338.
- Guimarães, Rui Manuel Campos, and José António Sarsfield Pereira Cabral. 2011. *Estatística*. Vol. 2.^a ed. Lisboa: Verlag Dashöfer.
- Haldar, Achintya, and Sankaran Mahadevan. 2000. *Probability, reliability, and statistical methods in engineering design*. New York [etc]: John Wiley & Sons.
- Haldi, F. e Robinson, D. 2010. *Adaptive actions on shading devices in response to local visual stimuli*. *Journal of Building Performance Simulation* Vol. 3, No. 2, June 2010, 135–153.
- Haldi, F., and D. Robinson. 2009. *Interactions with window openings by office occupants*. *Building and Environment* no. 44 (12):2378-2395.2009.03.025.
- Hansen, A.T. 1984. *Moisture problems in houses*. Canadian building digest CBD-23. Retrieved from <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/ibp/irc/cbd/building-digest-231.html>
- Hendron, R.; Engebrecht C. 2010. *Building America research benchmark definition: Updated December 2009*. UNLV.
- Herkel, S., U. Knapp, and J. Pfafferott. 2008. *Towards a model of user behaviour regarding the manual control of windows in office buildings*. *Building and Environment* no. 43 (4):588-600.
- HETUS. 2012. *Harmonised European Time Use Survey 2012* [cited 05-2012 2012]. Available from <http://www.tus.scb.se> [online database version 2.0].
- IEA, International Energy Agency -. 2012. *Annex 55 Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance & Cost (RAP-RETRO)*. www.iea-rapretro.org

- Johansson, Pär;, Simon; Pallin, and Mohammad. Shahriari. 2010. *Risk Assessment Model Applied on Building Physics: Statistical Data Acquisition and Stochastic Modeling of Indoor Moisture Supply in Swedish Multi-family Dwellings*. IEA Annex 55 RAP-RETRO Copenhagen meeting October 25-27, 2010.
- Kalagasidis, Agela Sasic. 2012. *Framework for probabilistic assessment of performance of retrofitted buildings*. IEA Annex 55 RAP-RETRO Copenhagen meeting October 25-27, 2010.
- Kulkarni, Vidyadhar G. 1999. *Modeling, analysis, design, and control of stochastic systems*, Springer Texts in Statistics. New York [etc.]: Springer.
- Maroco, João. 2010. *Análise estatística com utilização do SPSS*. Vol. 3ª ed. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Mayer, Christine; Antretter, Florian. 2011. *User behaviour regarding natural ventilation – state of the art and research needs*. 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011
- Montgomery, Douglas C., and George C. Runger. 1999. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Vol. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons.
- Nicol, J. F., and M. A. Humphreys. 2004. *A stochastic approach to thermal comfort - Occupant behavior and energy use in buildings*.
- Novo, Inês. 2011. *Propriedades higrotérmicas de materiais – construção de base de dados estocásticos para simulação numérica*. Engenharia civil, Feup, Porto.
- Pallin, Simon. 2012. *Probabilistic Risk Assessment of Energy Efficient Retrofitting Techniques - Focus on Multi-family Dwellings and the Effects of Changing Air Movements*, Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Parys, Wout. Saelens, Dirk. Hens, Hugo. 2010. *Coupling of dynamic building simulation with stochastic modelling of occupant behavior in offices – a review-based integrated methodology*. Journal of Building Performance Simulation.
- Rijal, H. B., M. A. Humphreys, and J. F. Nicol. 2009. *Understanding occupant behaviour: The use of controls in mixed-mode office buildings*. Building Research and Information no. 37 (4):381-396.

Roetzel, A., A. Tsangrassoulis, U. Dietrich, and S. Busching. 2010. *A review of occupant control on natural ventilation*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* no. 14 (3):1001-1013.

Rousseau, M.Z. 1984. *Sources of moisture and its migration through the building enclosure*. National Research Council Canada.

Sá, José. 2012. *Influência da estanquidade da envolvente no clima interior da habitação*. Engenharia civil, Feup, Porto.

Yik, F.W.H. Sat, P.S.K. & Niu, J.L. 2004. *Moisture Generation through Chinese Household Activities*. Hong Kong, China: Indoor and Built Environment 2004:13 pp. 115-131.

Yun, G. Y., and K. Steemers. 2008. *Time-dependent occupant behaviour models of window control in summer*. *Building and Environment* no. 43 (9):1471-1482.

Yun, G. Y., P. Tuohy, and K. Steemers. 2009. *Thermal performance of a naturally ventilated building using a combined algorithm of probabilistic occupant behaviour and deterministic heat and mass balance models*. *Energy and Buildings* no. 41 (5):489-499.