

ANABELA GONÇALVES CORREIA DE PAIVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PERICIAL PARA AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS NO INVERNO**

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
GABINETE DE CONSTRUÇÕES CIVIS

- 1991 -

Senhor Professor:
muito obrigado pelo seu
apoio.
A ex-aluna
Anabela

ANABELA GONÇALVES CORREIA DE PAIVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PERICIAL PARA AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS NO INVERNO**

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
GABINETE DE CONSTRUÇÕES CIVIS**

ANABELA GONÇALVES CORREIA DE PAIVA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PERICIAL PARA AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS NO INVERNO**

**Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
para obtenção do Grau de Mestre em Construção de Edifícios.**

Orientador científico: Prof. Dr. Artur Bezelga

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
GABINETE DE CONSTRUÇÕES CIVIS**

624(043)/PAI2/DES vol.1

Universidade do Porto	
Faculdade de Engenharia	
Biblioteca //	
Nº	84031
CDU	624(043)
Data	9 / 7 / 2006

Ao Zé Afonso

Agradecimentos:

Ao Senhor Professor Doutor Artur Bezelga, pela sua orientação, bem como pelas suas sugestões e críticas.

Ao Senhor Professor David Blockley, pelas opiniões formuladas no que respeita à área de Sistemas Periciais.

Aos Senhores Professores Doutores Barbosa de Abreu e Vítor Abrantes, sem o empenhamento dos quais este Curso de Mestrado não teria existido.

Ao Senhor Professor Doutor Fernandes de Carvalho, pela sua amizade, apoio e encorajamento.

Ao Eng. Pedro Pinho, pela sua incansável ajuda na recolha de bibliografia.

Desenvolvimento de um Sistema Pericial Para Avaliação do Comportamento Térmico dos Edifícios no Inverno

Resumo

Neste trabalho é concebido e informatizado, com recurso à tecnologia dos Sistemas Periciais, um modelo para avaliação do comportamento térmico dos edifícios no inverno, aplicável a edifícios de habitação em Portugal Continental.

Este modelo baseia-se no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, que recentemente entrou em vigor, e engloba um processo de melhoria de soluções. Este processo destina-se a aconselhar alterações a projectos de edifícios de habitação não regulamentares, por forma a torná-los regulamentares.

Development of an Expert System to Evaluate the Thermal Quality of Buildings in Winter

Abstract

For residential buildings in Portugal, a model is established to evaluate the thermal quality in winter. It is based on the recently published Regulations for the Thermal Behavior of Buildings.

For designs not up to the regulations standard, guidance is given on modifications that could be made to ensure compliance with the regulations.

An Expert System, implementing the model, was developed.

Índice Geral

ÍNDICE GERAL	I
ÍNDICE DE QUADROS	V
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
 Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	 1
 Capítulo 2 – SISTEMAS PERICIAIS	 4
2.1 – OS SISTEMAS PERICIAIS E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	4
2.2 – A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PERICIAIS	5
2.3 – CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA PERICIAL	6
2.4 – EXEMPLOS DE GERADORES DE SISTEMAS PERICIAIS	9
2.4.1 – Savoir	10
2.4.2 – Crystal	11
2.4.3 – XiPlus	11
2.4.4 – Kappa Pc	11
2.4.5 – Leonardo	12
2.5 – ALGUMAS APLICAÇÕES DE SISTEMAS PERICIAIS NO ÂMBITO DA ENGENHARIA CIVIL	12
2.5.1 – "Fogo: um sistema pericial sobre segurança contra incêndios"	13
2.5.2 – "Projecto de uma base de conhecimentos para apoio a projectos de iluminação"	13
2.5.3 – "Desenvolvimento de um sistema de apoio ao projecto de iluminação: o caso dos espaços interiores"	14

2.5.4 – "THEX: systeme expert d'aide a la conception thermique des maisons individuelles"	14
2.5.5 – "Systeme expert incendie"	14
2.5.6 – "RADA: a knowledge base system for room acoustics design"	14
2.5.7 – "The expert comfort"	15
2.5.8 – "A knowledge based system for the evaluation of wind environmental conditions around buildings"	15
 Capítulo 3 – MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PROJECTOS	 16
3.1 – INTRODUÇÃO	16
3.2 – MÉTODOS ESPECIFICOS PARA EDIFICIOS DE HABITAÇÃO	17
3.2.1 – Método Qualitel	17
3.2.2 – Método SEL	19
3.2.3 – Metodologias e experiências de avaliação da qualidade em Portugal	24
3.2.3.1 – Alguns trabalhos de base realizados no domínio da qualidade	24
3.2.3.2 – O método português	28
3.3 – A APRECIACÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFICIOS	32
3.3.1 – "Apreciação da qualidade térmica de projectos de habitação"	33
3.3.2 – "Regras de qualidade térmica de edifícios"	34
3.3.3 – "A envolvente dos edifícios e a avaliação da sua qualidade"	36
3.3.4 – "Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação"	38
3.3.5 – "Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios"	42
3.3.5.1 – Objectivos	42
3.3.5.2 – Ambito de aplicação	42
3.3.5.3 – Disposições regulamentares	43
3.3.6 – Conforto térmico de inverno no método Qualitel	47
3.3.7 – Conforto térmico de inverno no método SEL	48

Capítulo 4 – ELABORAÇÃO DE UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS NO INVERNO E RECOMENDAÇÃO DE SOLUÇÕES DE MELHORIA	49
4.1 – INTRODUÇÃO	49
4.2 – ESTABELECIMENTO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO	50
4.2.1 – Considerações gerais	50
4.2.2 – Estudo da relação Nic/Ni	53
4.2.3 – Elaboração de tabelas de apoio	54
4.2.3.1 – Tabelas do anexo 1	55
4.2.3.2 – Tabelas dos anexos 2, 3 e 4	62
4.2.4 – Estabelecimento do método	65
4.2.4.1 – Critério de avaliação da razão Nic/Ni	70
4.2.4.2 – Critério de avaliação de Nic	71
4.2.4.3 – Critério de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica	71
4.2.4.4 – Critério de avaliação de f_c para as paredes exteriores	75
4.2.4.5 – Obtenção da nota global.	75
4.2.5 – Utilização do método	76
4.3 – PROCESSO DE MELHORIA DE SOLUÇÕES	76
4.3.1 – Generalidades	76
4.3.2 – "O comportamento dos edifícios face à nova regulamentação portuguesa de térmica"	77
4.3.3 – "O regulamento e as técnicas de construção (soluções construtivas)"	79
4.3.4 – Processo utilizado	81
Capítulo 5 – INFORMATIZAÇÃO DO MODELO	85
5.1 – INTRODUÇÃO	85

5.2 – O GERADOR DE SISTEMAS PERICIAIS LEONARDO	85
5.3 – ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA	89
5.4 – INTRODUÇÃO DE DADOS	91
5.5 – CALCULO DO VALOR DE N_i E N_{ic}	95
5.6 – MELHORIA DE SOLUÇÕES	100
5.7 – CLASSIFICAÇÃO	108
 Capítulo 6 – TESTE DO MODELO	 110
6.1 – INTRODUÇÃO	110
6.2 – MÉTODO DE AVALIAÇÃO	111
6.2.1 – Considerações gerais	111
6.2.2 – Considerações sobre as tabelas do anexo 1	112
6.2.3 – Considerações sobre as tabelas dos anexos 2, 3 e 4	122
6.3 – PROCESSO DE MELHORIA DE SOLUÇÕES	123
6.4 – INFORMATIZAÇÃO DO MODELO	123
 Capítulo 7 – CONCLUSÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	 125
7.1 – CONCLUSÕES FINAIS	125
7.2 – DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	126
 BIBLIOGRAFIA	 128
 APENDICE	

Índice de Quadros

Capítulo 3

Quadro 3.1 – "Classificação de Propostas em Concurso de Concepção–Construção com Base em Critérios Integrados" – índices parciais considerados e respectivos pesos	26
Quadro 3.2 – "Promoção da Qualidade num Concurso de Concepção–Construção de Habitação Social" – critérios gerais de avaliação	29
Quadro 3.3 – "Método Português em Desenvolvimento" – grelha de avaliação provisória	31
Quadro 3.4 – RQTE – valores máximos admissíveis dos coeficientes de transmissão térmica médios K_m dos elementos opacos de construção da envolvente	35
Quadro 3.5 – RQTE – valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica K de elementos opacos da envolvente tendo em vista limitar o risco de condensações superficiais	35
Quadro 3.6 – RQTE – tipos de vãos envidraçados em função das zonas climáticas de inverno	36
Quadro 3.7 – "A Envolvente dos Edifícios e a Avaliação da sua Qualidade" – critério de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica K	37
Quadro 3.8 – "A Envolvente dos Edifícios e a Avaliação da sua Qualidade" – critério de avaliação dos vãos envidraçados	37
Quadro 3.9 – "A Envolvente dos Edifícios e a Avaliação da sua Qualidade" – avaliação da qualidade do desempenho térmico da envolvente relativo ao inverno	38
Quadro 3.10 – "Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação" – critério de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica	40

Quadro 3.11 – "Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação"	
– critério de avaliação dos envidraçados	40
Quadro 3.12 – "Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação"	
– nota da envolvente opaca horizontal	41
Quadro 3.13 – "Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação"	
– nota dos elementos opacos	41
Quadro 3.14 – "Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação"	
– cotação do conforto térmico de inverno	42
Quadro 3.15 – RCCTE – coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis	44
Quadro 3.16 – RCCTE – coeficientes de transmissão térmica de referência	45
Quadro 3.17 – RCCTE – dados climáticos de inverno	46

Capítulo 4

Quadro 4.1 – Esquema do modelo global	51
Quadro 4.2 – Comportamento térmico dos edifícios no Inverno – diagrama em árvore	52
Quadro 4.3 – Valores utilizados para as áreas das tabelas do anexo 1	55
Quadro 4.4 – Valores dos coeficientes de transmissão térmica adoptados na elaboração das tabelas do anexo 1	57
Quadro 4.5 – Organização das tabelas do anexo 1	58
Quadro 4.6 – Reprodução de uma tabela do anexo 1	59
Quadro 4.7 – Organização das tabelas dos anexos 2,3 e 4	65
Quadro 4.8 – Reprodução de uma tabela do anexo 4	66
Quadro 4.9 – Método de Avaliação Proposto – critério de avaliação da razão N_{ic} / N_i	70
Quadro 4.10 – Método de Avaliação Proposto – critério de avaliação de N_{ic}	71
Quadro 4.11 – Método de Avaliação Proposto – critério de avaliação de cada coeficiente de transmissão térmica K	72
Quadro 4.12 – Método de Avaliação Proposto – coeficientes de transmissão térmica limite	72

Quadro 4.13 – Método de Avaliação Proposto – critério de avaliação de fc para as paredes exteriores	75
Quadro 4.14 – "O Regulamento e as Técnicas de Construção" – espessura de isolamento de paredes	80
Quadro 4.15 – "O Regulamento e as Técnicas de Construção" – espessura de isolamento da cobertura	81

Capítulo 5

Quadro 5.1 – Organização geral da base de conhecimentos	90
Quadro 5.2 – Descrição geral do projecto	92
Quadro 5.3 – Envolvente exterior – paredes	93
Quadro 5.4 – Envolvente exterior – envidraçados	93
Quadro 5.5 – Envolvente exterior – cobertura	94
Quadro 5.6 – Envolvente interior – pavimentos	94
Quadro 5.7 – Ficheiro "pardup.dat"	96
Quadro 5.8 – Necessidades nominais específicas de aquecimento	101
Quadro 5.9 – Verificação da satisfação das exigências do regulamento – inverno	101
Quadro 5.10 – Estrutura hierárquica dos elemntos da envolvente	102
Quadro 5.11 – Diagrama de dependências do objecto "melhoria"	104
Quadro 5.12 – Alterações: paredes exteriores	105
Quadro 5.13 – Alterações: cobertura	105
Quadro 5.14 – Alterações: pavimento interior	106
Quadro 5.15 – Alterações: envidraçados verticais	106
Quadro 5.16 – Necessidades nominais específicas de aquecimento – após melhoria	107
Quadro 5.17 – Verificação da satisfação das exigências do regulamento – após melhoria	107
Quadro 5.18 – Diagrama de dependências do objecto "classificacao"	108
Quadro 5.19 – Classificação do projecto	109

Índice de Gráficos

Capítulo 6

Gráfico 6.1– Soluções grupo 1 – zona climática I1	113
Gráfico 6.2– Soluções grupo 2 – zona climática I1	114
Gráfico 6.3– Soluções grupo 3 – zona climática I1	115
Gráfico 6.4– Soluções grupo 1 – zona climática I2	116
Gráfico 6.5– Soluções grupo 2 – zona climática I2	117
Gráfico 6.6– Soluções grupo 3 – zona climática I2	118
Gráfico 6.7– Soluções grupo 1 – zona climática I3	119
Gráfico 6.8– Soluções grupo 2 – zona climática I3	120
Gráfico 6.9– Soluções grupo 3 – zona climática I3	121

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A qualidade na construção constitui uma temática que tem vindo progressivamente, e com aceleração acentuada, a ser objecto de crescente interesse.

Assim, a gestão e a garantia da qualidade, o controle da qualidade, a certificação e outros temas têm vindo a ser aprofundados e adaptados à indústria da construção.

A avaliação da qualidade dos edifícios de habitação é um tema que se poderá integrar nos domínios atrás referidos e tem também vindo a ser objecto de vários estudos.

Há actualmente uma tendência a vários níveis para efectuar a avaliação dos edifícios, não só em termos estruturais, que seria a preocupação dominante anteriormente, mas considerando também todos os restantes aspectos ou rubricas da qualidade.

Em Portugal foi, aliás, iniciado, há algum tempo, o desenvolvimento de um método para avaliação da qualidade de projectos de edifícios de habitação.

A existência de um método de avaliação de qualidade eficiente e fiável poderá sem dúvida contribuir para a melhoria da qualidade de construção, na medida em que poderá estimular todos os intervenientes no processo de construção – entidades financiadoras, promotores, projectistas, empresas construtoras, mediadoras, utilizadores – no sentido de passarem a tomar em consideração aspectos ligados à qualidade e até agora algo ignorados ou considerados de forma imprecisa.

Um dos pontos de vista que foi considerado no método em desenvolvimento referido foi o conforto térmico de inverno. Na dissertação que se apresenta estabelece-se um método de avaliação da qualidade deste ponto de vista, baseado no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE, que entrou em vigor no início deste ano, e na tecnologia dos sistemas periciais.

O sistema começa por classificar a habitação em estudo, dentro de uma grelha de cinco escalões: Insuficiente, Suficiente, Bom, Muito Bom e Excelente. A classificação de Insuficiente é atribuída a habitações que não cumpram as especificações do RCCTE.

No caso de a habitação ser classificada de Insuficiente, ou seja, não cumprir as especificações do RCCTE, o sistema aconselha modificações a efectuar para que estas especificações passem a ser cumpridas.

Para desenvolver este sistema pericial foi utilizado o gerador de sistemas periciais Leonardo. A versão utilizada funciona em computadores IBM-PC compatíveis.

Os sistemas periciais pretendem desempenhar o papel de peritos em áreas restritas do conhecimento. Este estudo pretende, com a informatização do modelo de classificação e melhoria de soluções proposto, dar uma contribuição no sentido de criar uma base de conhecimentos na área de conforto térmico do inverno, base essa que será possível ir aumentando no futuro, dadas as possibilidades de desenvolvimento incremental deste tipo de sistemas.

A informatização poderá ainda ajudar no tratamento de elevados volumes de informação que são de esperar, dado o interesse crescente que a qualidade térmica tem vindo a receber.

O trabalho está estruturado em sete capítulos, um apêndice e quatro anexos. Estes anexos apresentam-se num volume separado.

No capítulo que se segue é feita uma introdução aos sistemas periciais, começando por referir-se a área científica de que derivam, a inteligência artificial, e falando em seguida da sua evolução. Dão-se alguns exemplos de geradores de sistemas periciais, usados em aplicações à engenharia civil, que se referem também a título de exemplos.

O capítulo 3 trata da avaliação da qualidade de projectos. São referidos primeiro aspectos relacionados com a avaliação da qualidade de edifícios de habitação em geral. Neste âmbito fala-se do método francês Qualitel, do método suíço SEL e de trabalhos portugueses, nomeadamente do método português em desenvolvimento. São ainda referidos trabalhos relacionados com a qualidade térmica de edifícios de habitação, com especial destaque para o RCCTE.

No capítulo 4 descreve-se o modelo de avaliação e melhoria de soluções proposto. Este modelo toma em conta resultados de estudos anteriormente realizados nesta área, referidos atrás no capítulo 3, e utiliza como base o RCCTE.

Foram elaboradas tabelas, que se apresentam nos anexos, para auxiliar no desenvolvimento do método de classificação e na aferição dos valores a utilizar como limite para os vários escalões.

O processo de melhoria tem por objectivo aconselhar alterações que permitam tornar regulamentares projectos de edifícios de habitação que não cumpram as especificações do RCCTE.

Este processo procura respeitar as soluções construtivas de base, actuando essencialmente no seu nível de isolamento.

No capítulo 5, é feita a informatização do modelo.

Começa por referir-se o gerador de sistemas periciais utilizado, Leonardo.

É descrita a organização do programa e são apresentados alguns detalhes de implementação. São ainda reproduzidos alguns ecrans e explicado o seu funcionamento.

No apêndice são apresentados extractos da listagem do programa.

No capítulo 6 é feito o teste do modelo apresentado no capítulo 4 e do sistema pericial desenvolvido.

O teste do modelo baseia-se na análise dos resultados da sua aplicação às tabelas dos anexos.

A informatização do modelo é testada por observação dos resultados produzidos pelo programa. Foram utilizadas para teste, entre outras, soluções constantes das várias tabelas.

Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões finais mais importantes e referidos alguns aspectos a desenvolver em trabalho futuro.

Capítulo 2

SISTEMAS PERICIAIS

2.1 – OS SISTEMAS PERICIAIS E A INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Os sistemas periciais são um ramo da inteligência artificial. Esta disciplina surgiu no início dos anos 50, relacionada com estudos de Ciência da Computação e Psicologia. Tem por objectivo levar o computador a desempenhar tarefas normalmente inerentes ao ser humano, como sejam a resolução de problemas, o reconhecimento de imagens, o reconhecimento de sons, a compreensão de linguagem e outras.

Um sistema pericial é um programa de computador que representa e relaciona conhecimentos de uma área especializada, com o objectivo de resolver problemas ou dar conselhos, procurando seguir o método de raciocínio de peritos na área em causa.

Os estudos de Inteligência Artificial começaram por preocupar-se com a realização de programas de jogos e demonstração de teoremas [1]. Acreditava-se nessa época que era possível fazer evoluir esses sistemas por forma a conseguir que eles resolvessem problemas de qualquer dimensão. Veio a verificar-se, no entanto, que não é possível, pelos métodos de busca exaustiva então utilizados, resolver problemas de elevada dimensão, como a maioria dos problemas reais. Este período é geralmente conhecido por período clássico.

Na fase que se lhe seguiu, conhecida por período romântico (1965-1975), os investigadores preocuparam-se sobretudo em fazer com que os computadores fossem capazes de entender linguagem natural, ou subconjuntos apreciáveis desta. Concluiu-se que a representação do conhecimento era um aspecto chave deste problema, tendo surgido importantes resultados neste domínio, como os enquadramentos ("frames") de Minsky.

O período moderno (1975-) é caracterizado por uma mudança de atitude, que se segue à desilusão surgida com os métodos gerais de resolução de problemas. As atenções voltam-se para técnicas e aplicações em domínios restritos do conhecimento, em parte tentando simular o conhecimento profundo que um perito tem da sua área, abrindo assim caminho aos sistemas

periciais. O aumento da importância atribuída aos métodos de representação do conhecimento levou ao aparecimento de sistemas de programação lógica, como a linguagem Prolog {2,3}.

2.2 – A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS PERICIAIS

O primeiro sistema pericial, DENDRAL, foi desenvolvido na Universidade de Stanford para analisar os resultados de análises espectrográficas. Pretendia-se que o sistema detectasse os compostos químicos existentes, simulando o papel de um especialista em espectrografia.

Este sistema teve o mérito de demonstrar que era possível obter resultados satisfatórios ao tentar simular o conhecimento de peritos em áreas restritas do conhecimento.

Inicialmente implementado em ALGOL, o programa era difícil de modificar. Cedo se tornou claro que era necessário separar as regras do mecanismo que define quando e como aplicá-las. Numa segunda versão, DENDRAL foi implementado separando o mecanismo de inferência das regras específicas do domínio em estudo.

Outros sistemas se tornaram famosos na história dos sistemas periciais, como MYCIN e PROSPECTOR.

MYCIN foi também desenvolvido na Universidade de Stanford e é um sistema de ajuda no diagnóstico e tratamento de doenças sanguíneas. O conhecimento é representado por regras da forma "if ... then ..." e o mecanismo de inferência utiliza o processo de encadeamento para trás ("backward chaining"), de que se fala adiante.

PROSPECTOR, desenvolvido pelo SRI (Stanford Research Institute), está ligado à prospecção mineira. O mecanismo de inferência utiliza o processo de "encadeamento para a frente" ("forward chaining") e também o processo de "encadeamento para trás" já usado no MYCIN.

Estes dois sistemas foram ainda pioneiros na introdução de incerteza no domínio dos sistemas periciais. Ambos têm a possibilidade de "explicar" o seu raciocínio, através de um mecanismo que enumera as regras utilizadas para estabelecer determinado resultado.

Os primeiros produtos comerciais no domínio dos sistemas periciais, designados normalmente por ambientes de execução, geradores de sistemas periciais ou conchas ("shells"), resultaram de sistemas periciais aos quais foi retirada a base de conhecimentos. O primeiro exemplo que surgiu foi o EMYCIN, derivado do sistema MYCIN. A concha EMYCIN serviu assim para implementar outros sistemas periciais, em domínios completamente diversos daquele a que o sistema original se destinava.

Existe hoje em dia uma grande quantidade de produtos deste género disponíveis no mercado, alguns dos quais vão ser referidos mais adiante.

2.3 – CARACTERISTICAS DE UM SISTEMA PERICIAL

Como já foi referido, um sistema pericial é um programa de computador que pretende simular o comportamento de um especialista numa área restrita do conhecimento humano.

Dado que o mecanismo de inferência se encontra separado do conjunto de regras que representam o conhecimento, um sistema pericial pode ser construído de forma incremental. A medida que novas regras são incluídas na base de conhecimentos, o sistema vai ficando mais "inteligente".

Ao usar um sistema pericial o utilizador responde geralmente a um conjunto de perguntas, por forma a definir o problema em estudo. O sistema tentará dar resposta a este problema, geralmente apoiado em opções ou sugestões dadas pelo utilizador, numa espécie de diálogo. Ao longo deste diálogo, o sistema é capaz de responder a perguntas do género "porquê ?" ("why ?"), quando interrogado sobre a razão por que põe determinada questão ao utilizador. Quando o sistema encontra resposta para o problema formulado, pode ser-lhe posta a questão "como ?" ("how ?"), à qual o sistema responde geralmente por indicação do caminho percorrido (conjunto de regras e factos da base de conhecimentos que foram utilizados).

Importa referir que um sistema pericial, tal como um perito humano na área, dá geralmente sugestões ou conselhos e não resultados exactos. Isto deve-se a que os sistemas periciais não estão vocacionados para resolver problemas de índole matemática, em que é possível obter soluções exactas, mas sim voltados para modelar áreas em que o conhecimento não se encontra tão bem estruturado, como por exemplo o diagnóstico médico.

Muitos sistemas periciais podem hoje também lidar com incerteza, ou seja, as regras introduzidas no sistema estão associadas a um valor que representa de alguma forma o "peso" ou "importância" de cada uma delas. Desta forma, o sistema pode lidar com informação incompleta e por vezes até contraditória, utilizando cálculo de probabilidades, "fuzzy sets", ou outros métodos adequados.

Podem referir-se algumas diferenças importantes entre um sistema pericial e um programa convencional {4,5}.

Um programa convencional implementa um algoritmo, ou seja, segue um caminho determinístico de resolução; um sistema pericial, pelo contrário, pode encontrar de forma dinâmica quais as regras que deve usar em determinada situação.

A funcionalidade acrescida do sistema pericial provém do facto de o mecanismo de inferência se encontrar separado do conjunto de regras. É o mecanismo de inferência que decide a ordem pela qual as regras vão sendo utilizadas, à medida que o sistema vai trabalhando na resolução do problema.

Pode considerar-se que um programa tradicional processa bases de dados, enquanto um sistema pericial processa bases de conhecimento.

Segundo Peter Brandon e outros [6] os sistemas periciais situam-se a meio caminho entre o processamento de informação altamente estruturada que se obtém utilizando programas tradicionais de computador e o processamento de informação pouco estruturada pelo pensamento humano.

De entre as vantagens de um sistema pericial sobre um perito humano, nos casos em que pode ser utilizado, poder-se-ão enumerar:

- maior consistência de operação (ou seja, o sistema pericial "decide" sempre de forma idêntica em situações idênticas);
- maior eficiência;
- maior rapidez de cálculo e "raciocínio", quando o conhecimento é muito complexo.

De entre as desvantagens destacam-se:

- os sistemas periciais só podem ser usados em áreas de conhecimento bem delimitadas;
- os sistemas periciais não possuem grandes capacidades no campo de reconhecimento de padrões; deste facto decorre que um sistema pericial não consegue facilmente descobrir semelhanças entre objectos que não sejam totalmente idênticos.

Referem-se em seguida os principais elementos constituintes de um sistema pericial [7]:

- uma base de conhecimentos;
- um mecanismo de inferência;
- um compilador;
- uma "interface" com o utilizador.

O saber do sistema pericial está contido na base de conhecimentos. A base de conhecimentos é constituída por factos e regras. Os factos representam informação sobre entidades específicas, como a cor de um semáforo ou o peso de um envelope; esta informação pode variar ao longo da execução do programa. As regras traduzem relações entre entidades ou factos: "se o semáforo está vermelho, então a acção é travar". Estas relações mantêm-se constantes ao longo da execução do programa, sendo utilizadas se o mecanismo de inferência as identifica como necessárias.

Para que o mecanismo de inferência possa "raciocinar" sobre a base de conhecimentos, esta deve estar representada de forma adequada. É função do compilador transformar a base de

conhecimentos para a forma de representação adequada. O compilador deve ainda verificar a consistência da base de conhecimentos, detectando regras contraditórias ou ciclos infinitos.

Nos sistemas periciais a resolução dos problemas é formulada como um problema de procura. O mecanismo de inferência identifica as regras a utilizar. Poderão ser utilizados dois sistemas de encadeamento das regras:

- encadeamento para a frente ("forward chaining");
- encadeamento para trás ("backward chaining").

Para exemplificar considere-se o seguinte conjunto de regras:

regra1:	se cor é vermelho então acção é travar
regra2:	se cor é verde então acção é arrancar
regra3:	se acção é arrancar então efeito é andar
regra4:	se acção é travar então efeito é parar

Admita-se que o valor procurado ("goal"), é o efeito.

Em "encadeamento para a frente" o sistema necessita em primeiro lugar que seja estabelecido o valor da cor. Admita-se que o valor fornecido é verde. A regra2 será utilizada para determinar a acção e em seguida a regra3 para determinar o efeito. O resultado será andar.

Em "encadeamento para trás" o sistema tomará um valor para o efeito, por exemplo parar. Pela regra4 estabelecerá que, para que o efeito seja parar, a acção deverá ser travar; e para que a acção seja travar, pela regra1, a cor deverá ser vermelho. O sistema pedirá então ao utilizador para fornecer o valor da cor. Supondo que a resposta é verde, o sistema poderá concluir que não foi assim possível estabelecer como verdadeiro o facto de que o efeito seria parar. Tentará então outra hipótese, a de o efeito ser andar. Utilizará então as regras regra3 e regra2, concluindo que o efeito é andar.

No primeiro caso, "forward chaining", a sequência teria sido

regra2 -> regra3 - sucesso.

Neste caso, se fossem possíveis mais inferências a partir dos factos estabelecidos, todas seriam detectadas. Por esta razão, o "encadeamento para a frente" é também conhecido por "data driven".

No segundo caso a sequência teria sido

regra4 -> regra1 - insucesso

regra3 -> regra2 - sucesso.

Neste caso, o sistema parte de uma solução possível e tenta ver se existe informação na base de conhecimentos que permita suportá-la. Se esta tentativa falhar, outra solução será tentada. Quando for encontrada uma solução correcta, o sistema termina a busca. Este processo de "encadeamento para trás" é também conhecido por "goal directed"; o sistema indicará apenas uma de várias soluções possíveis.

A "interface" com o utilizador permite a este comunicar com o sistema. Quando o sistema formula uma pergunta ou estabelece um resultado, o utilizador pode colocar as clássicas perguntas "porquê ?" e "como ?".

O sistema responde a "porquê ?" indicando a razão por que precisa de estabelecer determinado valor. Responde a "como ?" indicando quais as regras que lhe permitiram tirar determinada conclusão, começando pela última e recuando no caminho percorrido para estabelecer a conclusão.

Alguns sistemas periciais usam objectos ou enquadramentos ("frames") para representar o conhecimento. Os enquadramentos fornecem a possibilidade de agrupar entidades numa estrutura hierárquica de classes e subclasses. Cada subclasse herda propriedades das classes que estão mais acima na hierarquia.

Os enquadramentos permitem ainda, através das ranhuras ("slots"), definir procedimentos a executar automaticamente quando se verificarem determinadas condições.

Esta forma de representação do conhecimento é hoje utilizada em outras linguagens, não relacionadas directamente com a inteligência artificial, e é também designada por orientada para objectos ("object-oriented").

2.4 - EXEMPLOS DE GERADORES DE SISTEMAS PERICIAIS

Designam-se por geradores de sistemas periciais ou conchas ("expert system shells") as ferramentas comerciais dedicadas à construção de sistemas periciais.

Uma "shell" é geralmente constituída por um mecanismo de inferência, por um compilador e por uma "interface" com o utilizador. É essencialmente um sistema vazio, dentro do qual uma base de conhecimentos pode ser construída.

Dado que já contém uma forma de representação de conhecimento implementada, permite a pessoas com menos conhecimentos sobre esta matéria construir um sistema pericial.

Na construção de um sistema pericial podem estar envolvidas três "entidades":

- o especialista no domínio em estudo;
- o engenheiro do conhecimento ("knowledge engineer");
- o programador do sistema.

O papel do engenheiro do conhecimento é ajudar o especialista a estruturar o seu conhecimento por forma a que o programador possa introduzi-lo no sistema pericial. Este papel pode ser difícil, na medida em que o conhecimento de um perito é em geral baseado na experiência e não num conjunto explícito de regras; não está por isso suficientemente estruturado, sendo o papel do engenheiro do conhecimento ajudar na sua estruturação.

No desenvolvimento de sistemas pouco complexos, os papéis referidos podem ser representados por uma mesma pessoa.

Será apresentada em seguida uma breve referência a alguns geradores de sistemas periciais.

2.4.1 - Savoir

O gerador de sistemas periciais "Savoir" [6] é comercializado pela firma ISI Limited, no Reino Unido, e compõe-se de quatro programas:

- SCOMP, o compilador que transforma a base de conhecimentos construída pelo programador na forma de representação de conhecimento usada pelo sistema;
- PV, que estabelece os valores iniciais e o estado de cada elemento da base de conhecimentos;
- RT, o mecanismo de inferência ("run-time"), que permite consultar o sistema;
- MAKEMESS, que permite fazer alterações ao texto base e às mensagens a emitir pelo RT.

Savoir pode usar "encadeamento para a frente" e "encadeamento para trás". Pode ainda lidar com incerteza, utilizando cálculo de probabilidades.

2.4.2 – Crystal

Este sistema [8], que é comercializado pela firma Intelligent Environments, Ltd, foi implementado utilizando linguagem C.

Usa "encadeamento para trás" e possui um editor de regras que permite construir a base de conhecimentos.

Possui um conjunto de comandos incorporados que permitem a afixação de "menus" e "ecrans" gráficos, que podem ser utilizados em simultâneo com as regras da base de conhecimentos para facilitar o diálogo com o utilizador.

Possui "interfaces" com os programas Lotus123 e DBase.

As aplicações correm depressa e são fáceis de desenvolver.

2.4.3 – XiPlus

Comercializado pela firma Expertech Ltd., XiPlus {9,10} funciona em dois modos, ambiente de consulta e ambiente de desenvolvimento.

Não lida com incerteza e utiliza "encadeamento para a frente" e "encadeamento para trás". Tem poucas capacidades matemáticas. Permite a invocação de programas externos em linguagem C ou Assembly. Pode utilizar valores por defeito e a representação do conhecimento é baseada em regras.

As facilidades de verificação do raciocínio seguido pelo sistema são muito boas. Existe também a possibilidade de reexecutar a base de conhecimentos após ter retirado alguns valores anteriormente estabelecidos, através do comando "whatif".

2.4.4 – Kappa PC

Escrito em linguagem C e comercializado pela companhia americana Intellicorp Inc., este sistema [11] funciona em ambiente MS-Windows.

É apresentado como um sistema orientado para objectos. Também permite programação funcional e raciocínio baseado em regras.

Os objectos são a sua principal forma de representação de conhecimento. Podem ser agrupados numa estrutura hierárquica de classes, subclasses e instâncias. Cada classe pode ser descrita por uma série de características que são herdadas pelos objectos abaixo deste na hierarquia. Cada objecto pode herdar características de uma única classe ("simple inheritance"). A estrutura hierárquica, uma vez estabelecida, não pode ser modificada. Existe a possibilidade de enviar mensagens entre objectos.

O mecanismo de inferência utiliza "encadeamento para trás" ou "para a frente", podendo usar as regras e mensagens.

Não existem facilidades para lidar com incerteza, ainda que seja possível implementá-las na linguagem imbutida no sistema, KAL, ou em linguagem C.

Existem interfaces para DBase e Lotus, além das linguagens C, Fortran e Pascal.

2.4.5 – Leonardo

Comercializado pela empresa Creative Logic Ltd., Uxbridge, Reino Unido, e implementado em Fortran77, o gerador de sistemas periciais Leonardo {12,13} encontra-se disponível em três níveis. O mais completo é o nível 3, usado neste trabalho.

Este sistema usa regras e objectos na representação do conhecimento. Permite usar "encadeamento para a frente" e "encadeamento para trás". Os objectos podem ser agrupados em classes, subclasses e instâncias, podendo um objecto pertencer a mais de uma classe ("multiple inheritance").

O sistema permite lidar com incerteza, com base no cálculo de probabilidades.

Dado que este gerador de sistemas periciais foi utilizado para implementar o modelo que será definido no capítulo 4, a sua apresentação é feita com mais pormenor no início do capítulo 5.

2.5 – ALGUMAS APLICAÇÕES DE SISTEMAS PERICIAIS NO AMBITO DA ENGENHARIA CIVIL

Os sistemas periciais têm vindo a ser aplicados com sucesso em diversas áreas de engenharia, dado que se trata de disciplinas em que o conhecimento está relativamente bem estruturado.

Poderão vir a desempenhar um papel importante na melhoria da qualidade de concepção [14], nomeadamente:

- garantindo que não há esquecimentos, ou seja, que um determinado processo foi seguido correctamente;
- melhorando o rendimento do projectista, libertando-o de tarefas repetitivas e de verificação;
- obtendo um maior número de soluções em resposta a uma especificação.

Vão ser seguidamente apresentados de forma muito breve, apenas alguns exemplos de sistemas periciais no âmbito da engenharia civil. Trata-se com efeito de uma área em franco desenvolvimento, em que existe já um grande número de aplicações, embora muitas delas ainda pouco divulgadas.

Os primeiros três foram desenvolvidos no LNEC e os restantes foram apresentados na conferência CIB-89, "La qualité pour les usagers des batiments a travers le monde".

2.5.1 - "Fogo: um sistema pericial sobre segurança contra incêndios"

Este sistema [8] implementa o regulamento de segurança contra incêndios para edifícios de habitação. O sistema faz perguntas acerca do tipo de edifício, características das suas componentes estruturais, materiais de construção e outros aspectos relevantes sobre a arquitectura do edifício; de posse destes dados, o sistema é capaz de informar o utilizador sobre as infracções detectadas.

Foi usado para implementar este sistema o gerador de sistemas periciais Crystal.

2.5.2 - "Projecto de uma base de conhecimentos para apoio a projectos de iluminação"

Implementado com ajuda do gerador de sistemas periciais XiPlus, este sistema [9] ajuda na concepção da iluminação dos vários espaços físicos que constituem ou rodeiam um edifício. Fornecidas as características da sala, da tarefa a desempenhar e dos utilizadores da sala, o sistema recomenda a iluminância requerida.

2.5.3 – "Desenvolvimento de um sistema de apoio ao projecto de iluminação: o caso dos espaços interiores"

Este trabalho [10] vem no seguimento do anterior e tem por objectivo o estudo e implementação de bases de conhecimentos para apoio a projectos de sistemas de iluminação, no caso de espaços interiores.

Fornecida a caracterização do espaço, a especificação da tarefa visual, a descrição da sala e a descrição dos utilizadores, o sistema indica a iluminância requerida e o tipo de iluminação. Pode ainda aconselhar na escolha do tipo de lâmpada e armadura.

2.5.4 – "THEX: systeme expert d'aide a la conception thermique des maisons individuelles"

Este sistema [15] pode funcionar em dois modos, o de verificação e o de ajuda na concepção.

No primeiro modo o sistema verifica se determinada habitação cumpre as regras estabelecidas pelo regulamento francês de térmica.

No segundo modo o sistema ajuda no projecto, utilizando de início valores por defeito; o utilizador pode depois fazer variar estes valores dentro dos limites regulamentares, de modo a aferir a sua solução.

2.5.5 – "Systeme expert incendie"

Este sistema [16] francês analisa a vulnerabilidade de uma habitação ou de um estabelecimento industrial ou comercial face ao risco de incêndio. Toma em conta as características do edifício e do fenómeno incêndio e propõe soluções óptimas de protecção sob o ponto de vista financeiro (seguro).

2.5.6 – "RADA: a knowledge base system for room acoustics design"

Este sistema [17] ajuda no projecto de salas sob o ponto de vista acústico. Não é um sistema pericial na completa acepção do termo, uma vez que não tem um elevado nível de performance. Permite no entanto, conhecida a descrição de determinada sala, detectar defeitos do ponto de vista acústico e indicar formas de os solucionar.

2.5.7 – "The expert comfort"

Este sistema [18] determina o nível de conforto térmico de edifícios, tendo em conta o tipo de trabalho que aí é realizado. Permite ainda obter aconselhamento no sentido de melhorá-lo.

O modelo utilizado para identificar o nível de conforto baseia-se nas equações de Fanger, tal como são descritas na norma ISO-7730. Estas equações permitem determinar, com base na temperatura do ar, na temperatura média radiante, na humidade do ar, na velocidade do ar, no nível de isolamento do vestuário e no nível de actividade (metabolismo) dos utilizadores, índices indicativos da provável satisfação dos mesmos. Com base nestes índices, o sistema estabelece o nível de conforto do edifício e aconselha possíveis melhorias.

2.5.8 – "A knowledge based system for the evaluation of wind environmental conditions around buildings"

Baseado na configuração do edifício, ambiente que o rodeia e características dos ventos, este sistema [19] permite identificar situações em que a qualidade ambiental é deteriorada por efeito dos ventos nas proximidades de edifícios altos. O sistema dá ainda sugestões no sentido de melhorar a situação.

A base de conhecimentos foi elaborada a partir de regras derivadas de simulações realizadas em túneis de vento.

Capítulo 3

MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PROJECTOS

3.1 – INTRODUÇÃO

Os métodos de avaliação da qualidade ou do custo/qualidade de projectos, em uso em vários países, foram estudados e classificados por Bezelga {20,21}, que os agrupa, de acordo com o seu grau de generalidade, em métodos gerais, métodos gerais no domínio dos edifícios e métodos específicos para edifícios de habitação.

São considerados métodos gerais os métodos aplicados não só em edifícios mas também em muitos outros tipos de empreendimentos como, por exemplo, aeroportos, estradas ou qualquer outro tipo de empreendimento ou solução. Como métodos gerais são referidos:

- métodos de análise custo/benefício;
- métodos de análise custo eficácia;
- métodos de análise multicritério;
- métodos de análise do valor;
- métodos do custo global.

Os métodos gerais no domínio dos edifícios destinam-se a avaliar a qualidade de projectos de edifícios, ou elementos de construção, e são geralmente baseados em listas de exigências funcionais ou nos métodos gerais para quaisquer tipos de edifícios.

Os métodos específicos para edifícios de habitação, que serão objecto deste trabalho, são processos específicos para edifícios de habitação, que se apoiam geralmente em listas de exigências funcionais e em métodos gerais.

Neste capítulo vão ser referidos de modo breve dois destes métodos, o método francês Qualitel [22] e o método suíço SEL [23]. Vão ser ainda referidos trabalhos realizados em Portugal,

com especial destaque para o método que tem vindo a ser desenvolvido [24]. Os métodos Qualitel e SEL têm sido aplicados em larga escala nos respectivos países e têm tido influência no estabelecimento do método português.

Como é objectivo deste trabalho estabelecer um método de avaliação do comportamento térmico dos edifícios no inverno, vai ainda ser feita referência a trabalhos realizados neste domínio no nosso país e uma muito breve abordagem das rubricas relacionadas com o conforto térmico de inverno dos métodos SEL e Qualitel.

3.2 – MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

3.2.1 – Método Qualitel

Como já foi referido, trata-se de um método francês de avaliação da qualidade de projectos de edifícios de habitação [22].

Começou a ser aplicado em 1974 e desde essa altura já sofreu várias actualizações.

Os autores do método chamaram rubricas aos aspectos que consideraram mais importantes para a avaliação da qualidade das habitações. Foram estabelecidas 15 rubricas, as quais devem ser sujeitas a avaliação, sendo a maior parte relativas à qualidade funcional e as restantes aos custos de exploração e conservação do edifício.

Passam a enumerar-se as rubricas relativas à qualidade funcional:

- instalação de elevadores;
- revestimentos das zonas de circulação nas partes comuns do edifício;
- possibilidade de instalação de equipamento doméstico;
- revestimentos de pavimentos e revestimentos de paredes dos compartimentos húmidos;
- abastecimento de água; peças sanitárias;
- instalação eléctrica;
- protecção contra ruídos emitidos no interior do edifício;
- protecção contra ruídos emitidos no exterior do edifício;
- conforto térmico de inverno;
- conforto térmico de verão;
- evacuação de lixos domésticos;

As rubricas relativas aos custos de exploração e conservação são as seguintes:

- custos de conservação de fachadas e coberturas;
- consumo de energia de aquecimento;
- custos de exploração e conservação de elevadores;
- equipamentos influenciando os custos de exploração e conservação.

Para se fazer a avaliação da qualidade de cada uma das rubricas foi necessário, em geral, dividi-las em subrubricas, cada qual avaliando uma faceta da rubrica em estudo. A avaliação de cada rubrica ou subrubrica é feita através de uma nota que pode variar de 1 a 5, de acordo com a seguinte correspondência:

nota	qual. funcional	custos de expl. e conservação
1	insuficiente	dispendiosos
2	média	razoavelmente dispendiosos
3	boa	razoavelmente económicos
4	muito boa	económicos
5	excelente	muito económicos

Para a avaliação de cada uma das rubricas ou subrubricas podem ser usados quatro processos diferentes:

- avaliação directa;
- avaliação por quadros de dupla entrada;
- avaliação segundo grafos;
- quadros de cálculo de médias ponderadas.

Feita a avaliação de todas as rubricas, obtém-se para cada uma delas uma nota; a este conjunto de rubricas/notas chama-se "perfil Qualitel". Não se obtém pois uma nota global. Isto dá a possibilidade de o utilizador "valorizar" as rubricas de acordo com as suas preferências.

Ao estabelecer a nota de uma rubrica, este método não permite a compensação de notas baixas com notas altas. Exemplificando: uma rubrica em que uma subrubrica tem nota 1 terá também nota 1, independentemente das notas das restantes subrubricas.

A determinação do "perfil Qualitel" é feita por um avaliador da "Association Qualitel", na fase de projecto, a pedido do requerente que em geral é o dono da obra. Se a "Association Qualitel" assim o entender, ou lhe for pedido, depois da obra concluída, poderá ser determinado

um indicador final, que serve para verificar se o edifício construído está de acordo com o projecto submetido a avaliação.

3.2.2 – Método SEL

O método SEL, "Système d'Évaluation de Logements" {23,25}, resultou de trabalhos iniciados já nos anos 60. Com a entrada em vigor em 1974 de legislação do Estado Suíço que incentivava a construção e aquisição de habitação própria, o método SEL passou a ser utilizado para avaliar os edifícios a financiar.

Este método é constituído por um conjunto de exigências mínimas e por 66 critérios de avaliação.

As exigências mínimas avaliam os aspectos seguintes:

- M1 – área habitável mínima
- M2 – dimensão da habitação e distribuição dos espaços
- M3 – equipamento sanitário e de cozinha
- M4 – isolamento acústico e térmico
- M5 – habitações destinadas a pessoas idosas e deficientes.

As habitações que cumpram os valores impostos por estas exigências poderão ser avaliadas pelos critérios indicados.

Estes critérios, 66, são geralmente considerados suficientes para avaliar qualquer habitação. No entanto, em casos especiais, critérios adicionais são ainda utilizados.

Apresentam-se em seguida os 66 critérios, agrupados da seguinte forma:

- critérios relativos à habitação:
 - possibilidade de instalação de mobiliário;
 - comunicações entre espaços;
 - possibilidade de transformação;
 - exigências fisiológicas e funcionais;
- critérios relativos ao meio envolvente próximo:
 - possibilidade de escolha;
 - circulações;
 - equipamentos no edifício;

- equipamentos no exterior;
- critérios relativos ao local de implantação:
 - possibilidade de ocupação dos tempos livres;
 - equipamentos colectivos;
 - instrução, serviços sociais e transportes públicos.

habitação: possibilidade de instalação de mobiliário

- B 1 área dos espaços individuais
- B 2 área dos espaços comuns
- B 3 área dos prolongamentos exteriores
- B 4 área da cozinha
- B 5 área dos sanitários
- B 6 área das zonas de circulação
- B 7 área de arrumos
- B 8 largura dos espaços individuais
- B 9 largura dos espaços comuns
- B 10 largura dos prolongamentos exteriores
- B 11 largura da cozinha
- B 12 largura dos sanitários
- B 13 largura da zona de entrada
- B 14 paredes móveis nos espaços individuais
- B 15 paredes móveis nos espaços comuns
- B 16 paredes móveis na cozinha
- B 17 paredes móveis nas zonas de circulação

habitação: comunicações entre espaços

- B 18 ligação entrada-cozinha
- B 19 ligação entrada-sanitários
- B 20 ligação entrada-espaços comuns
- B 21 ligação entrada-espaços individuais
- B 22 ligação espaços individuais-sanitários

- B 23 ligação cozinha-local de refeições
- B 24 ligação com os prolongamentos exteriores

habitação: possibilidade de transformação

- B 25 repartição dos espaços individuais
- B 26 repartição do espaço comum
- B 27 separações móveis
- B 28 divisórias não portantes
- B 29 modificação do tamanho da habitação

habitação: exigências fisiológicas e funcionais

- B 30 equipamento sanitário
- B 31 plantação nos prolongamentos exteriores
- B 32 janelas nas zonas de estar
- B 33 janelas na cozinha
- B 34 janelas nos sanitários
- B 35 insolação dos espaços individuais
- B 36 insolação dos espaços comuns e exteriores
- B 37 isolamento acústico de espaços contíguos
- B 38 isolamento acústico no interior

meio envolvente: possibilidade de escolha

- B 39 escolha de habitação na mesma caixa de escada
- B 40 escolha de habitação no mesmo meio envolvente

meio envolvente: circulações

- B 41 zonas de estacionamento para automóveis
- B 42 entrada do edifício

- B 43 distribuição interna do edifício
- B 44 acesso à entrada do edifício

meio envolvente: equipamentos no edifício

- B 45 locais de arrumo no exterior
- B 46 locais de arrumo de velocípedes
- B 47 lavandaria e estendal
- B 48 locais comuns polivalentes

meio envolvente: equipamentos no exterior

- B 49 local de jogos para crianças pequenas
- B 50 local de jogos para crianças
- B 51 possibilidade de jardinagem e criação de animais

local de implantação: possibilidade de ocupação dos tempos livres

- B 52 centro de tempos livres
- B 53 local de jogos de construção
- B 54 local de jogos do bairro
- B 55 parque público
- B 56 piscina pública
- B 57 floresta pública
- B 58 caminhos pedestres e para passeios
- B 59 lagos ou cursos de água públicos

local de implantação: equipamentos colectivos

- B 60 centro da aldeia ou bairro
- B 61 centro regional

local de implantação: instrução, serviços sociais e transportes públicos

- B 62 jardim de infância
- B 63 escola primária
- B 64 estabelecimentos escolares regionais
- B 65 equipamento em serviços sociais
- B 66 distância até à paragem mais próxima

É atribuída uma nota a cada um dos critérios apresentados nos quadros anteriores numa escala de 0 a 4, em que a primeira nota corresponde à não satisfação do objectivo ou à sua satisfação de acordo com as exigências mínimas regulamentares e a nota 4 corresponde à completa satisfação do objectivo.

A atribuição destas notas é feita com base em funções de transformação ou listas escalonadas de exigências.

A nota final, valor de utilização (VU) é calculado pela expressão

$$VU = \sum_{i=1}^{66} n_i \times p_i,$$

em que n_i é a nota do critério i e p_i é o coeficiente de ponderação atribuído ao critério i .

Este coeficiente de ponderação traduz a "importância" do critério a que respeita.

Este método permite ainda a determinação de uma relação custo-valor de utilização.

Para determinar este valor utilizam-se:

- W1 : valor de utilização da habitação (critérios B1 a B38);
- W2 : valor de utilização do meio envolvente próximo (critérios B39 a B51);
- W3 : valor de utilização do local de implantação (critérios B52 a B66);
- custo de construção;
- custo do terreno.

Para encontrar a relação custo/valor de utilização, W1+W2 é comparado com o custo de construção e W3 com o custo do terreno.

Comparando este método com o método Qualitel, é de referir:

– o método SEL atribui uma nota final a cada habitação; há compensação de notas fracas de alguns critérios pelas boas de outros, coisa que não acontece no método Qualitel. De notar, no entanto, como já foi referido, que este critério só é aplicado a habitações que satisfaçam um conjunto mínimo de exigências.

– no método Qualitel a qualidade de uma habitação é avaliada sob o ponto de vista tecnológico, isto é, é avaliada a capacidade dos equipamentos e aspectos construtivos responderem às solicitações impostas pela utilização da habitação; no método SEL a qualidade de uma habitação é avaliada segundo a capacidade dos seus espaços e a sua localização responderem às exigências dos utilizadores em relação à execução das várias actividades domésticas.

3.2.3 – Metodologias e experiências de avaliação da qualidade em Portugal

O conceito de qualidade de edifícios tem vindo a evoluir, também em Portugal, no sentido de abranger não só o aspecto estrutural mas também outros aspectos, como por exemplo o conforto que poderá proporcionar aos futuros utilizadores ou a versatilidade funcional dos espaços, entre muitos outros.

Foram já desenvolvidos no nosso país diversos trabalhos relacionados com a avaliação da qualidade de edifícios, em termos de avaliação global, nomeadamente no LNEC e, também, nas Universidades do Porto e Lisboa (FEUP e IST). Referem-se em seguida alguns deles, que não constituem, de forma alguma, uma análise exaustiva (deixando de fora, entre vários outros, a "Apreciação das Propostas a Concurso de Habitação Social 'Aveiro-Santiago'" e a apreciação de múltiplos edifícios escolares realizadas pelo LNEC).

3.2.3.1 – Alguns trabalhos de base realizados no domínio da qualidade

Em 1971 Ruy Gomes [26] elaborou um conjunto de exigências funcionais que as habitações deveriam satisfazer. Essa exigências dividiam-se em cinco grandes grupos:

- de segurança;
- de saúde;
- de conforto;
- de satisfação;

- de economia.

Algumas destas exigências referiam-se não só à habitação, mas também ao seu enquadramento.

Ainda que este conjunto de exigências não constituísse um método de avaliação da qualidade, eram já aqui referidos de forma sistemática alguns dos requisitos a que as habitações deveriam obedecer.

Mais tarde, no âmbito da lei do arrendamento urbano em preparação em 1978, foi elaborada a "Classificação e Qualificação de Habitações do Parque Habitacional do País - Habitações Novas", conjuntamente pelo LNEC [27] e pelo Gabinete de Estudos e Planeamento do MHOP [28]. Este estudo nunca chegou a ser aplicado na prática, uma vez que o projecto lei foi abandonado. São apresentados em seguida os critérios classificativos aí considerados:

- situação legal e regulamentar do prédio a que pertence a habitação;
- classificação e indexação da qualidade funcional:
 - tipo de edifício onde se integra a habitação;
 - localização da habitação por andares;
 - exposição das paredes exteriores da habitação;
 - aproveitamento da área da habitação pela relação A_u/A_h ;
- classificação e indexação da qualidade construtiva:
 - condições estruturais e construtivas do edifício onde se integra a habitação;
 - tipo de paredes exteriores da habitação;
 - tipo de cobertura da habitação;
 - qualidade dos acabamentos;
- classificação e indexação da qualidade urbanística:
 - categoria administrativa do aglomerado urbano onde se localiza o prédio a que pertence a habitação;
 - qualidade do ambiente construído na proximidade da habitação.

Em 1985 Vasconcelos de Paiva [29] estabeleceu um critério com vista à apreciação e classificação de propostas a um concurso de fornecimento e montagem de edifícios escolares prefabricados leves. Foram usados dois critérios, um eliminatório e outro de classificação.

Este último atribuía às propostas um índice global resultante da soma ponderada de cinco índices, assim designados:

- P1 - índice de custo
- P2 - índice de confiança

P3 – índice de qualidade funcional

P4 – índice de durabilidade

P5 – índice de recuperabilidade.

Estes índices são calculados com base em índices parciais, como se mostra no quadro que se reproduz em seguida.

Quadro 3.1

"Classificação de Propostas em Concurso de Concepção–Construção com Base em Critérios Integrados" [29]

índices parciais considerados e respectivos pesos

Índices P_i	Índices parciais	Características	Pesos parciais	Peso total
P_1	—	Custo	—	40
P_2	P_{2a}	Referências de realizações para outros donos-de-obra	2	5
	P_{2b}	Grau de satisfação em obras anteriores para o mesmo dono-de-obra	3	
P_3	P_{3a}	Suplemento de área	4	25
	P_{3b}	Segurança contra o risco de incêndio	2	
	P_{3c}	Estanquidade à água	3	
	P_{3d}	Inércia térmica	2	
	P_{3e}	Isolamento térmico das fachadas	2	
	P_{3f}	Isolamento térmico das coberturas	2	
	P_{3g}	Protecção solar dos vãos	2	
	P_{3h}	Isolamento acústico das paredes entre salas de aula	4	
	P_{3i}	Facilidade de suspensão de equipamento	2	
	P_{3j}	Aspecto	2	
P_4	P_{4a}	Durabilidade dos materiais básicos	8	20
	P_{4b}	Durabilidade dos acabamentos	4	
	P_{4c}	Durabilidade das caixilharias	2	
	P_{4d}	Durabilidade das instalações e equipamentos	4	
	P_{4e}	Facilidade de reparação	2	
P_5	P_{5a}	Facilidade de desmontagem e de 2 ^a montagem	4	10
	P_{5b}	Grau de recuperabilidade	6	
				100

Um outro documento de relevo, "Recomendações Técnicas para a Habitação Social", RTHS, [30], indica alguns princípios e disposições a serem observados no projecto de habitações sociais, mas que poderão ser aplicados a outros tipos de habitação. Sumariando, são referidos nesse documento os seguintes aspectos:

- empreendimento habitacional:
 - localização;
 - enquadramento urbanístico;
 - solução urbanística;
 - disposições complementares;
- edifício:
 - disposições gerais;
 - fogos e suas dependências;
 - espaços comuns;
 - disposições complementares;
- construção:
 - disposições gerais;
 - exigências de segurança;
 - exigências de habitabilidade;
 - exigências de durabilidade;
 - construção em geral;
 - elementos primários;
 - elementos secundários;
 - acabamentos;
 - equipamento da habitação;
- instalações e equipamentos dos edifícios:
 - instalações de água;
 - instalações de esgotos;
 - instalações de gás;
 - instalações eléctricas;
 - instalações telefónicas;
 - instalações de antena colectiva;

- instalações de elevadores eléctricos;
- instalações de ventilação mecânica;
- disposições complementares.

É de mencionar que este documento teve marcada influência no método português em desenvolvimento.

Finalmente refere-se um método geral de avaliação de propostas a um concurso de concepção-construção de cerca de 2000 fogos de habitação social, elaborado conjuntamente pela Comissão Liquidatária do Fundo de Fomento da Habitação e pela Universidade Técnica de Lisboa [31], com base nas RTHS, cujas recomendações foram geralmente tomadas como valores mínimos.

Este método inclui a determinação de um índice de qualidade global, para a obtenção do qual é necessário determinar o índice de qualidade global dos edifícios (que inclui a qualidade formal/estética) e o índice de qualidade técnica da solução urbanística. Outros aspectos são ainda tidos em conta para avaliação das propostas, como resumidamente se mostra no quadro 3.2, na página seguinte.

A classificação final de cada projecto é obtida pelo somatório dos produtos dos factores de ponderação de cada rubrica pelas respectivas classificações.

3.2.3.2 – O método português

Foi objecto de um certo desenvolvimento e reflexão, a pedido da AICCOPN, um método de avaliação da qualidade de edifícios de habitação, elaborado conjuntamente pela FEUP e pelo UTL/IST, com o objectivo de promover a melhoria da qualidade das habitações [24].

Baseado em parte nos métodos SEL, Qualitel e trabalhos portugueses neste domínio, nomeadamente nos já referidos, pretende respeitar as seguintes linhas mestras:

- avaliação da qualidade das habitações através de um "perfil de qualidade";
- avaliação da qualidade das habitações em termos globais, isto é, através da avaliação simultânea de aspectos arquitectónicos ou funcionais e de aspectos construtivos e ainda alguns aspectos económicos como custos de manutenção e de exploração;
- simplicidade de avaliação, de tal modo que possa ser aplicado em escala significativa e com custos moderados;
- fornecer resultados sem sofrer influência das pessoas que procedam à avaliação;

Quadro 3.2

"Promoção da Qualidade num Concurso de Concepção-Construção de Habitação Social" [31]
critérios gerais de avaliação

1	CUSTO DE CONSTRUÇÃO (do conjunto dos edifícios)		
2	VARIAÇÃO DO PRAZO EM RELAÇÃO AO PRAZO MÉDIO		
3	EXPERIENCIA ANTERIOR DA EMPRESA		
4	ÍNDICE DE QUALIDADE GLOBAL (do conjunto dos edifícios incluindo variação da solução urbanística)		
	4.1	ÍNDICE DE QUALIDADE GLOBAL DO CONJUNTO DOS EDIFÍCIOS (incluindo variação solução urbanística)	
		4.1.1	ÍNDICE DE QUALIDADE GLOBAL DO CONJUNTO DOS EDIFÍCIOS (excluindo os aspectos formais estéticos)
		a)	QUALIDADE DAS SOLUÇÕES ARQUITECTÓNICAS
		a.1	Qualidade dos espaços
		a.1.1	Qualidade dos espaços do conjunto dos fogos
		a.1.2	Qualidade dos espaços comuns
		a.2	Qualidade estética
		a.3	Possibilidade de transformação
		a.3.1	Possibilidade de alteração da compartimentação do fogo
		a.3.2	Possibilidade de alteração e junção de espaços vizinhos
		b)	QUALIDADE CONSTRUTIVA
		b.1	Edifício como um todo
		b.2	Elementos primários
		b.3	Elementos secundários
		b.4	Acabamentos
		b.5	Equipamentos dos fogos
		b.6	Instalações
		c)	ECONOMIA E RACIONALIDADE DAS SOLUÇÕES
		c.1	Despesas de conservação (durabilidade dos materiais e soluções construt./Adequação a critérios de economia de conserv.)
		c.2	Racionalidade geométrica das soluções de projecto
		c.3	Homogeneidade das soluções
		c.4	Normalização de componentes e modulação das soluções
	4.1.2	ÍNDICE DE QUALIDADE FORMAL / ESTÉTICA DO CONJUNTO	
	4.2	ÍNDICE DE QUALIDADE TÉCNICA DA SOLUÇÃO URBANÍSTICA (em face da variação em relação a solução de base preconizada p/câmara)	

- capacidade de ser aplicado aos mais variados tipos de habitações, em termos de níveis de qualidade;
- tomar em consideração os regulamentos portugueses respeitantes a exigências e características das habitações;
- fornecer resultados sob a forma de um perfil facilmente entendido pelos utilizadores;
- concepção que permita a fácil evolução do método.

Tomando em atenção todos estes aspectos, foi elaborada em 1988 a 1ª Proposta de Estrutura Geral de Avaliação, que define em linhas gerais a estrutura do método a implementar.

Ainda se encontra por decidir se o método deverá incluir aspectos relacionados com o equipamento social e urbano da zona de implantação da habitação, ou apenas aspectos relacionados com o empreendimento e o edifício em si.

O método designa por pontos de vista ou rubricas as principais características a avaliar num projecto de um edifício de habitação.

Ao escolher cada um dos pontos de vista tentou-se que fossem:

- "independentes entre si", isto é, representando aspectos qualitativos da habitação pouco relacionados entre si;
- susceptíveis de "medida" numa dada escala de valores por qualquer pessoa familiarizada com o método, de tal modo que sejam obtidos sempre os mesmos resultados, independentemente da pessoa que faça a sua aplicação (o que justifica que alguns pontos de vista tivessem de ser eliminados, como foi o caso de "aparência estética");
- ajustados e medidos de acordo com a situação portuguesa real, no que respeita à construção de edifícios e ainda de acordo com os hábitos portugueses.

Na escolha do número de pontos de vista a avaliar foi ponderado o facto de a capacidade de análise do utilizador diminuir com o aumento do número de pontos de vista. Por outro lado, quanto maior é o número de pontos de vista mais precisa se torna a avaliação. Chegou-se à conclusão de que até cerca de 20 pontos de vista a capacidade de análise ainda é aceitável [32].

No método em desenvolvimento são considerados 23 pontos de vista. Reproduz-se no quadro 3.3 a grelha de avaliação provisória.

Quadro 3.3

"Método Português em Desenvolvimento"
grelha de avaliação provisória [24]

A — QUALIDADE ARQUITECTÓNICA			
1 — ESPAÇOS PRIVADOS			
1.1 Espaços			
1.1.1	SALA		
1.1.2	QUARTOS		
1.1.3	COZINHA		
1.1.4	CASAS DE BANHO		
1.1.5	OUTROS ESPAÇOS		
1.2 Relações entre Espaços			
1.3 Adaptabilidade e Flexibilidade			
2 — ESPAÇOS COMUNS			
B — QUALIDADE CONSTRUTIVA			
3 — ELEMENTOS de CONSTRUÇÃO		3 — EXIGÊNCIAS de HABITABILIDADE	
3.1 Elementos Primários		3.1 Estanquidade	
3.1.1	PAREDES EXTERIORES		
3.1.2	PAREDES INTERIORES		
3.1.3	PAVIMENTOS E COBERTURA		
3.2 Elementos Secundários		3.2 Vent. e Evac. de Fumos	
3.2.1	VÃOS INTERIORES		
3.2.2	VÃOS EXTERIORES		
		3.3 Conforto Térmico de Inverno	
		3.4 Conforto Térmico de Verão	
		3.5 Conforto Acústico-Ruídos Ext.	
		3.6 Conforto Acústico-Ruídos Int.	
		3.7 Conforto Visual	
4 — ACABAMENTOS			
4.1 Acabamentos do Fogo			
4.2 Acabamentos Exteriores ao Fogo			
5 — EQUIPAMENTO do Fogo			
5.1 Cozinha e Tratamento de Roupas			
5.2 Casas de Banho			
6 — INSTALAÇÕES			
6.1 Águas e Esgotos			
6.2 Elétricas			
6.3 Elevadores			
6.4 Outras			
C — CUSTOS DIFERIDOS E DURABILIDADE			

Os pontos de vista podem ser divididos em três grandes grupos:

- A - qualidade arquitectónica;
- B - qualidade construtiva;
- C - custos diferidos e durabilidade.

No grupo A o ponto 3 pode ser analisado quanto a "elementos de construção" e "exigências de habitabilidade", os quais em certa medida se sobrepõem; por isso, depende do utilizador serem avaliados ambos os pontos de vista ou apenas um deles.

Feita a avaliação de todos os pontos de vista, obtém-se o chamado "perfil de qualidade", que é constituído pela nota de cada um dos pontos de vista. Pela leitura do perfil o utilizador poderá avaliar a qualidade do projecto de um dado edifício de habitação e, comparando os perfis de vários projectos, poderá fazer a sua escolha de acordo com as suas preferências.

Para determinar a nota de cada ponto de vista ou rubrica é proposto que essa rubrica seja subdividida em subrubricas e estas eventualmente ainda desagregadas por um processo em árvore. A nota de cada rubrica será depois obtida por combinação das notas das respectivas subrubricas. É sugerido ainda que esta combinação seja feita através de tabelas de entrada simples ou dupla, funções de transformação ou gráficos de entrada múltipla.

Da comparação deste método com os métodos Qualitel e SEL, pode concluir-se que o grupo A apresenta mais semelhanças com o método SEL, pois está mais ligado a preocupações como a capacidade dos espaços e a sua localização. As rubricas do grupo B apresentam maior semelhança com o método Qualitel. Embora influenciado por estes dois métodos o método proposto deverá ter características próprias que deverão reflectir os seus objectivos e os regulamentos do nosso país.

3.3 - A APRECIACÃO DA QUALIDADE TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

Desde há já bastante tempo que em Portugal se vem prestando muita atenção à apreciação da qualidade térmica dos edifícios, tentando-se por um lado regulamentá-la e por outro avaliá-la. Referem-se seguidamente, por ordem cronológica, alguns trabalhos que se debruçam sobre a avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação e ainda as "Regras de Qualidade Térmica de Edifícios" e o "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios".

Por fim abordar-se-ão as rubricas relacionadas com o conforto térmico de inverno dos métodos Qualitel e SEL.

3.3.1- "Apreciação da qualidade térmica de projectos de habitação"

Em 1977, Vítor Abrantes publicou um trabalho em que definiu parâmetros para caracterização do comportamento térmico de edifícios de habitação, com base em estudos do "Centre Scientifique et Technique du Batiment", Paris, e do LNEC, com o título de "Apreciação da Qualidade Térmica de Projectos de Habitação" [33].

Só se vai referir aqui a parte deste estudo que respeita à qualidade térmica de inverno.

Para a avaliação da qualidade térmica de inverno o autor propõe a utilização de três parâmetros que possam por si e em conjunto fornecer a maior quantidade de informação sobre a qualidade térmica da habitação. Estes parâmetros, que podem ser classificados de mau, suficiente ou bom, são os seguintes:

- coeficiente volumétrico de perdas térmicas (G);
- isolamento das partes opacas (Kg);
- isolamento e permeabilidade ao ar das partes envidraçadas.

Para avaliação dos dois primeiros, os valores de G e Kg são comparados com valores de referência que o autor indica, os quais variam de acordo com a zona climática e com a classe em que a habitação está classificada.

As zonas climáticas referidas baseiam-se nas cartas climáticas elaboradas pela "Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction", UEAtc.

A distribuição das habitações por classes é baseada no facto de a habitação ser independente ou não, no valor da razão entre a superfície horizontal em contacto com o exterior, terreno ou local não aquecido e a superfície habitável, e ainda no volume habitável.

Para a avaliação do isolamento e permeabilidade ao ar das partes envidraçadas são recomendadas características mínimas para cada zona climática. A classificação a atribuir ao parâmetro depende de a solução utilizada ser inferior, igual ou superior à solução recomendada.

A nota global a atribuir à habitação obtém-se por soma ponderada das notas dos vários parâmetros, de verão e de inverno.

3.3.2 – "Regras de qualidade térmica de edifícios"

Estas regras, RQTE, foram elaboradas por uma comissão criada pelo Conselho de Ministros 56/83, que foi encarregada de apresentar um projecto de regulamento das condições térmicas dos edifícios e das suas instalações especiais [34].

As regras deveriam ser aplicadas a todos os edifícios a construir ou que sofressem remodelações profundas, à excepção dos edifícios que devessem permanecer durante longos períodos abertos. Tinham como objectivo definir as condições que estes edifícios deveriam satisfazer para que as exigências do conforto térmico de Verão e de Inverno fossem asseguradas sem grande consumo de energia.

Neste documento é efectuada o zonamento climático do País em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3). As zonas climáticas de Inverno foram estabelecidas com base nos graus-dias de aquecimento e na temperatura exterior de cálculo (temperatura mínima absoluta do ar com a probabilidade de 50% de ser atingida ou ultrapassada inferiormente).

Com vista a limitar a energia de aquecimento, são definidos os valores máximos admissíveis dos coeficientes de transmissão térmica médios dos elementos opacos de construção, K_m , para diferentes zonas climáticas, que se apresentam no quadro 3.4.

Também são impostos valores máximos do coeficiente de transmissão térmica, K , de elementos opacos da envolvente tendo em vista limitar o risco de condensações superficiais, listados no quadro 3.5.

As características dos vãos envidraçados são função da sua exposição e dimensão face à área de pavimento e ainda da zona climática. As soluções recomendadas apresentam-se no quadro 3.6.

É ainda recomendado que as áreas dos vãos envidraçados voltados a Sul sejam da ordem dos 25% a 30% da área do pavimento, enquanto os voltados a Norte não deverão em regra ultrapassar os 15% da área do pavimento.

Quadro 3.4

RQTE

valores máximos admissíveis dos coeficientes de transmissão térmica médios K_m dos elementos opacos de construção da envolvente
($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

elemento da envolvente		zona climática		
		11	12	13
paredes pesadas ($> 100 \text{ kg/m}^2$):	empenas	1,35	0,95	0,70
	fachadas	1,35	1,35	1,35
paredes leves ($< 100 \text{ kg/m}^2$):	empenas	0,70	0,70	0,70
	fachadas	1,00	1,00	1,00
pavimentos (sobre passagem aberta)		1,00	0,70	0,50
coberturas (conjunto cobertura/tecto)		1,00	0,70	0,50

Quadro 3.5

RQTE

valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica K de elementos opacos da envolvente tendo em vista limitar o risco de condensações superficiais
($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

elemento da envolvente	zona climática		
	11	12	13
coberturas (conjunto cobertura/tecto)	2,70	2,10	1,80
paredes	2,20	1,75	1,45
pavimentos (sobre passagem aberta)	1,45	1,15	0,95

Quadro 3.6

RQTE

tipos de vãos envidraçados em função das zonas climáticas de inverno

exposição e dimensão dos vãos	zona climática		
	11	12	13
Nascente, Sul e Poente	vidro simples ocultação nocturna	vidro simples boa ocultação nocturna	vidro simples boa ocultação nocturna
Norte área vão $\leq 15\%$ Ap:	vidro simples boa ocultação nocturna	vidro simples boa ocultação nocturna	vidro duplo ocultação nocturna
área vão $> 15\%$ Ap:	vidro simples boa ocultação nocturna	vidro duplo ocultação nocturna	vidro duplo boa ocultação nocturna

3.3.3 – "A Envolvente dos Edifícios e a Avaliação da sua Qualidade"

Em 1986, Vitor Abrantes propõe um método de avaliação da qualidade da envolvente dos edifícios [35]. Os pontos de vista considerados são:

- desempenho acústico da envolvente;
- desempenho térmico da envolvente relativo ao Inverno;
- desempenho térmico da envolvente relativo ao Verão;
- custos de conservação da envolvente.

Para avaliar o desempenho térmico da envolvente relativo ao Inverno o autor, tendo em conta as "Regras de Qualidade Térmica de Edifícios", propõe os seguintes avaliadores:

- isolamento térmico das paredes;
- isolamento térmico das coberturas;
- isolamento térmico das vãos envidraçados.

São tomados como valores de referência os indicados nas Regras de Qualidade Térmica, quadros número 3.4, 3.5, 3.6.

O critério atribui a nota de 1, 3 ou 5, acada um dos avaliadores.

Para o isolamento térmico das paredes e das coberturas a nota é obtida comparando o valor do coeficiente de transmissão térmica médio, K , com o valor máximo admissível, K_m (quadro 3.4). A comparação é feita como se mostra no quadro 3.7.

A nota dos vãos envidraçados resulta da comparação das características dos vãos em estudo com as aconselhadas no quadro 3.6. A nota é atribuída como se indica no quadro 3.8.

Quadro 3.7

"A envolvente dos edifícios e a avaliação da sua qualidade"
critério de avaliação dos coeficientes
de transmissão térmica K

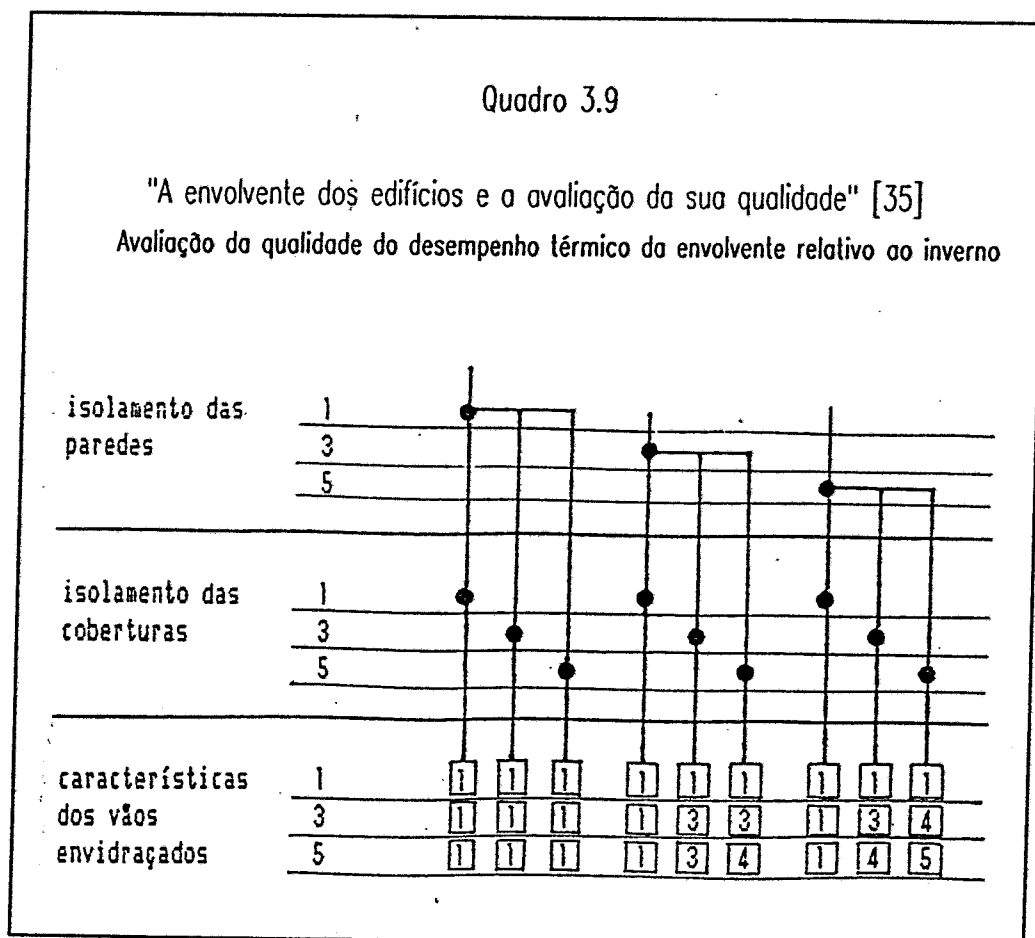
nota 1	$K > K_m$
nota 3	$0,80 K_m < K \leq K_m$
nota 5	$K \leq 0,80 K_m$

Quadro 3.8

"A envolvente dos edifícios e a avaliação da sua qualidade"
critério de avaliação dos vãos
envidraçados

nota 1:	características térmicas dos vãos envidraçados inferiores às do quadro 3.6.
nota 3:	características térmicas dos vãos envidraçados iguais às do quadro 3.6.
nota 5:	características térmicas dos vãos envidraçados superiores às do quadro 3.6.

A cotação final do ponto de vista desempenho térmico da envolvente relativa ao Inverno é obtida com base no gráfico reproduzido no quadro 3.9. Como pode concluir-se da observação do gráfico, se um dos avaliadores tiver nota 1, a cotação final será também 1. Por outro lado, para obter a cotação de 5 é necessário que todos os avaliadores tenham nota 5.



3.3.4 – "Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação"

Na sua tese para a obtenção do grau de mestre em Construção de Edifícios, em 1989, Rui Gomes dos Santos propõe um método para a avaliação do conforto térmico de edifícios de habitação [36].

Este método toma também como valores de referência alguns das Regras de Qualidade Térmica de Edifícios e outros do projecto de RCCTE.

São atribuídas notas de 1 a 5, correspondendo a cada nota uma determinada qualidade funcional, da seguinte forma:

nota	qualidade funcional
1	má
2	deficiente
3	suficiente
4	boa
5	muito boa

Para avaliação do conforto térmico de Inverno foram consideradas as seguintes rubricas e subrubricas:

- isolamento das partes opacas da envolvente:
 - verticais: paredes
 - horizontais: pavimentos
coberturas
- isolamento das partes envidraçadas.

Os parâmetros a ser avaliados para as partes opacas da envolvente são os coeficientes de transmissão térmica médios, K_m . Estes valores são comparados com os valores de referência indicados no então Projecto de Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, conforme se indica no quadro 3.10.

Os parâmetros a ser avaliados para as partes envidraçadas são o tipo de vidraça e o dispositivo de ocultação. Em cada compartimento habitável, C.H., é determinada a relação A_v/A_p , área de envidraçado sobre a área do pavimento e a orientação. A nota a atribuir é determinada por comparação com o quadro 3.6, das Regras de Qualidade Térmica de Edifícios. O critério de avaliação adoptado foi o que se indica no quadro 3.11.

A nota final é obtida usando tabelas de dupla entrada, em que as pontuações das várias subrubricas e rubricas são combinadas.

Este método toma também como valores de referência alguns das Regras de Qualidade Térmica de Edifícios e outros do projecto de RCCTE.

São atribuídas notas de 1 a 5, correspondendo a cada nota uma determinada qualidade funcional, da seguinte forma:

nota	qualidade funcional
1	má
2	deficiente
3	suficiente
4	boa
5	muito boa

Para avaliação do conforto térmico de Inverno foram consideradas as seguintes rubricas e subrubricas:

- isolamento das partes opacas da envolvente:
 - verticais: paredes
 - horizontais: pavimentos
coberturas
- isolamento das partes envidraçadas.

Os parâmetros a ser avaliados para as partes opacas da envolvente são os coeficientes de transmissão térmica médios, K_m . Estes valores são comparados com os valores de referência indicados no então Projecto de Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios, conforme se indica no quadro 3.10.

Os parâmetros a ser avaliados para as partes envidraçadas são o tipo de vidraça e o dispositivo de ocultação. Em cada compartimento habitável, C.H., é determinada a relação A_v/A_p , área de envidraçado sobre a área do pavimento e a orientação. A nota a atribuir é determinada por comparação com o quadro 3.6, das Regras de Qualidade Térmica de Edifícios. O critério de avaliação adoptado foi o que se indica no quadro 3.11.

A nota final é obtida usando tabelas de dupla entrada, em que as pontuações das várias subrubricas e rubricas são combinadas.

Quadro 3.10

"Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação"

critério de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica

nota 1	$K_m \geq 1,20 \text{ Kmr}$
nota 2	$1,20 \text{ Kmr} > K_m > 1,00 \text{ Kmr}$
nota 3	$1,00 \text{ Kmr} \geq K_m > 0,90 \text{ Kmr}$
nota 4	$0,90 \text{ Kmr} \geq K_m \geq 0,80 \text{ Kmr}$
nota 5	$K_m < 0,80 \text{ Kmr}$

Quadro 3.11

"Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação"

critério de avaliação dos envidraçados

nota 1:	características inferiores em mais de 1 C.H.
nota 2:	características inferiores em apenas 1 C.H.
nota 3:	características semelhantes em todos os C.H.
nota 4:	características superiores a menos de 1 C.H.
nota 5:	características superiores em todos os C.H.

As tabelas são apresentadas nos quadros 3.12, 3.13 e 3.14.

A nota resultante ou é igual à mais baixa das duas ou toma um valor intermédio mais próximo da inferior, sem permitir no entanto a obtenção de uma classificação positiva da rubrica ou subrubrica em análise se existe uma nota 1.

Quadro 3.12

"Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação"
nota da envolvente opaca horizontal

cobertura	pavimento sobre passagem aberta					não existe
	1	2	3	4	5	
não existe	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	não existe
1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
3	(1)	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)
4	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(4)
5	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(5)

Quadro 3.13

"Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação"
nota dos elementos opacos

parede	envolvente horizontal					não existe
	1	2	3	4	5	
1	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2	(1)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
3	(1)	(2)	(3)	(3)	(3)	(3)
4	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(4)
5	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(5)

Quadro 3.14

"Avaliação da qualidade térmica de projectos de edifícios de habitação" cotação do conforto térmico de inverno

elementos opacos	elementos envidraçados				
	1	2	3	4	5
1	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)
2	(1)	(2)	(2)	(2)	(3)
3	(1)	(2)	(3)	(3)	(4)
4	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)
5	(2)	(3)	(4)	(4)	(5)

3.3.5 – "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios"

3.3.5.1 – Objectivos

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, RCCTE [37], foi criado com o objectivo de melhorar o conforto térmico dos edifícios, levando à adopção de soluções arquitectónicas e tecnologias construtivas que tirem partido do nosso clima. Pretende-se assim que o conforto aumente sem aumento do consumo de energia, ou que o consumo de energia diminua para o mesmo nível de conforto.

A melhoria da qualidade térmica permitirá ainda que os elementos de construção não sofram efeitos patológicos derivados de condensações superficiais.

3.3.5.2 – Ambito de aplicação

Este regulamento aplica-se a todas as zonas independentes de edifícios sujeitos a licenciamento, com as seguintes excepções, em traços gerais:

- em edifícios que se destinem a estar frequentemente abertos ao contacto com o exterior;
- em edifícios sujeitos a remodelações e recuperações em zonas históricas, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do regulamento;
- em edifícios já existentes, cujas remodelações ou alterações sejam inferiores a 50% do valor destes.

Por zona independente de um edifício entende-se cada uma das partes deste dotada de contador individual de consumo de energia e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente.

De salientar ainda que o RCCTE apenas visa aspectos construtivos do edifício, não abrangendo as instalações energéticas de aquecimento ou arrefecimento. Estas virão a ser objecto de um futuro regulamento.

3.3.5.3 – Disposições regulamentares

O RCCTE caracteriza o comportamento térmico de cada zona independente através de um conjunto de índices e parâmetros:

- N_i , valor etiqueta das necessidades nominais de energia útil por estação de aquecimento e por metro quadrado de área útil;
- N_v , valor etiqueta das necessidades nominais de energia útil por estação de arrefecimento e por metro quadrado de área útil;
- coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente;
- a classe de inércia térmica do edifício;
- o factor solar dos envidraçados.

Neste trabalho só vão ser considerados aspectos relacionados com o comportamento térmico de Inverno.

Para verificar a regulamentaridade de uma zona independente no que respeita às exigências de aquecimento deve calcular-se o valor N_{ic} , necessidades nominais de energia útil por estação de aquecimento e por metro quadrado de área útil, e compará-lo com o valor etiqueta, N_i . Se $N_{ic} \leq N_i$, a zona independente em estudo será considerada regulamentar no caso de os valores dos coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente opaca não ultrapassarem os valores máximos definidos (quadro 3.15). Esta restrição pretende reduzir o risco de condensações na face interior dos elementos opacos da envolvente.

Quadro 3.15

RCCTE
coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis
(W/m² °C)

elemento da envolvente	zona climática		
	11	12	13
elementos exteriores:			
zonas opacas horizontais	1,25	1,00	0,90
zonas opacas verticais	1,80	1,60	1,45
elementos interiores:			
zonas opacas horizontais	1,65	1,30	1,20
zonas opacas verticais	2,00	2,00	1,90

O valor de Ni é calculado utilizando a seguinte expressão:

$$Ni = (1.3 Kfr Af + Khr Ah + Kenvr Aenv + 0.34 Pd Ap) 0.024 GD / Ap, \quad (\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ ano})$$

em que os valores dos coeficientes de transmissão térmica Kfr, Khr e Kenvr de referência são os do quadro 3.16.

Os restantes valores envolvidos nesta fórmula são os seguintes:

- Af – soma da área de fachada opaca exterior com a área de paredes e envidraçados para espaços interiores não aquecidos;
- Ah – soma das áreas de pavimento e de cobertura exteriores com as áreas de pavimento e de cobertura para espaços interiores não aquecidos;
- Aenv – área de envidraçados; este valor será reduzido a 15% de Ap, no caso de ultrapassar este valor;
- Ap – área útil de pavimento;
- Pd – pé direito médio;
- GD – graus dia de aquecimento (quadro 3.17)

Quadro 3.16

RCCTE
coeficientes de transmissão térmica de referência
(W/m² °C)

elemento da envolvente	zona climática		
	11	12	13
zonas opacas verticais (Kfr)	1,40	1,20	0,95
zonas opacas horizontais (Khr)	1,10	0,85	0,75
zonas envidraçadas (Kenvr)	4,20	4,20	4,20

O valor a comparar com o valor etiqueta, Nic, é calculado pela fórmula:

$$N_{ic} = ((\sum f_c K_f A_f + \sum f_c K_h A_h + \sum K_{env} A_{env} + 0.75 \sum f_c K_{int} A_{int} + 0.34 P_d A_p) 0.024 GD - \sum A_{envs} G_v S_v \phi \eta f) A_p, \quad (kWh / m^2 \text{ ano})$$

em que

- fc – factores de concentração de perdas, que contabilizam os efeitos dos pilares, vigas, caixas de estore, etc., na valor efectivo dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos de envolvente em zona corrente;
- Kf – coeficientes de transmissão térmica das paredes exteriores;
- Kh – coeficientes de transmissão térmica da envolvente opaca horizontal exterior;
- Kenv – coeficientes de transmissão térmica dos envidraçados exteriores;
- Kint – coeficientes de transmissão térmica da envolvente interior para espaços não aquecidos;
- Af – áreas das paredes exteriores;
- Ah – áreas da envolvente opaca horizontal exterior;

- A_{env} – áreas de envidraçados exteriores;
 A_{int} – áreas da envolvente interior para espaços não aquecidos;
 A_{envs} – áreas de envidraçados voltados aos quadrantes de sul;
 G_v – irradiância solar, intensidade da radiação solar incidente no envidraçado;
 S_v – factor solar do vidro, fracção da energia incidente no vidro que penetra no interior da zona independente;
 ϕ – factor que traduz o efeito de obstrução;
 η – factor de utilização dos ganhos solares;
 f – factor de orientação.

Quadro 3.17

RCCTE
dados climáticos de Inverno

zona climática	GD	G_v
I1	400	400
I2	800	500
I3	(*)1600	700

(*) para altitudes superiores a 1000 metros, $GD=H+800$, em que H representa a altitude em metros.

No cálculo de N_{ic} são contabilizadas as perdas térmicas através da envolvente e por renovação de ar; são também contabilizados os ganhos solares através dos envidraçados orientados nos quadrantes de sul.

O regulamento prevê ainda a possibilidade de ser utilizado um método expedito na verificação da regulamentaridade, no que respeita às exigências de aquecimento de uma zona independente. Para isso é necessário que se verifiquem simultaneamente as seguintes condições:

- os coeficientes de transmissão térmica K deverão ser todos menores ou iguais aos respectivos valores de referência;
- f_c , factor de concentração de perdas, deve ser menor ou igual a 1,30;

- Aenv, área de envidraçados exteriores, não deve ultrapassar 15% da área útil de pavimento, Ap;
- a área útil da zona independente, Ap, não deve ser superior a 300 m².

3.3.6 – Conforto térmico de Inverno no método Qualitel

No método Qualitel existe uma rubrica específica para avaliar o conforto térmico de Inverno, assim dividida em subrubricas:

- características térmicas dos envidraçados:
 - permeabilidade ao ar das janelas:
 - classe de exposição ao vento;
 - razão entre a área dos vãos e a área habitável;
 - tipos de vãos envidraçados:
 - tipo de caixilharia;
 - razão entre a área dos vãos e a área habitável;
 - tipo de envidraçado e estanquidade;
 - zona climática;
- ventilação dos compartimentos:
 - dispositivos de entrada de ar:
 - classe de exposição ao vento;
 - posição do bocal;
 - natureza do bocal;
 - dispositivos de saída de ar:
 - compartimentos abrangidos;
 - eventuais dispositivos complementares;
 - secção da conduta / valor de referência;
- equipamento de aquecimento:
 - tipo de sistema de aquecimento;
 - posição dos emissores de calor;
 - tipo de envidraçado;
 - zona climática.

As cotações atribuídas às várias subrubricas são combinadas utilizando gráficos e tabelas de dupla entrada.

3.3.7 – Conforto térmico de Inverno no Método SEL

O método SEL não contém nenhum critério específico para a avaliação do conforto térmico de Inverno.

A exigência mínima M4 impõe valores mínimos para os coeficientes de transmissão térmica da envolvente.

Os critérios B35, insolação dos espaços individuais, e B36, insolação dos espaços comuns e dos prolongamentos exteriores, são os mais relacionados com o conforto térmico de Inverno. A nota a atribuir depende do ângulo da perpendicular ao envidraçado com a direcção sul.

Capítulo 4

ELABORAÇÃO DE UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS NO INVERNO E RECOMENDAÇÃO DE SOLUÇÕES DE MELHORIA

4.1 – INTRODUÇÃO

O objectivo deste estudo consiste em estabelecer um método de avaliação do comportamento térmico de edifícios no inverno, aplicável a projectos de edifícios de habitação, em Portugal Continental.

Pretende-se que este método seja de fácil aplicação e baseado no "Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios", RCCTE.

O método vai utilizar para classificar as habitações quatro avaliadores a saber:

- Nic/N_i , razão entre as necessidades nominais de energia útil por metro quadrado de área útil de pavimento por estação de aquecimento e o respectivo valor etiqueta, N_i ;
- Nic ;
- os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos vários elementos construtivos da envolvente;
- f_c , factor de concentração de perdas.

O método não tomará em conta a forma como a habitação é aquecida, nem a qualidade dos dispositivos de aquecimento eventualmente utilizados, mas sómente a sua qualidade construtiva e as necessidades nominais de aquecimento. Uma habitação de boa qualidade deverá ser construída por forma a que os coeficientes de transmissão térmica da sua envolvente resultem baixos e que os ganhos solares através dos envidraçados sejam elevados, consumindo por isso pouca energia.

A escala de classificação adoptada varia de 1 a 5, correspondendo a cada nota a seguinte a classificação:

nota	classificação
1	Insuficiente
2	Suficiente
3	Bom
4	Muito Bom
5	Excelente

A soluções não regulamentares corresponderá sempre a classificação de Insuficiente.

O método de avaliação foi estabelecido com base na análise dos resultados da sua aplicação às soluções construtivas definidas em 4.2.3. Várias hipóteses de método foram tentadas e sucessivamente refinadas, tendo-se chegado por fim a um método que pareceu equilibrado quando aplicado às soluções referidas.

Tentou-se que o método estabelecido não fosse demasiado restritivo, como forma de o adaptar a uma realidade em que a qualidade térmica começa agora a ser uma preocupação mais generalizada.

O modelo inclui ainda, para os casos em que a habitação em estudo é não regulamentar, um processo que permite melhorar a solução construtiva por forma a que as especificações do regulamento passem a ser cumpridas.

No capítulo 5 será feita a informatização do modelo descrito neste capítulo, utilizando um sistema gerador de sistemas periciais.

Na figura 4.1 apresenta-se de forma esquemática o sistema completo.

4.2 – ESTABELECIMENTO DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO

4.2.1 – Considerações gerais

Dois aspectos importantes podem ser considerados ao analisar o comportamento térmico de edifícios no inverno, como se ilustra no diagrama em árvore do quadro 4.2:

- baixos custos de aquecimento;
- a não existência de condensações superficiais nas partes opacas da envolvente.

A não existência de condensações superficiais nas partes opacas da envolvente pode ser garantida por valores do factor de temperatura superficial (τ) não superiores a 0.30 [38]. Os valores máximos dos coeficientes de transmissão térmica permitidos pelo regulamento foram estabelecidos por forma a tentar afastar o risco de condensações superficiais; estes valores não entram, no entanto, em linha de conta com as pontes térmicas, sendo usado para contabilizar este efeito o factor de concentração de perdas, fc . A não existência de condensações superficiais vai, assim, ser tida em conta impondo restrições ao valor deste parâmetro.

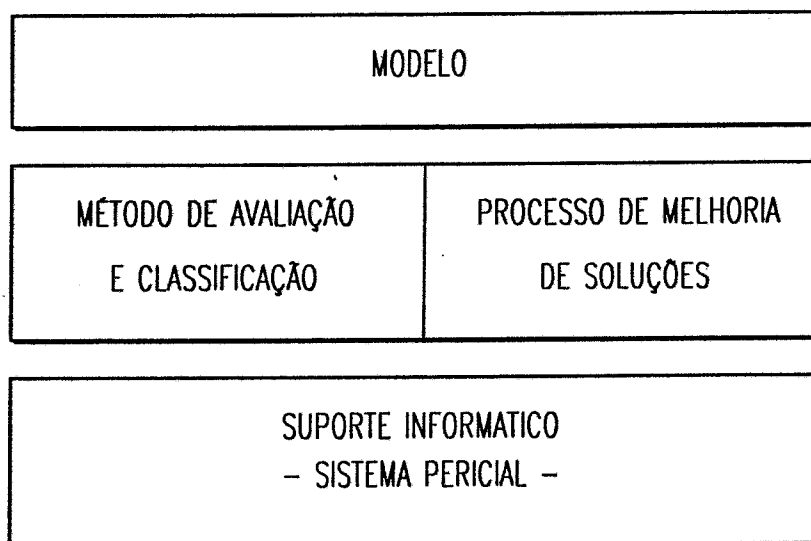
O valor dos custos de aquecimento está dependente do valor de Nic .

O critério de avaliação a estabelecer vai assim basear-se nas necessidades de aquecimento, logo no valor de Nic .

O critério escolhido para avaliar o comportamento térmico de edifícios no inverno utiliza o valor absoluto do parâmetro Nic , por um lado, e por outro o seu valor relativamente ao valor etiqueta estabelecido pelo regulamento.

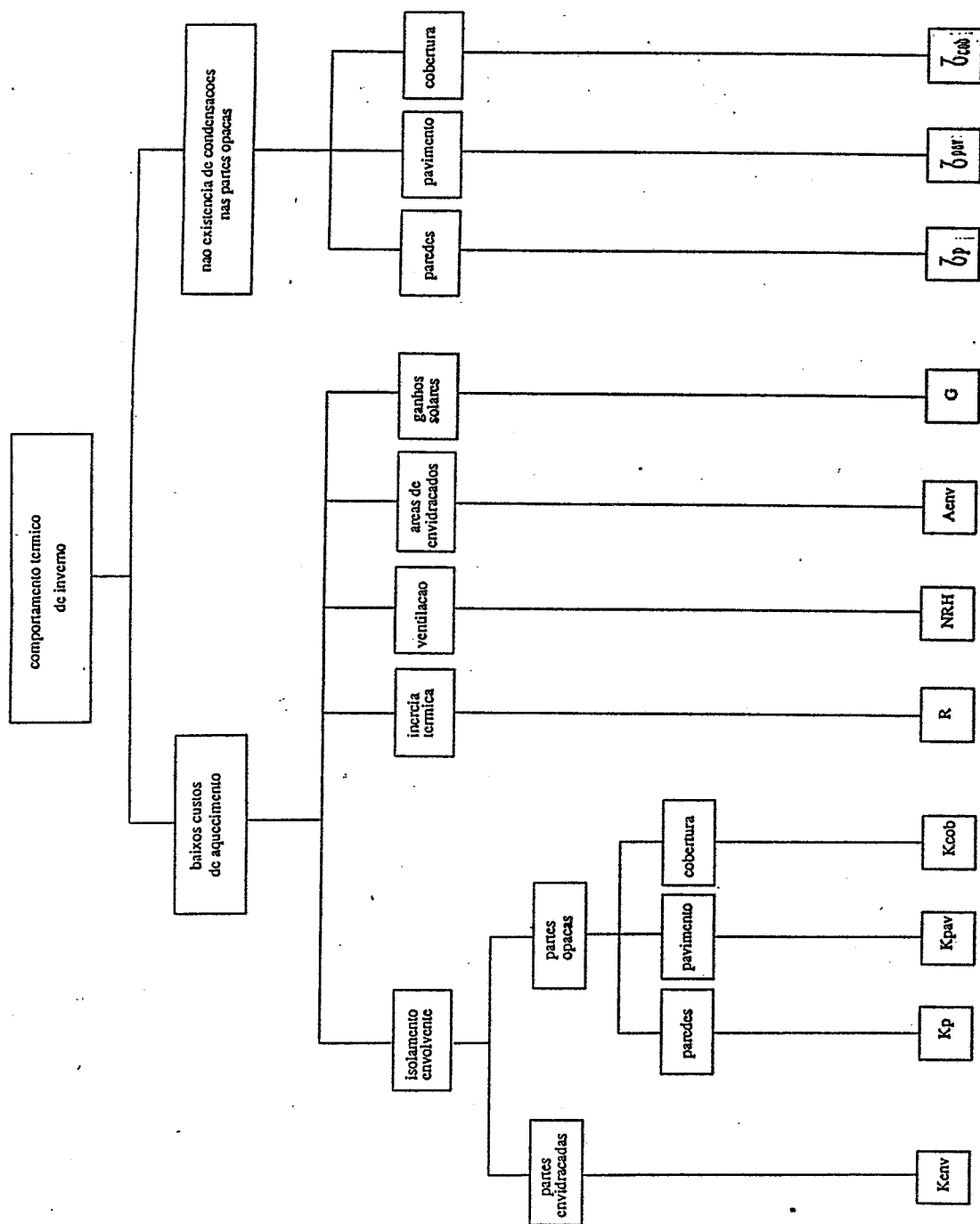
Além disso vão ser impostas restrições aos valores dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente. Estas restrições têm por fim limitar a possibilidade de compensação da má qualidade de alguns elementos construtivos pela muito boa de outros.

Quadro 4.1
esquema do modelo global



Quadro 4.2

comportamento térmico dos edifícios no inverno
- diagrama em árvore -



4.2.2 – Estudo da relação Nic/Ni

Dado que o método vai tomar por base de comparação para o valor de Nic o valor etiqueta Ni, vamos tentar estudá-lo mais em pormenor. A fórmula

$$Ni = (1.3 Kfr Af + Khr Ah + Kenvr Aenv + 0.34 Pd Ap) 0.024 GD / Ap$$

pode ser reescrita. Considerando

$$af = Af/Ap,$$

$$ah = Ah/Ap,$$

$$aenv = Aenv/Ap,$$

resulta

$$Ni = (1.3 Kfr af + Khr ah + Kenvr aenv + 0.34 Pd) 0.024 GD .$$

Os parâmetros K que figuram nesta fórmula são constantes para cada zona climática, bem como GD. Os seus valores foram apresentados no quadros 3.16 e 3.17.

Ni representa, assim, as necessidades nominais de aquecimento por estação de aquecimento e por metro quadrado de área útil de pavimento de uma habitação com a mesma relação de áreas da habitação em análise e com os coeficientes de transmissão térmica de referência.

Analisemos agora a fórmula de Nic:

$$Nic = ((\sum fc Kf Afe + \sum Kh Ahe + \sum Kenv Aenv + 0.75 \sum fc Kint Aint + 0.34 Ap Pd) 0.024 GD - \sum Aenvs Gv Sv \phi \eta f) / Ap$$

Fazendo as substituições

$$afe = Afe/Ap$$

$$ahe = Ahe/Ap$$

$$aint = Aint/Ap$$

$$aenvs = Aenvs/Ap$$

$$ganhos = Aenvs Gv Sv \phi \eta f / Ap = aenvs Gv Sv \phi \eta f$$

e reescrevendo, obtem-se

$$Nic = ((\sum fc Kf afe + \sum Kh ahe + \sum Kenv aenv + \sum 0.75 fc Kint aint + 0.34 Pd) 0.024 GD) - ganhos$$

A razão Nic/Ni pode escrever-se então

$$\text{Nic} / \text{Ni} = (\sum f_c K_f a_{fe} + \sum K_h a_{he} + \sum K_{env} a_{env} + 0.75 \sum f_c K_{int} a_{int} + 0.34 P_d - \text{ganhos}) / \\ / (1.3 K_{fr} a_f + K_{hr} a_h + K_{envr} a_{env} + 0.34 P_d)$$

Como pode concluir-se da observação da fórmula, o valor de Nic/Ni, depende para cada zona climática da relação de áreas, dos coeficientes de transmissão térmica da solução em estudo e dos ganhos solares.

O valor dos ganhos solares pode também ser calculado considerando a área de envidraçado voltada aos quadrantes de sul em relação à área de pavimento. Para calcular o valor do factor de utilização dos ganhos solares, faremos

$$\eta = 1 - \exp(-k/\text{GLR}) = 1 - \exp(-k \text{ NBA} / \text{Aenvs Sv GV } \phi f).$$

Sendo

$$\text{NRA} = (\sum f_c K_f a_{fe} + \sum K_h a_{he} + \sum K_{env} a_{env} + 0.75 \sum f_c K_{int} a_{int} + 0.34 P_d) 0.024 \text{ GD} = \text{NBA} / A_p$$

resulta

$$\eta = 1 - \exp(-k \text{ NRA} / \text{aenvs Sv GV } \phi f).$$

O valor NRA indicará aqui as necessidades relativas de aquecimento, por analogia com o valor NBA, necessidades brutas de aquecimento, definido no regulamento.

Os dados utilizados para verificar os resultados da aplicação do método a diferentes habitações devem assim ter em conta este resultado. Interessa fazer variar a relação das áreas, os coeficientes de transmissão térmica e a exposição para observar o comportamento do método.

4.2.3 – Elaboração de tabelas de apoio

Para apoio à elaboração do método foram construídas tabelas que se apresentam na totalidade no volume de anexos. Reproduzem-se neste volume apenas algumas.

O objectivo com que estas tabelas foram elaboradas é o de permitir conhecer a variação do valor de Nic e da razão Nic/Ni para diferentes soluções construtivas, relações de áreas e exposições.

Na sua elaboração foram usados programas escritos na linguagem procedimental do gerador de sistemas periciais Leonardo.

As tabelas indicam já a classificação das várias soluções segundo o método que adiante se define. Esta opção foi tomada no sentido de evitar a sua duplicação.

4.2.3.1 – Tabelas do anexo 1

Para a elaboração destas tabelas foram considerados valores, que de algum modo pareceram significativos, para os parâmetros envolvidos – áreas da envolvente e respectivos coeficientes de transmissão térmica – sem a preocupação de os fazer corresponder a situações concretas. Pretende-se deste modo estudar situações com relações de áreas diversas, que permitam estudar melhor o comportamento de Nic e Ni. Espera-se ficar assim em posição de optar por uma forma de critério que possa ser usado mesmo em casos em que as relações de áreas não sejam as mais habituais.

Como forma de simplificar a análise, foram tomados apenas três componentes para a envolvente, envolvente opaca vertical, envolvente opaca horizontal e envidraçados exteriores.

Foram utilizados para as áreas os valores que se indicam no quadro 4.3, em percentagem de Ap.

Quadro 4.3			
valores utilizados para as áreas			
tabelas anexo 1			
af	20%	110%	200%
ah	0%	117%	235%
aenv	10%	20%	35%

Estes valores foram escolhidos de forma a serem consideradas as situações extremas e uma situação intermédia. Detalhando:

- af :
- o valor mínimo, 20%, tenta traduzir uma situação em que a área de fachada é muito baixa face à área de pavimento; poderia ser o caso de uma habitação só com uma frente.
 - o valor intermédio poderá representar uma habitação de 3 ou 4 frentes.
 - o valor máximo poderá representar o caso de uma habitação de 4 frentes, com uma arquitectura muito recortada.
- ah:
- o valor mínimo, 0%, corresponde a uma habitação situada num piso intermédio, completamente "encaixada".
 - o valor intermédio, 117%, poderá corresponder a uma habitação situada na cobertura.
 - o valor máximo, 235%, poderá representar o caso de uma habitação de cobertura e sobre passagem aberta.
- aenv:
- o valor mínimo, 10%, resulta de certa forma dos valores mínimos indicados no projecto de Regulamento Geral de Edificações [39]; o valor mínimo imposto para a área de vidro é de $1/8$ da área do pavimento do compartimento; para adaptar este valor ao caso em estudo foi necessário ter em conta, por um lado, que aenv se refere à área de envidraçado e não à área de vidro, e por outro lado que a área de pavimento considerada é a da habitação e não a do compartimento; considerou-se a área de envidraçado como sendo cerca de 10% superior à área de vidro; a área útil de pavimento foi tomada como cerca de 14% superior à soma das áreas dos compartimentos.
 - o valor máximo, 35%, foi tomado por parecer que corresponde já a uma área generosa de envidraçados.

Para cada zona climática foram considerados três grupos de valores para os coeficientes de transmissão térmica, que se apresentam no quadro 4.4. No caso das paredes, o valor indicado $K_{fc} = K_f \times f_c$, corresponde ao valor do coeficiente de transmissão térmica após correcção pelo factor de concentração de perdas.

Os valores gerados com os coeficientes de transmissão térmica pertencentes ao primeiro grupo pretendem reflectir soluções construtivas menos cuidadas. As do 2º grupo correspondem já a soluções construtivas de boa qualidade. As do 3º grupo correspondem a soluções construtivas de muito boa qualidade.

Descreve-se em seguida a forma como os valores dos coeficientes de cada grupo foram escolhidos.

Quadro 4.4

valores dos coeficientes de transmissão
térmica adoptados na elaboração das tabelas
do anexo 1

zona	grupo	kfc		kh		kenv	
		max	min	max	min	max	min
1	1	2.70	2.10	1.25	1.10	4.80	4.20
	2	1.80	0.80	0.90	0.60	3.60	3.00
	3	0.50	0.35	0.45	0.30	2.60	2.20
2	1	2.40	1.80	1.00	0.85	4.80	4.20
	2	1.42	0.80	0.75	0.50	3.60	3.00
	3	0.50	0.35	0.45	0.30	2.60	2.20
3	1	2.17	1.42	0.90	0.75	4.80	4.20
	2	1.25	0.80	0.65	0.50	3.60	3.00
	3	0.50	0.35	0.45	0.30	2.60	2.20

No 1.º grupo os valores adoptados foram o máximo e o de referência indicados pelo RCCTE.

As paredes consideradas neste grupo são paredes sem isolamento e sem correcção das pontes térmicas, pelo que o factor de concentração de perdas toma o valor 1.50.

No caso dos envidraçados o regulamento não impõe valores máximos. Foi tomado o valor 4.80, que corresponde a um envidraçado com vidro simples, caixilharia de metal e dispositivo de ocultação sem boa estanquidade.

No 2.º grupo os valores escolhidos foram inferiores aos de referência, mas ainda afastados dos melhores existentes (tabelas LNEC [40]).

No caso das paredes foi considerado $fc = 1.50$ para o valor máximo e $fc = 1.00$ para o valor mínimo.

No 3.º grupo os valores aproximam-se dos correspondentes às melhores soluções existentes.

Foram considerados para valores mínimos os valores mínimos que constam das tabelas do LNEC e como valores máximos valores ligeiramente superiores a estes, que constam também destas tabelas.

No caso das paredes foi considerado $f_c = 1.00$.

Para a elaboração destas tabelas adoptou-se o valor de 2.70 metros para o pé direito médio das habitações, a inércia térmica foi considerada forte e, na zona climática I3, foi admitido que a altitude do local de implantação da habitação seria inferior a 1000 metros.

Foram considerados dois valores para a percentagem de envidraçados voltados a sul, sem obstrução: 0% e 50% do valor de a_{env} . No primeiro caso não haverá ganhos solares, enquanto no segundo se assume que estará voltada a sul metade da área de envidraçados existente.

Para gerar cada tabela são usadas todas as combinações dos valores em jogo, num total de 216. Nos casos em que a área de envolvente horizontal é nula, as soluções são idênticas para os dois coeficientes de transmissão considerados (é indicado o valor 0 para o coeficiente, nesta situação); as tabelas ficam assim reduzidas a 180 soluções.

No quadro 4.5 é esquematizada a organização do anexo 1. Apresenta-se no quadro 4.6, a título de exemplo, a tabela 1.2, extraída deste anexo.

Quadro 4.5			
organização das tabelas do anexo 1			
zona	grupo	tabela sem ganhos solares	tabela com ganhos solares
1	1	1.1	1.10
	2	1.2	1.11
	3	1.3	1.12
2	1	1.4	1.13
	2	1.5	1.14
	3	1.6	1.15
3	1	1.7	1.16
	2	1.8	1.17
	3	1.9	1.18

Quadro 4.6

reprodução de uma tabela do anexo 1

tabela 1.2

zona climática de inverno 11
sem ganhos solares
soluções grupo 2

linha	af	Kfc	ah	Kh	aenv	Kenv	Ni1	Nic1	Nic/Ni	cls
1	20%	1.80	0%	.00	35%	3.60	18.36	24.36	132.7%	INS
2	20%	.80	0%	.00	35%	3.60	18.36	22.44	122.3%	INS
3	20%	1.80	0%	.00	35%	3.00	18.36	22.35	121.8%	INS
4	110%	1.80	0%	.00	35%	3.60	34.08	39.92	117.1%	INS
5	20%	1.80	117%	.90	35%	3.60	30.71	34.47	112.3%	INS
6	200%	1.80	0%	.00	35%	3.60	49.80	55.47	111.4%	INS
7	20%	.80	0%	.00	35%	3.00	18.36	20.43	111.3%	INS
8	110%	1.80	0%	.00	35%	3.00	34.08	37.90	111.2%	INS
9	110%	1.80	117%	.90	35%	3.60	46.44	50.03	107.7%	INS
10	200%	1.80	0%	.00	35%	3.00	49.80	53.45	107.3%	INS
11	20%	.80	117%	.90	35%	3.60	30.71	32.55	106.0%	INS
12	20%	1.80	117%	.90	35%	3.00	30.71	32.46	105.7%	INS
13	200%	1.80	117%	.90	35%	3.60	62.16	65.58	105.5%	INS
14	20%	1.80	0%	.00	20%	3.60	18.36	19.18	104.5%	INS
15	20%	1.80	235%	.90	35%	3.60	43.17	44.67	103.5%	INS
16	110%	1.80	117%	.90	35%	3.00	46.44	48.01	103.4%	INS
17	200%	1.80	117%	.90	35%	3.00	62.16	63.56	102.3%	INS
18	110%	1.80	235%	.90	35%	3.60	58.90	60.22	102.2%	INS
19	110%	1.80	0%	.00	20%	3.60	34.08	34.73	101.9%	INS
20	200%	1.80	235%	.90	35%	3.60	74.62	75.77	101.5%	INS
21	20%	1.80	117%	.60	35%	3.60	30.71	31.10	101.3%	INS
22	200%	1.80	0%	.00	20%	3.60	49.80	50.28	101.0%	INS
23	110%	1.80	117%	.60	35%	3.60	46.44	46.66	100.5%	INS
24	200%	1.80	117%	.60	35%	3.60	62.16	62.21	100.1%	INS
25	20%	.80	117%	.90	35%	3.00	30.71	30.54	99.4%	SUF
26	20%	.80	235%	.90	35%	3.60	43.17	42.75	99.0%	SUF
27	20%	1.80	235%	.90	35%	3.00	43.17	42.65	98.8%	SUF
28	110%	1.80	235%	.90	35%	3.00	58.90	58.20	98.8%	SUF
29	200%	1.80	235%	.90	35%	3.00	74.62	73.76	98.8%	SUF
30	200%	1.80	0%	.00	20%	3.00	49.80	49.13	98.7%	SUF
31	110%	1.80	0%	.00	20%	3.00	34.08	33.58	98.5%	SUF
32	20%	1.80	0%	.00	20%	3.00	18.36	18.03	98.2%	SUF
33	200%	1.80	0%	.00	10%	3.60	47.79	46.83	98.0%	SUF
34	110%	1.80	0%	.00	10%	3.60	32.06	31.28	97.5%	SUF
35	200%	1.80	117%	.90	20%	3.60	62.16	60.39	97.2%	SUF
36	200%	1.80	0%	.00	10%	3.00	47.79	46.25	96.8%	SUF
37	200%	1.80	117%	.60	35%	3.00	62.16	60.19	96.8%	SUF
38	110%	1.80	117%	.90	20%	3.60	46.44	44.84	96.6%	SUF
39	20%	1.80	0%	.00	10%	3.60	16.34	15.72	96.2%	SUF
40	110%	1.80	117%	.60	35%	3.00	46.44	44.64	96.1%	SUF
41	110%	1.80	0%	.00	10%	3.00	32.06	30.70	95.7%	SUF
42	20%	1.80	117%	.90	20%	3.60	30.71	29.29	95.4%	SUF
43	200%	1.80	117%	.90	20%	3.00	62.16	59.24	95.3%	SUF
44	200%	1.80	235%	.90	20%	3.60	74.62	70.59	94.6%	SUF
45	200%	1.80	235%	.90	20%	3.00	74.62	69.44	93.1%	SUF

linha	af	Kfc	ah	Kh	aenv	Kenv	Ni1	Nic1	Nic/Ni	cls
46	200%	1.80	235%	.90	10%	3.60	72.60	67.13	92.5%	SUF
47	200%	1.80	235%	.60	35%	3.60	74.62	69.00	92.5%	SUF
48	200%	1.80	235%	.90	10%	3.00	72.60	66.56	91.7%	SUF
49	200%	1.80	235%	.60	35%	3.00	74.62	66.99	89.8%	SUF
50	200%	1.80	235%	.60	20%	3.60	74.62	63.82	85.5%	SUF
51	200%	1.80	235%	.60	20%	3.00	74.62	62.67	84.0%	SUF
52	200%	1.80	235%	.60	10%	3.60	72.60	60.36	83.1%	SUF
53	20%	.80	117%	.60	35%	3.60	30.71	29.18	95.0%	BOM
54	20%	1.80	117%	.60	35%	3.00	30.71	29.09	94.7%	BOM
55	200%	1.80	117%	.90	10%	3.60	60.14	56.94	94.7%	BOM
56	20%	.80	235%	.90	35%	3.00	43.17	40.73	94.4%	BOM
57	110%	1.80	117%	.90	20%	3.00	46.44	43.69	94.1%	BOM
58	20%	.80	0%	.00	20%	3.60	18.36	17.26	94.0%	BOM
59	200%	1.80	117%	.90	10%	3.00	60.14	56.36	93.7%	BOM
60	110%	1.80	235%	.90	20%	3.60	58.90	55.04	93.4%	BOM
61	110%	1.80	117%	.90	10%	3.60	44.42	41.39	93.2%	BOM
62	20%	1.80	0%	.00	10%	3.00	16.34	15.15	92.7%	BOM
63	110%	1.80	117%	.90	10%	3.00	44.42	40.81	91.9%	BOM
64	200%	1.80	117%	.60	20%	3.60	62.16	57.02	91.7%	BOM
65	20%	1.80	117%	.90	20%	3.00	30.71	28.14	91.6%	BOM
66	20%	1.80	235%	.90	20%	3.60	43.17	39.48	91.5%	BOM
67	110%	1.80	235%	.90	20%	3.00	58.90	53.88	91.5%	BOM
68	110%	1.80	235%	.60	35%	3.60	58.90	53.45	90.8%	BOM
69	110%	1.80	235%	.90	10%	3.60	56.88	51.58	90.7%	BOM
70	20%	1.80	117%	.90	10%	3.60	28.69	25.83	90.0%	BOM
71	200%	1.80	117%	.60	20%	3.00	62.16	55.87	89.9%	BOM
72	110%	1.80	235%	.90	10%	3.00	56.88	51.00	89.7%	BOM
73	110%	1.80	117%	.60	20%	3.60	46.44	41.47	89.3%	BOM
74	200%	1.80	117%	.60	10%	3.60	60.14	53.57	89.1%	BOM
75	20%	1.80	235%	.90	20%	3.00	43.17	38.33	88.8%	BOM
76	200%	1.80	117%	.60	10%	3.00	60.14	52.99	88.1%	BOM
77	20%	1.80	117%	.90	10%	3.00	28.69	25.26	88.0%	BOM
78	20%	1.80	235%	.60	35%	3.60	43.17	37.90	87.8%	BOM
79	20%	1.80	235%	.90	10%	3.60	41.16	36.03	87.5%	BOM
80	110%	1.80	235%	.60	35%	3.00	58.90	51.44	87.3%	BOM
81	110%	1.80	117%	.60	20%	3.00	46.44	40.32	86.8%	BOM
82	20%	1.80	235%	.90	10%	3.00	41.16	35.45	86.1%	BOM
83	110%	1.80	117%	.60	10%	3.60	44.42	38.02	85.6%	BOM
84	20%	1.80	117%	.60	20%	3.60	30.71	25.92	84.4%	BOM
85	110%	1.80	117%	.60	10%	3.00	44.42	37.44	84.3%	BOM
86	110%	.80	235%	.90	35%	3.60	58.90	49.66	84.3%	BOM
87	20%	1.80	235%	.60	35%	3.00	43.17	35.88	83.1%	BOM
88	200%	1.80	235%	.60	10%	3.00	72.60	59.79	82.3%	BOM
89	110%	1.80	235%	.60	20%	3.60	58.90	48.27	82.0%	BOM
90	110%	.80	235%	.90	35%	3.00	58.90	47.64	80.9%	BOM
91	20%	1.80	117%	.60	20%	3.00	30.71	24.77	80.7%	BOM
92	110%	1.80	235%	.60	20%	3.00	58.90	47.12	80.0%	BOM
93	110%	1.80	235%	.60	10%	3.60	56.88	44.81	78.8%	BOM
94	20%	1.80	117%	.60	10%	3.60	28.69	22.46	78.3%	BOM
95	110%	1.80	235%	.60	10%	3.00	56.88	44.24	77.8%	BOM
96	20%	1.80	117%	.60	10%	3.00	28.69	21.89	76.3%	BOM
97	20%	1.80	235%	.60	20%	3.60	43.17	32.72	75.8%	BOM
98	200%	.80	235%	.90	35%	3.60	74.62	56.57	75.8%	BOM
99	110%	.80	235%	.90	20%	3.60	58.90	44.48	75.5%	BOM
100	200%	.80	117%	.90	35%	3.60	62.16	46.38	74.6%	BOM
101	110%	.80	235%	.90	20%	3.00	58.90	43.32	73.6%	BOM
102	20%	1.80	235%	.60	20%	3.00	43.17	31.56	73.1%	BOM
103	200%	.80	235%	.90	35%	3.00	74.62	54.56	73.1%	BOM
104	110%	.80	235%	.60	35%	3.60	58.90	42.89	72.8%	BOM
105	110%	.80	235%	.90	10%	3.60	56.88	41.02	72.1%	BOM
106	200%	.80	117%	.90	35%	3.00	62.16	44.36	71.4%	BOM
107	20%	1.80	235%	.60	10%	3.60	41.16	29.26	71.1%	BOM
108	110%	.80	235%	.90	10%	3.00	56.88	40.44	71.1%	BOM
109	20%	1.80	235%	.60	10%	3.00	41.16	28.68	69.7%	BOM
110	110%	.80	235%	.60	35%	3.00	58.90	40.88	69.4%	BOM

linha	af	Kfc	ah	Kh	aenv	KenV	Ni1	Nic1	Nic/Ni	cls
111	200%	.80	117%	.60	35%	3.60	62.16	43.01	69.2%	BOM
112	200%	.80	235%	.90	20%	3.60	74.62	51.39	68.9%	BOM
113	200%	.80	235%	.90	20%	3.00	74.62	50.24	67.3%	BOM
114	200%	.80	235%	.60	35%	3.60	74.62	49.80	66.7%	BOM
115	200%	.80	117%	.90	20%	3.60	62.16	41.19	66.3%	BOM
116	200%	.80	235%	.90	10%	3.60	72.60	47.93	66.0%	BOM
117	200%	.80	117%	.60	35%	3.00	62.16	40.99	65.9%	BOM
118	200%	.80	235%	.90	10%	3.00	72.60	47.36	65.2%	BOM
119	200%	.80	117%	.90	20%	3.00	62.16	40.04	64.4%	BOM
120	200%	.80	235%	.60	35%	3.00	74.62	47.79	64.0%	BOM
121	200%	.80	235%	.60	20%	3.60	74.62	44.62	59.8%	BOM
122	200%	.80	235%	.60	20%	3.00	74.62	43.47	58.3%	BOM
123	200%	.80	235%	.60	10%	3.60	72.60	41.16	56.7%	BOM
124	200%	.80	235%	.60	10%	3.00	72.60	40.59	55.9%	BOM
125	20%	.80	117%	.90	20%	3.60	30.71	27.37	89.1%	MB
126	20%	.80	117%	.60	35%	3.00	30.71	27.17	88.5%	MB
127	20%	.80	0%	.00	20%	3.00	18.36	16.11	87.8%	MB
128	20%	.80	235%	.90	20%	3.60	43.17	37.56	87.0%	MB
129	110%	.80	0%	.00	35%	3.60	34.08	29.36	86.1%	MB
130	20%	.80	117%	.90	20%	3.00	30.71	26.22	85.4%	MB
131	110%	.80	117%	.90	35%	3.60	46.44	39.47	85.0%	MB
132	20%	.80	0%	.00	10%	3.60	16.34	13.80	84.5%	MB
133	20%	.80	235%	.90	20%	3.00	43.17	36.41	84.3%	MB
134	20%	.80	117%	.90	10%	3.60	28.69	23.91	83.3%	MB
135	20%	.80	235%	.60	35%	3.60	43.17	35.98	83.3%	MB
136	20%	.80	235%	.90	10%	3.60	41.16	34.11	82.9%	MB
137	20%	.80	235%	.90	10%	3.00	41.16	33.53	81.5%	MB
138	20%	.80	117%	.90	10%	3.00	28.69	23.34	81.3%	MB
139	20%	.80	0%	.00	10%	3.00	16.34	13.23	81.0%	MB
140	110%	.80	117%	.90	35%	3.00	46.44	37.45	80.6%	MB
141	110%	.80	0%	.00	35%	3.00	34.08	27.34	80.2%	MB
142	20%	.80	235%	.60	35%	3.00	43.17	33.96	78.7%	MB
143	110%	.80	117%	.60	35%	3.60	46.44	36.10	77.7%	MB
144	110%	.80	117%	.90	20%	3.60	46.44	34.28	73.8%	MB
145	110%	.80	117%	.60	35%	3.00	46.44	34.08	73.4%	MB
146	200%	.80	0%	.00	35%	3.60	49.80	36.27	72.8%	MB
147	20%	.80	235%	.60	20%	3.60	43.17	30.80	71.3%	MB
148	110%	.80	117%	.90	20%	3.00	46.44	33.13	71.3%	MB
149	110%	.80	117%	.90	10%	3.60	44.42	30.83	69.4%	MB
150	200%	.80	0%	.00	35%	3.00	49.80	34.25	68.8%	MB
151	20%	.80	235%	.60	20%	3.00	43.17	29.64	68.7%	MB
152	110%	.80	117%	.90	10%	3.00	44.42	30.25	68.1%	MB
153	110%	.80	117%	.60	20%	3.60	46.44	30.91	66.6%	MB
154	20%	.80	235%	.60	10%	3.60	41.16	27.34	66.4%	MB
155	20%	.80	235%	.60	10%	3.00	41.16	26.76	65.0%	MB
156	110%	.80	117%	.60	20%	3.00	46.44	29.76	64.1%	MB
157	110%	.80	235%	.60	20%	3.60	58.90	37.71	64.0%	MB
158	200%	.80	117%	.90	10%	3.60	60.14	37.74	62.7%	MB
159	200%	.80	0%	.00	20%	3.60	49.80	31.08	62.4%	MB
160	110%	.80	235%	.60	20%	3.00	58.90	36.56	62.1%	MB
161	110%	.80	117%	.60	10%	3.60	44.42	27.46	61.8%	MB
162	200%	.80	117%	.90	10%	3.00	60.14	37.16	61.8%	MB
163	200%	.80	117%	.60	20%	3.60	62.16	37.82	60.8%	MB
164	110%	.80	117%	.60	10%	3.00	44.42	26.88	60.5%	MB
165	110%	.80	235%	.60	10%	3.60	56.88	34.25	60.2%	MB
166	200%	.80	0%	.00	20%	3.00	49.80	29.93	60.1%	MB
167	110%	.80	235%	.60	10%	3.00	56.88	33.68	59.2%	MB
168	200%	.80	117%	.60	20%	3.00	62.16	36.67	59.0%	MB
169	200%	.80	0%	.00	10%	3.60	47.79	27.63	57.8%	MB
170	200%	.80	117%	.60	10%	3.60	60.14	34.37	57.1%	MB
171	200%	.80	0%	.00	10%	3.00	47.79	27.05	56.6%	MB
172	200%	.80	117%	.60	10%	3.00	60.14	33.79	56.2%	MB
173	20%	.80	117%	.60	20%	3.60	30.71	24.00	78.1%	EXC
174	20%	.80	117%	.60	20%	3.00	30.71	22.85	74.4%	EXC

linha	af	Kfc	ah	Kh	aenv	Kenv	Ni1	Nic1	Nic/Ni	cls
175	20%	.80	117%	.60	10%	3.60	28.69	20.54	71.6%	EXC
176	110%	.80	0%	.00	20%	3.60	34.08	24.17	70.9%	EXC
177	20%	.80	117%	.60	10%	3.00	28.69	19.97	69.6%	EXC
178	110%	.80	0%	.00	20%	3.00	34.08	23.02	67.5%	EXC
179	110%	.80	0%	.00	10%	3.60	32.06	20.72	64.6%	EXC
180	110%	.80	0%	.00	10%	3.00	32.06	20.14	62.8%	EXC

Para ajudar na análise destas tabelas foram elaborados os gráficos que serão apresentados no capítulo 6. Cada um destes gráficos contém os valores de Nic e Ni correspondentes a duas tabelas, respeitantes a um mesmo grupo e a uma mesma zona climática (uma sem e e outra com ganhos solares). Estes gráficos, ainda que só apresentados mais tarde, serviram também para aferir o modelo de classificação apresentado neste capítulo.

4.2.3.2 – Tabelas dos anexos 2, 3 e 4

Estas tabelas foram elaboradas com o objectivo de estudar o comportamento da razão Nic/Ni e do valor de Nic em habitações concretas.

Foram escolhidas três habitações, a cada uma das quais corresponde um grupo de tabelas colocado num anexo:

- T2 situado num piso intermédio – anexo 2;
- T2 situado num piso de cobertura – anexo 3;
- vivenda isolada – anexo 4.

Para cada uma destas habitações foi considerado um conjunto de soluções construtivas, a possibilidade de existirem ganhos solares e as diferentes zonas climáticas.

Passam a caracterizar-se as habitações.

Habitação T2 situada em piso intermédio, com as áreas seguintes:

- área útil de pavimento, $A_p=65 \text{ m}^2$;
- pé direito médio, $P_d=2,70 \text{ m}$;
- área de paredes exteriores, $A_f=47,55 \text{ m}^2$;
- área de paredes interiores, $A_{int}=13,50 \text{ m}^2$;

- área de envidraçados, $A_{env}=6,7 \text{ m}^2$;
- área de envidraçados voltados a sul, se existentes, $A_{envs}=3,70 \text{ m}^2$.

Soluções construtivas consideradas:

- paredes exteriores:
 - parede dupla de tijolo furado 11+11, sem isolamento;
 - idem 11+15;
 - idem 11+15, com isolamento de poliestireno expandido moldado em placas - 20 cm;
 - parede simples tijolo furado 22, com isolamento de poliestireno expandido moldado em placas - 20 cm;
 - idem, com isolamento de espuma rígida de poliuretano em placas - 60 cm;
- paredes interiores:
 - parede simples de tijolo furado 15, sem isolamento;
 - parede simples de tijolo furado 22, sem isolamento;
 - parede dupla de tijolo furado 11+11, com isolamento de poliestireno expandido moldado em placas - 20 cm;
 - idem - 40 cm;
- envidraçados:
 - vidro simples com caixilharia de metal, com boa ocultação;
 - vidro simples com caixilharia de madeira, com boa ocultação;
 - vidro duplo com caixilharia de metal, 6mm de espessura da lâmina de ar, com boa ocultação;
 - vidro duplo com caixilharia de plástico - perfis multicelulares, 12mm de espessura da lâmina de ar, com boa ocultação.

As combinações destas possibilidades dão origem a 80 soluções construtivas diferentes.

Habituação T2 situada no piso de cobertura:

Os valores adoptados para as áreas foram os mesmos da habitação anterior e ainda:

- área de cobertura, $A_{cob}=75,00 \text{ m}^2$.

As soluções construtivas foram também as mesmas, além de:

- cobertura:
 - cobertura em terraço, laje aligeirada de tijolo cerâmico com 2 ou 3 furos, com camada de forma de 20cm, sem isolamento;

- idem, camada de forma 10 cm, com isolamento de poliestireno expandido moldado em placas - 40 cm;
- idem - 100 cm.

Neste caso não são apresentadas todas as combinações dos valores adoptados, uma vez que as tabelas resultariam muito extensas (240 soluções). Optou-se por fazer algumas restrições, não considerando as soluções em que a qualidade das paredes interiores fosse superior à das exteriores e ainda aquelas em que o vidro fosse duplo se as paredes exteriores não tivessem isolamento. Obteve-se assim um total de 144 soluções.

Vivenda isolada:

- área útil de pavimento, $A_p=100,00 \text{ m}^2$;
- pé direito médio, $P_d=2,70 \text{ m}$;
- área de paredes exteriores, $A_f=119,00 \text{ m}^2$;
- área de envidraçados, $A_{env}=20,00 \text{ m}^2$;
- área de envidraçados voltados a sul, se existentes, $A_{envs}=8,00 \text{ m}^2$.
- área de cobertura, $A_{cob}=117,00 \text{ m}^2$;
- área de pavimento sobre espaço não aquecido, $A_{pavi}=117,00 \text{ m}^2$.

As soluções construtivas consideradas para as paredes exteriores e envidraçados foram as mesmas das habitações anteriores. As restantes passam a indicar-se:

- cobertura:
 - cobertura inclinada, laje aligeirada de bloco cerâmico, com isolamento sobre laje de esteira horizontal, de poliestireno expandido moldado em placas - 20 cm;
 - idem - 60 cm;
 - idem - 100 cm;
- pavimento sobre espaço não aquecido:
 - laje aligeirada de bloco cerâmico de 2 ou 3 furos, sem isolamento;
 - idem, com isolamento de poliestireno expandido moldado em placas fixado directamente ao pavimento - 40 cm;
 - idem - 100 cm.

Da combinação destas possibilidades obtêm-se 180 soluções diferentes.

No quadro 4.7 mostra-se a organização das tabelas nos anexos 2, 3 e 4. No quadro 4.8 mostra-se, a título de exemplo, a tabela 4.5, extraída do anexo 4.

Quadro 4.7

organização das tabelas dos anexos 2, 3 e 4

anexo	zona	tabela sem ganhos solares	tabela com ganhos solares
2	1	2.1	2.4
	2	2.2	2.5
	3	2.3	2.6
3	1	3.1	3.4
	2	3.2	3.5
	3	3.3	3.6
4	1	4.1	4.4
	2	4.2	4.5
	3	4.3	4.6

4.2.4 – Estabelecimento do método

Como já foi referido, o método utiliza quatro avaliadores.

O primeiro que vamos considerar, a razão Nic/Ni , compara as necessidades de aquecimento da habitação a avaliar com as necessidades de aquecimento de referência. Este parâmetro está relacionado com a qualidade dos elementos construtivos e com os ganhos solares.

O segundo avaliador, Nic , traduz o possível consumo de energia da habitação em estudo.

A diferença entre estes dois avaliadores consiste em que um traduz valores relativos e outro valores absolutos. Consideremos como exemplo para ilustrar este ponto a habitação de tipologia T2 anteriormente definida, no ponto 4.2.3.

Quadro 4.8

reprodução de uma tabela do anexo 4

tabela 4.5

vivenda

zona climática de inverno 12

com ganhos solares

sol	par	isol	isol	isol	vidro	caixilho	Kf	Kf_c	Kcob	Kpav	Kenv	Nic2	XNi	cls
ext	ext	cob	pav											
1	11+11	0	20	0	simples	metal	1.40	2.10	1.15	1.55	4.20	109.90	1.06	INS
3	11+11	0	20	0	duplo	metal	1.40	2.10	1.15	1.55	3.10	108.47	1.05	INS
2	11+11	0	20	0	simples	madeira	1.40	2.10	1.15	1.55	3.70	107.98	1.04	INS
4	11+11	0	20	0	duplo	plastico	1.40	2.10	1.15	1.55	2.20	105.01	1.01	INS
37	11+15	0	20	0	simples	metal	1.20	1.80	1.15	1.55	4.20	103.05	1.00	INS
39	11+15	0	20	0	duplo	metal	1.20	1.80	1.15	1.55	3.10	101.61	.98	INS
38	11+15	0	20	0	simples	madeira	1.20	1.80	1.15	1.55	3.70	101.13	.98	INS
40	11+15	0	20	0	duplo	plastico	1.20	1.80	1.15	1.55	2.20	98.16	.95	INS
13	11+11	0	60	0	simples	metal	1.40	2.10	.55	1.55	4.20	96.44	.93	INS
15	11+11	0	60	0	duplo	metal	1.40	2.10	.55	1.55	3.10	95.00	.92	INS
14	11+11	0	60	0	simples	madeira	1.40	2.10	.55	1.55	3.70	94.52	.91	INS
5	11+11	0	20	40	simples	metal	1.40	2.10	1.15	.60	4.20	93.92	.91	INS
7	11+11	0	20	40	duplo	metal	1.40	2.10	1.15	.60	3.10	92.47	.89	INS
6	11+11	0	20	40	simples	madeira	1.40	2.10	1.15	.60	3.70	92.00	.89	INS
25	11+11	0	100	0	simples	metal	1.40	2.10	.35	1.55	4.20	91.95	.89	INS
16	11+11	0	60	0	duplo	plastico	1.40	2.10	.55	1.55	2.20	91.54	.88	INS
27	11+11	0	100	0	duplo	metal	1.40	2.10	.35	1.55	3.10	90.51	.87	INS
26	11+11	0	100	0	simples	madeira	1.40	2.10	.35	1.55	3.70	90.04	.87	INS
49	11+15	0	60	0	simples	metal	1.20	1.80	.55	1.55	4.20	89.60	.87	INS
73	11+15	20	20	0	simples	metal	.75	1.20	1.15	1.55	4.20	89.37	.86	INS
8	11+11	0	20	40	duplo	plastico	1.40	2.10	1.15	.60	2.20	89.02	.86	INS
9	11+11	0	20	100	simples	metal	1.40	2.10	1.15	.30	4.20	88.87	.86	INS
51	11+15	0	60	0	duplo	metal	1.20	1.80	.55	1.55	3.10	88.15	.85	INS
75	11+15	20	20	0	duplo	metal	.75	1.20	1.15	1.55	3.10	87.92	.85	INS
50	11+15	0	60	0	simples	madeira	1.20	1.80	.55	1.55	3.70	87.68	.85	INS
11	11+11	0	20	100	duplo	metal	1.40	2.10	1.15	.30	3.10	87.42	.84	INS
74	11+15	20	20	0	simples	madeira	.75	1.20	1.15	1.55	3.70	87.45	.84	INS
28	11+11	0	100	0	duplo	plastico	1.40	2.10	.35	1.55	2.20	87.06	.84	INS
41	11+15	0	20	40	simples	metal	1.20	1.80	1.15	.60	4.20	87.08	.84	INS
10	11+11	0	20	100	simples	madeira	1.40	2.10	1.15	.30	3.70	86.96	.84	INS
43	11+15	0	20	40	duplo	metal	1.20	1.80	1.15	.60	3.10	85.63	.83	INS
42	11+15	0	20	40	simples	madeira	1.20	1.80	1.15	.60	3.70	85.16	.82	INS
61	11+15	0	100	0	simples	metal	1.20	1.80	.35	1.55	4.20	85.12	.82	INS
52	11+15	0	60	0	duplo	plastico	1.20	1.80	.55	1.55	2.20	84.70	.82	INS
76	11+15	20	20	0	duplo	plastico	.75	1.20	1.15	1.55	2.20	84.47	.82	INS
12	11+11	0	20	100	duplo	plastico	1.40	2.10	1.15	.30	2.20	83.97	.81	INS
63	11+15	0	100	0	duplo	metal	1.20	1.80	.35	1.55	3.10	83.67	.81	INS
109	22	20	20	0	simples	metal	.95	.95	1.15	1.55	4.20	83.67	.81	INS
62	11+15	0	100	0	simples	madeira	1.20	1.80	.35	1.55	3.70	83.21	.80	INS
111	22	20	20	0	duplo	metal	.95	.95	1.15	1.55	3.10	82.22	.79	INS
44	11+15	0	20	40	duplo	plastico	1.20	1.80	1.15	.60	2.20	82.18	.79	INS
45	11+15	0	20	100	simples	metal	1.20	1.80	1.15	.30	4.20	82.04	.79	INS
110	22	20	20	0	simples	madeira	.95	.95	1.15	1.55	3.70	81.76	.79	INS

sol	par	isol	isol	isol	vidro	caixilho	Kf	Kf_c	Kcob	Kpav	Kenv	Nic2	%Ni	cls
ext	ext	ext	cob	pav										
47	11+15	0	20	100	duplo	metal	1.20	1.80	1.15	.30	3.10	80.58	.78	INS
64	11+15	0	100	0	duplo	plastico	1.20	1.80	.35	1.55	2.20	80.22	.77	INS
46	11+15	0	20	100	simples	madeira	1.20	1.80	1.15	.30	3.70	80.13	.77	INS
112	22	20	20	0	duplo	plastico	.95	.95	1.15	1.55	2.20	78.77	.76	INS
48	11+15	0	20	100	duplo	plastico	1.20	1.80	1.15	.30	2.20	77.14	.74	INS
85	11+15	20	60	0	simples	metal	.75	1.20	.55	1.55	4.20	75.94	.73	INS
87	11+15	20	60	0	duplo	metal	.75	1.20	.55	1.55	3.10	74.47	.72	INS
86	11+15	20	60	0	simples	madeira	.75	1.20	.55	1.55	3.70	74.04	.71	INS
77	11+15	20	20	40	simples	metal	.75	1.20	1.15	.60	4.20	73.43	.71	INS
79	11+15	20	20	40	duplo	metal	.75	1.20	1.15	.60	3.10	71.96	.69	INS
78	11+15	20	20	40	simples	madeira	.75	1.20	1.15	.60	3.70	71.52	.69	INS
97	11+15	20	100	0	simples	metal	.75	1.20	.35	1.55	4.20	71.48	.69	INS
88	11+15	20	60	0	duplo	plastico	.75	1.20	.55	1.55	2.20	71.03	.69	INS
121	22	20	60	0	simples	metal	.95	.95	.55	1.55	4.20	70.27	.68	INS
99	11+15	20	100	0	duplo	metal	.75	1.20	.35	1.55	3.10	70.00	.68	INS
145	22	60	20	0	simples	metal	.35	.35	1.15	1.55	4.20	70.04	.68	INS
98	11+15	20	100	0	simples	madeira	.75	1.20	.35	1.55	3.70	69.57	.67	INS
123	22	20	60	0	duplo	metal	.95	.95	.55	1.55	3.10	68.79	.66	INS
80	11+15	20	20	40	duplo	plastico	.75	1.20	1.15	.60	2.20	68.52	.66	INS
147	22	60	20	0	duplo	metal	.35	.35	1.15	1.55	3.10	68.56	.66	INS
81	11+15	20	20	100	simples	metal	.75	1.20	1.15	.30	4.20	68.42	.66	INS
122	22	20	60	0	simples	madeira	.95	.95	.55	1.55	3.70	68.37	.66	INS
146	22	60	20	0	simples	madeira	.35	.35	1.15	1.55	3.70	68.14	.66	INS
113	22	20	20	40	simples	metal	.95	.95	1.15	.60	4.20	67.76	.65	INS
83	11+15	20	20	100	duplo	metal	.75	1.20	1.15	.30	3.10	66.93	.65	INS
82	11+15	20	20	100	simples	madeira	.75	1.20	1.15	.30	3.70	66.51	.64	INS
100	11+15	20	100	0	duplo	plastico	.75	1.20	.35	1.55	2.20	66.56	.64	INS
115	22	20	20	40	duplo	metal	.95	.95	1.15	.60	3.10	66.27	.64	INS
114	22	20	20	40	simples	madeira	.95	.95	1.15	.60	3.70	65.86	.64	INS
133	22	20	100	0	simples	metal	.95	.95	.35	1.55	4.20	65.82	.64	INS
124	22	20	60	0	duplo	plastico	.95	.95	.55	1.55	2.20	65.35	.63	INS
148	22	60	20	0	duplo	plastico	.35	.35	1.15	1.55	2.20	65.12	.63	INS
135	22	20	100	0	duplo	metal	.95	.95	.35	1.55	3.10	64.32	.62	INS
134	22	20	100	0	simples	madeira	.95	.95	.35	1.55	3.70	63.92	.62	INS
84	11+15	20	20	100	duplo	plastico	.75	1.20	1.15	.30	2.20	63.49	.61	INS
116	22	20	20	40	duplo	plastico	.95	.95	1.15	.60	2.20	62.84	.61	INS
117	22	20	20	100	simples	metal	.95	.95	1.15	.30	4.20	62.76	.61	INS
119	22	20	20	100	duplo	metal	.95	.95	1.15	.30	3.10	61.25	.59	INS
118	22	20	20	100	simples	madeira	.95	.95	1.15	.30	3.70	60.86	.59	INS
136	22	20	100	0	duplo	plastico	.95	.95	.35	1.55	2.20	60.89	.59	INS
120	22	20	20	100	duplo	plastico	.95	.95	1.15	.30	2.20	57.83	.56	INS
157	22	60	60	0	simples	metal	.35	.35	.55	1.55	4.20	56.72	.55	INS
159	22	60	60	0	duplo	metal	.35	.35	.55	1.55	3.10	55.19	.53	INS
158	22	60	60	0	simples	madeira	.35	.35	.55	1.55	3.70	54.83	.53	INS
149	22	60	20	40	simples	metal	.35	.35	1.15	.60	4.20	54.23	.52	INS
151	22	60	20	40	duplo	metal	.35	.35	1.15	.60	3.10	52.69	.51	INS
150	22	60	20	40	simples	madeira	.35	.35	1.15	.60	3.70	52.35	.51	INS
169	22	60	100	0	simples	metal	.35	.35	.35	1.55	4.20	52.31	.51	INS
160	22	60	60	0	duplo	plastico	.35	.35	.55	1.55	2.20	51.78	.50	INS
171	22	60	100	0	duplo	metal	.35	.35	.35	1.55	3.10	50.75	.49	INS
170	22	60	100	0	simples	madeira	.35	.35	.35	1.55	3.70	50.43	.49	INS
152	22	60	20	40	duplo	plastico	.35	.35	1.15	.60	2.20	49.29	.48	INS
153	22	60	20	100	simples	metal	.35	.35	1.15	.30	4.20	49.29	.48	INS
155	22	60	20	100	duplo	metal	.35	.35	1.15	.30	3.10	47.72	.46	INS
154	22	60	20	100	simples	madeira	.35	.35	1.15	.30	3.70	47.42	.46	INS
172	22	60	100	0	duplo	plastico	.35	.35	.35	1.55	2.20	47.36	.46	INS
156	22	60	20	100	duplo	plastico	.35	.35	1.15	.30	2.20	44.33	.43	INS
17	11+11	0	60	40	simples	metal	1.40	2.10	.55	.60	4.20	80.48	.78	BOM
19	11+11	0	60	40	duplo	metal	1.40	2.10	.55	.60	3.10	79.02	.76	BOM
18	11+11	0	60	40	simples	madeira	1.40	2.10	.55	.60	3.70	78.57	.76	BOM
29	11+11	0	100	40	simples	metal	1.40	2.10	.35	.60	4.20	76.01	.73	BOM
20	11+11	0	60	40	duplo	plastico	1.40	2.10	.55	.60	2.20	75.57	.73	BOM

sol	par	isol	isol	isol	vidro	caixilho	Kf	Kf_c	Kcob	Kpav	Kenv	Nic2	XNi	cls
ext	ext	ext	cob	pav										
21	11+11	0	60	100	simples	metal	1.40	2.10	.55	.30	4.20	75.45	.73	BOM
31	11+11	0	100	40	duplo	metal	1.40	2.10	.35	.60	3.10	74.54	.72	BOM
30	11+11	0	100	40	simples	madeira	1.40	2.10	.35	.60	3.70	74.10	.72	BOM
23	11+11	0	60	100	duplo	metal	1.40	2.10	.55	.30	3.10	73.98	.71	BOM
53	11+15	0	60	40	simples	metal	1.20	1.80	.55	.60	4.20	73.66	.71	BOM
22	11+11	0	60	100	simples	madeira	1.40	2.10	.55	.30	3.70	73.54	.71	BOM
55	11+15	0	60	40	duplo	metal	1.20	1.80	.55	.60	3.10	72.19	.70	BOM
54	11+15	0	60	40	simples	madeira	1.20	1.80	.55	.60	3.70	71.75	.69	BOM
32	11+11	0	100	40	duplo	plastico	1.40	2.10	.35	.60	2.20	71.10	.69	BOM
33	11+11	0	100	100	simples	metal	1.40	2.10	.35	.30	4.20	70.99	.69	BOM
24	11+11	0	60	100	duplo	plastico	1.40	2.10	.55	.30	2.20	70.54	.68	BOM
35	11+11	0	100	100	duplo	metal	1.40	2.10	.35	.30	3.10	69.51	.67	BOM
65	11+15	0	100	40	simples	metal	1.20	1.80	.35	.60	4.20	69.20	.67	BOM
34	11+11	0	100	100	simples	madeira	1.40	2.10	.35	.30	3.70	69.08	.67	BOM
56	11+15	0	60	40	duplo	plastico	1.20	1.80	.55	.60	2.20	68.75	.66	BOM
57	11+15	0	60	100	simples	metal	1.20	1.80	.55	.30	4.20	68.64	.66	BOM
67	11+15	0	100	40	duplo	metal	1.20	1.80	.35	.60	3.10	67.71	.65	BOM
66	11+15	0	100	40	simples	madeira	1.20	1.80	.35	.60	3.70	67.30	.65	BOM
59	11+15	0	60	100	duplo	metal	1.20	1.80	.55	.30	3.10	67.16	.65	BOM
58	11+15	0	60	100	simples	madeira	1.20	1.80	.55	.30	3.70	66.74	.64	BOM
36	11+11	0	100	100	duplo	plastico	1.40	2.10	.35	.30	2.20	66.07	.64	BOM
68	11+15	0	100	40	duplo	plastico	1.20	1.80	.35	.60	2.20	64.28	.62	BOM
69	11+15	0	100	100	simples	metal	1.20	1.80	.35	.30	4.20	64.19	.62	BOM
60	11+15	0	60	100	duplo	plastico	1.20	1.80	.55	.30	2.20	63.72	.62	BOM
71	11+15	0	100	100	duplo	metal	1.20	1.80	.35	.30	3.10	62.69	.61	BOM
70	11+15	0	100	100	simples	madeira	1.20	1.80	.35	.30	3.70	62.30	.60	BOM
89	11+15	20	60	40	simples	metal	.75	1.20	.55	.60	4.20	60.08	.58	BOM
72	11+15	0	100	100	duplo	plastico	1.20	1.80	.35	.30	2.20	59.26	.57	BOM
90	11+15	20	60	40	simples	madeira	.75	1.20	.55	.60	3.70	58.19	.56	BOM
101	11+15	20	100	40	simples	metal	.75	1.20	.35	.60	4.20	55.66	.54	BOM
93	11+15	20	60	100	simples	metal	.75	1.20	.55	.30	4.20	55.11	.53	BOM
125	22	20	60	40	simples	metal	.95	.95	.55	.60	4.20	54.46	.53	BOM
102	11+15	20	100	40	simples	madeira	.75	1.20	.35	.60	3.70	53.77	.52	BOM
94	11+15	20	60	100	simples	madeira	.75	1.20	.55	.30	3.70	53.22	.51	BOM
126	22	20	60	40	simples	madeira	.95	.95	.55	.60	3.70	52.58	.51	BOM
105	11+15	20	100	100	simples	metal	.75	1.20	.35	.30	4.20	50.70	.49	BOM
137	22	20	100	40	simples	metal	.95	.95	.35	.60	4.20	50.06	.48	BOM
129	22	20	60	100	simples	metal	.95	.95	.55	.30	4.20	49.51	.48	BOM
106	11+15	20	100	100	simples	madeira	.75	1.20	.35	.30	3.70	48.83	.47	BOM
138	22	20	100	40	simples	madeira	.95	.95	.35	.60	3.70	48.19	.47	BOM
130	22	20	60	100	simples	madeira	.95	.95	.55	.30	3.70	47.64	.46	BOM
141	22	20	100	100	simples	metal	.95	.95	.35	.30	4.20	45.14	.44	BOM
142	22	20	100	100	simples	madeira	.95	.95	.35	.30	3.70	43.29	.42	BOM
161	22	60	60	40	simples	metal	.35	.35	.55	.60	4.20	41.13	.40	BOM
162	22	60	60	40	simples	madeira	.35	.35	.55	.60	3.70	39.29	.38	BOM
173	22	60	100	40	simples	metal	.35	.35	.35	.60	4.20	36.83	.36	BOM
165	22	60	60	100	simples	metal	.35	.35	.55	.30	4.20	36.30	.35	BOM
174	22	60	100	40	simples	madeira	.35	.35	.35	.60	3.70	35.01	.34	BOM
166	22	60	60	100	simples	madeira	.35	.35	.55	.30	3.70	34.48	.33	BOM
177	22	60	100	100	simples	metal	.35	.35	.35	.30	4.20	32.07	.31	BOM
178	22	60	100	100	simples	madeira	.35	.35	.35	.30	3.70	30.28	.29	BOM
91	11+15	20	60	40	duplo	metal	.75	1.20	.55	.60	3.10	58.57	.57	MB
92	11+15	20	60	40	duplo	plastico	.75	1.20	.55	.60	2.20	55.15	.53	MB
103	11+15	20	100	40	duplo	metal	.75	1.20	.35	.60	3.10	54.12	.52	MB
95	11+15	20	60	100	duplo	metal	.75	1.20	.55	.30	3.10	53.57	.52	MB
127	22	20	60	40	duplo	metal	.95	.95	.55	.60	3.10	52.92	.51	MB
104	11+15	20	100	40	duplo	plastico	.75	1.20	.35	.60	2.20	50.71	.49	MB
96	11+15	20	60	100	duplo	plastico	.75	1.20	.55	.30	2.20	50.16	.48	MB
128	22	20	60	40	duplo	plastico	.95	.95	.55	.60	2.20	49.51	.48	MB
107	11+15	20	100	100	duplo	metal	.75	1.20	.35	.30	3.10	49.14	.47	MB
139	22	20	100	40	duplo	metal	.95	.95	.35	.60	3.10	48.50	.47	MB
131	22	20	60	100	duplo	metal	.95	.95	.55	.30	3.10	47.94	.46	MB

sol	par ext	isol ext	isol cob	isol pav	vidro	caixilho	Kf	Kf_c	Kcob	Kpav	Kenv	Nic2	XNi	cls
108	11+15	20	100	100	duplo	plastico	.75	1.20	.35	.30	2.20	45.75	.44	MB
140	22	20	100	40	duplo	plastico	.95	.95	.35	.60	2.20	45.11	.44	MB
132	22	20	60	100	duplo	plastico	.95	.95	.55	.30	2.20	44.56	.43	EXC
143	22	20	100	100	duplo	metal	.95	.95	.35	.30	3.10	43.55	.42	EXC
144	22	20	100	100	duplo	plastico	.95	.95	.35	.30	2.20	40.19	.39	EXC
163	22	60	60	40	duplo	metal	.35	.35	.55	.60	3.10	39.50	.38	EXC
164	22	60	60	40	duplo	plastico	.35	.35	.55	.60	2.20	36.17	.35	EXC
175	22	60	100	40	duplo	metal	.35	.35	.35	.60	3.10	35.17	.34	EXC
167	22	60	60	100	duplo	metal	.35	.35	.55	.30	3.10	34.64	.33	EXC
176	22	60	100	40	duplo	plastico	.35	.35	.35	.60	2.20	31.88	.31	EXC
168	22	60	60	100	duplo	plastico	.35	.35	.55	.30	2.20	31.35	.30	EXC
179	22	60	100	100	duplo	metal	.35	.35	.35	.30	3.10	30.37	.29	EXC
180	22	60	100	100	duplo	plastico	.35	.35	.35	.30	2.20	27.13	.26	EXC

Esta habitação, quando situada num piso intermédio ou no piso de cobertura (soluções 80, tabela 2.3 e 144, tabela 3.3), apresenta os valores seguintes:

localização	Nic	Nic/Ni
piso intermédio	58.22	60%
cobertura	71.52	55%

O valor de Nic é mais elevado no caso de a habitação estar situada na cobertura, o que significa que esta habitação consumirá mais energia para ser aquecida. Segundo esta perspectiva, a habitação situada no piso intermédio é "melhor".

É óbvio que a habitação situada na cobertura deverá ter maiores perdas de energia, dado que tem uma maior envolvente. No entanto, o valor de Nic/Ni é mais baixo no caso desta habitação, o que significa que o seu consumo de energia é menor quando comparado com o de referência. Esta habitação é "melhor" em termos do seu consumo relativo de energia, que traduz de certa forma a qualidade construtiva.

O 3º avaliador considerado, que resulta dos coeficientes de transmissão térmica, pretende limitar a possibilidade de compensação entre os vários elementos construtivos da envolvente.

O 4º avaliador, o factor de concentração de perdas das paredes exteriores, pretende limitar as heterogeneidades nas paredes exteriores, para as habitações que atinjam a classificação de excelente.

4.2.4.1 – Critério de avaliação da razão Nic/Ni

O critério de avaliação adoptado para este avaliador é o que consta do quadro 4.9.

Quadro 4.9		
método de avaliação proposto		
critério de avaliação da razão Nic/Ni		
nota	Nic/Ni máx (inclusivé)	Nic/Ni mín (exclusivé)
1	–	1.00
2	1.00	0.95
3	0.95	0.90
4	0.90	0.80
5	0.80	–

A nota 1 é atribuída a habitações não regulamentares. A nota 2 corresponde a habitações em que o valor de Nic é ligeiramente superior ao valor etiqueta Ni. As restantes notas refletem valores crescentes de qualidade.

É de referir que este avaliador tem um papel dominante nas habitações com pequena área de envolvente, pois em habitações com uma área de envolvente elevada é geralmente o valor de Nic que impõe a classificação final, como se pode verificar pela observação das tabelas.

4.2.4.2 – Critério de avaliação de Nic

Este avaliador pretende limitar o possível consumo de energia para manter a habitação à temperatura limiar de conforto (18°C).

A necessidade de utilizar este avaliador prende-se com o facto de em habitações com uma área elevada de envolvente os valores de Ni e Nic aumentarem, podendo habitações com valor de Nic muito elevado atingir classificações altas no avaliador Nic / Ni.

Pretende-se assim que as habitações classificadas de bom, muito bom e excelente não ultrapassem determinados níveis de consumo. Encoraja-se a utilização sempre que possível de envidraçados voltados aos quadrantes de sul.

Podem atribuir-se a este avaliador as notas 2, 3, 4, 5, como se mostra no quadro 4.10.

Quadro 4.10						
método de avaliação proposto						
critério de avaliação de Nic						
nota	zona I1		zona I2		zona I3	
	Nic mín (excl.)	Nic máx (incl.)	Nic mín (excl.)	Nic máx (incl.)	Nic mín (excl.)	Nic máx (incl.)
2	60	–	90	–	160	–
3	40	60	60	90	120	160
4	25	40	45	60	90	120
5	–	25	–	45	–	90

4.2.4.3 – Critério de avaliação dos coeficientes de transmissão térmica

Como já foi referido, a utilização deste avaliador resultou da necessidade de limitar o acesso a classificações elevadas de soluções construtivas desequilibradas, em que elementos de fraca qualidade são compensados por elementos de boa qualidade. Achou-se que desequilíbrios destes não eram de aceitar e resolveu estabelecer-se uma limitação adicional.

No quadro 4.11 é apresentado o critério de avaliação de cada coeficiente. A nota a atribuir a cada coeficiente é 1, 3 ou 5, correspondendo a nota 1 a valores do coeficiente superiores ao

máximo regulamentar (quadro 3.15). A fronteira entre o valor 3 e o valor 5 foi estabelecida tomando em parte como orientação os valores de referência do RCCTE; os valores adoptados, Klim, mostram-se no quadro 4.12.

No caso das paredes, o valor a avaliar é o valor do coeficiente de transmissão após correcção pelo factor de concentração de perdas.

Quadro 4.11

método de avaliação proposto
critério de avaliação de cada coeficiente
de transmissão térmica K

nota 1	$K > K_{\text{máx}}$
nota 3	$K_{\text{máx}} \leq K < K_{\text{lim}}$
nota 5	$K \leq K_{\text{lim}}$

Quadro 4.12

método de avaliação proposto
coeficientes de transmissão térmica limite
(W/m² .C)

elemento da envolvente	zona climática		
	I1	I2	I3
envolvente exterior:			
paredes (K _{fc})	1,40	1,20	0,95
pavimentos, coberturas	1,10	0,85	0,75
envidraçados	4,20	3,40	3,10
envolvente interior:			
paredes (K _{fc})	1,85	1,60	1,25
pavimentos, coberturas	1,45	1,10	1,00
envidraçados	5,60	4,50	4,10

Os valores utilizados como limite para os elementos da envolvente exterior foram estabelecidos, como foi referido, tendo em consideração os valores de referência do RCCTE. Listam-se em seguida soluções construtivas cujo valor do coeficiente de transmissão térmica é igual ou muito próximo (por defeito) do valor de K indicado (K_{xfc} para as paredes), para as várias zonas climáticas:

zona 1:

- parede:** dupla de tijolo furado 11+11, com 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas ($K_{xfc} = 1,36$);
- pavimento:** laje aligeirada de bloco cerâmico com 1 furo e 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas, fixado directamente ao pavimento ($K = 1,05$);
- cobertura:** cobertura inclinada com laje aligeirada de bloco cerâmico, com 20 cm de poliestireno expandido extrudido em placas sobre laje de esteira horizontal ($K = 1,10$);
- envidraçado:** vidro simples com caixilharia de metal e dispositivo de oclusão nocturna com boa estanquidade ao ar ($K = 4,20$).

zona 2:

- parede:** dupla de tijolo furado 11+15, com 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas ($K_{xfc} = 1,20$);
- pavimento:** laje aligeirada de bloco cerâmico com 2 ou 3 furos e 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas, sob tecto falso ($K = 0,85$);
- cobertura:** cobertura em terraço com laje aligeirada de bloco cerâmico com 1 furo e 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas ($K = 0,85$);
- envidraçado:** vidro duplo com 6 mm de espessura de lâmina de ar, com caixilharia de metal e dispositivo de oclusão nocturna sem boa estanquidade ao ar ($K = 3,40$).

zona 3:

- parede:** simples de tijolo furado 22, com 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas aplicado pelo exterior ($K_{xfc} = 0,95$);
- pavimento:** laje maciça, com 40 cm de poliestireno expandido moldado em placas, fixado directamente ao pavimento ($K = 0,75$);

- cobertura:** cobertura inclinada com laje aligeirada de bloco cerâmico, com 40 cm de poliestireno expandido moldado em placas sobre laje de esteira horizontal ($K = 0,75$);
- envidraçado:** vidro duplo com 6 mm de espessura de lâmina de ar, com caixilharia de metal e dispositivo de oclusão nocturna com boa estanquidade ao ar ($K = 3,10$).

Foi considerado que os valores limite dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente exterior deveriam ser 75% dos valores correspondentes da envolvente interior. Resultaram assim para os elementos da envolvente interior os valores indicados no quadro 4.12, para os quais se passam a referir soluções construtivas, à semelhança do que foi feito para a envolvente exterior:

zona 1:

- parede:** simples de tijolo furado 22, sem isolante ($K_{xfc} = 1,85$);
- pavimento:** laje maciça sem isolante no tecto falso ($K = 1,45$);
- cobertura:** laje maciça, com camada de forma de 10 cm de espessura e protecção leve ($K = 1,41$);
- envidraçado:** vidro simples com caixilharia de metal e sem dispositivo de oclusão nocturna ($K = 5,37$).

zona 2:

- parede:** simples de tijolo duplex 22, sem isolante ($K_{xfc} = 1,50$);
- pavimento:** laje maciça, com 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas, fixado directamente ao pavimento ($K = 1,00$);
- cobertura:** laje maciça, com 20 cm de aglomerado negro de cortiça em placas ($K = 0,90$);
- envidraçado:** vidro simples com caixilharia de metal e dispositivo de oclusão nocturna sem boa estanquidade ao ar ($K = 4,45$).

zona 3:

- parede:** dupla de tijolo furado 11+11, com 20 cm de poliestireno expandido preenchendo totalmente a caixa de ar ($K_{xfc} = 1,14$);
- pavimento:** laje maciça, com 20 cm de poliestireno expandido moldado em placas, fixado directamente ao pavimento ($K = 1,00$);
- cobertura:** laje maciça, com 20 cm de aglomerado negro de cortiça em placas ($K = 0,90$);
- envidraçado:** vidro simples com caixilharia de plástico e dispositivo de oclusão nocturna sem boa estanquidade ao ar ($K = 3,88$).

Uma vez classificado cada elemento da envolvente de acordo com o critério descrito, a nota a atribuir ao avaliador coeficientes de transmissão térmica é a menor das notas dos vários coeficientes.

4.2.4.4 – Critério de avaliação de f_c para as paredes exteriores

Como forma de garantir que, em soluções classificadas de excelente, não existem heterogeneidades significativas nos elementos da envolvente exterior opaca vertical (pontes térmicas), é utilizado o valor do factor de concentração de perdas, f_c . A este avaliador são atribuídas as notas 4 ou 5, de acordo com o quadro 4.13.

O valor 5, $f_c = 1,00$, corresponde a soluções com isolamento pelo exterior.

Quadro 4.13	
método de avaliação proposto critério de avaliação de f_c para as paredes exteriores	
nota 4	$f_c > 1$
nota 5	$f_c = 1$

4.2.4.5 – Obtenção da nota global

Obtidos os valores de cada um dos avaliadores, a nota global a atribuir à habitação é igual à menor das notas dos avaliadores

A classificação de Insuficiente é atribuída quando a habitação é não regulamentar, ou seja, quando $N_{ic} > N_i$ (nota 1 na razão N_{ic}/N_i) ou quando existe algum coeficiente de transmissão térmica superior ao valor máximo correspondente (nota 1 nos coeficientes de transmissão).

4.2.5 – Utilização do método

O método de avaliação apresentado é de fácil utilização. Passam a enumerar-se os vários passos a seguir na sua aplicação:

- 1 – determinação da nota da razão N_{ic}/N_i ;
- 2 – determinação da nota de N_{ic} ;
- 3 – determinação da nota dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente; para obter esta nota deve ser calculada a nota a atribuir a cada coeficiente, tomando como nota para os coeficientes de transmissão térmica a menor das notas dos vários coeficientes;
- 4 – determinação da nota do factor de concentração de perdas das paredes exteriores;
- 5 – determinação da nota global: toma-se como nota global a menor das notas dos diferentes avaliadores.

As tabelas dos anexos 1 a 4 foram classificadas de acordo com o procedimento de classificação apresentado, implementado na linguagem procedimental do Leonardo.

Como já foi referido, o método sofreu várias alterações ao longo do processo de elaboração, resultantes da observação dos resultados da sua aplicação às soluções constantes das tabelas.

4.3 – PROCESSO DE MELHORIA DE SOLUÇÕES

4.3.1 – Generalidades

O processo de melhoria de soluções que se apresenta em seguida destina-se a aconselhar alterações ao projecto de habitações que não cumpram as especificações do RCCTE, no respeitante ao inverno, para que estas especificações passem a ser cumpridas.

Este processo baseia-se em parte em trabalho já desenvolvido nesta área. Serão referidos nos pontos 4.3.2 e 4.3.3 os aspectos considerados mais relevantes de dois documentos recentemente elaborados, "O Comportamento dos Edifícios Face à Nova Regulamentação

Portuguesa de Térmica" [41] e "O Regulamento e as Técnicas de Construção (soluções construtivas)" [42].

As alterações propostas procuram respeitar as soluções construtivas existentes.

O processo procura soluções dentro das listadas nas tabelas elaboradas pelo LNEC [40].

As soluções finais propostas pretendem-se tanto quanto possível homogéneas, significando com isto que deverão apresentar um nível de qualidade semelhante para os diferentes elementos da envolvente.

4.3.2 – "O Comportamento dos Edifícios Face à Nova Regulamentação Portuguesa de Térmica"

Na sua tese para obtenção do grau de mestre em Construção de Edifícios, em 1990, José Mendes da Silva [41], apresenta soluções para tornar regulamentares um conjunto de habitações unifamiliares situadas nas zonas climáticas I2 e I3. Estas habitações constam de um inquérito elaborado no âmbito do Projecto MEREC e situam-se em alguns concelhos do centro do País.

Após análise das habitações à luz do RCCTE, o autor conclui que só cerca de 2% cumprem as especificações do regulamento relativamente ao inverno.

São propostas alterações a efectuar ao projecto destas habitações por forma a torná-las regulamentares, alterações estas que deverão obedecer a algumas regras:

- respeitar o mais possível o projecto inicial e a sua geometria, alterando somente o tipo de elementos construtivos (material e forma de colocação), com possíveis excepções no caso das paredes interiores;
- tentar limitar as alterações a efectuar a técnicas já disponíveis e preveligiar as mais económicas.

As alterações propostas consistem em modificar o tipo de elemento construtivo, substituindo-o por um outro cujo coeficiente de transmissão térmica seja inferior ou igual ao de referência.

As soluções alternativas são seleccionadas, na maior parte dos casos, de entre as soluções caracterizadas termicamente pelo LNEC [40].

Este processo procura colocar o projecto em situação que permita a verificação automática do RCCTE, ou numa situação próxima desta.

É em seguida feita uma síntese dos aspectos considerados mais importantes nas alterações propostas, para os vários elementos da envolvente:

paredes exteriores:

- respeito pelo tipo inicial de parede (simples ou dupla) e os tipos de panos utilizados;
- no caso de paredes simples, a solução proposta consiste em colocar poliestireno expandido com 2 ou 4 cm de espessura, pelo exterior;
- no caso de paredes duplas com caixa de ar francamente ventilada, sem isolante, pode ser colocado como isolante poliestireno extrudido em placas de 2 cm de espessura, fixado à face fria do pano interior da parede;
- no caso de paredes duplas com isolante preenchendo totalmente a caixa de ar, é proposta a criação de uma caixa de ar com 3 a 5 cm de espessura e utilizadas sempre que necessário placas de poliestireno extrudido com 2 cm de espessura;
- no caso de paredes de granito à vista, é proposto que a espessura do granito seja reduzida para 18 cm e que seja criado um pano interior de tijolo furado de 7 cm; este pano permite criar uma caixa de ar de 7 cm onde devem ser colocados 2 cm de poliestireno extrudido em placas;
- para resolver o problema das pontes térmicas em paredes duplas (as simples serão isoladas pelo exterior) o autor propõe que seja feita a sua correcção, simples ou dupla;

paredes interiores:

- na zona I2 o autor propõe que sejam utilizadas paredes simples de tijolo furado 22;
- na zona I3 o autor propõe que sejam utilizadas paredes duplas de tijolo furado 11+11, sem isolamento;

coberturas:

- no caso de a cobertura ser em terraço, a solução proposta consiste em utilizar uma cobertura invertida com 2 cm de poliestireno extrudido e camada de forma com 10 cm de espessura média;
- no caso de coberturas inclinadas com laje de esteira horizontal e desvão não útil, é recomendado que o desvão seja fortemente ventilado, devendo colocar-se 6 cm de lã mineral na parte superior da laje de tecto;
- no caso anterior, se o desvão for acessível, é recomendada a criação de dispositivos de ventilação, devendo usar-se como isolante placas de aglomerado negro de cortiça de 4 ou 6 cm;
- ainda no mesmo caso, se o desvão for útil, devem ser colocados 4 ou 6 cm de poliestireno extrudido sobre a laje inclinada;

pavimentos:

- é recomendada a colocação de uma camada de isolante na face inferior do pavimento sobre local aberto ou não aquecido;
- no caso de pavimento sobre local aberto, é recomendada a colocação de 4 cm de poliestireno expandido com revestimento sintético armado com malha de fibra de vidro;
- no caso de pavimento sobre local não aquecido, é recomendada a colocação de 2 cm de aglomerado negro de cortiça;

envidraçados:

- é recomendada a colocação de uma cortina interior nos envidraçados em que não haja qualquer tipo de protecção.

4.3.3 - "O Regulamento e as Técnicas de Construção (soluções construtivas)"

Neste documento Vítor Abrantes [42] faz uma análise cuidada das soluções construtivas da envolvente que apresentam coeficientes de transmissão térmica iguais ou inferiores aos valores de referência indicados no RCCTE.

São estudadas a maioria das soluções correntes, caracterizadas termicamente pelo LNEC.

O autor tira conclusões sobre as espessuras de isolamento necessárias para que diferentes paredes e coberturas estejam dentro dos valores de referência.

No quadro 4.14 reproduzem-se de forma esquemática as conclusões do autor para as paredes.

Relativamente à cobertura, são analisadas coberturas horizontais em terraço, coberturas inclinadas com isolamento térmico colocado sobre a esteira horizontal e coberturas inclinadas com isolamento térmico colocado sobre as vertentes. Para cada uma destas situações foi considerada a hipótese de utilização dos seguintes isolantes, assim codificados:

- A - espuma rígida de poliuretano em placas;
- B - poliestireno extrudido em placas;
- C - poliestireno expandido moldado em placas;
lã mineral em placas;
- D - aglomerado negro de cortiça em placas;
lã mineral em mantas;
- E - argila expandida a granel.

Reproduzem-se no quadro 4.15 as conclusões do autor, utilizando a codificação "letra+número" para indicar isolamento e a respectiva espessura. Por exemplo, lã mineral em placas com 2 cm de espessura, será codificada como C2.

É também estudado o problema das pontes térmicas, concluindo o autor que é sempre preferível corrigir em primeiro lugar as pontes térmicas e só depois enveredar pela colocação de isolante leve, embora o melhor seja utilizar ambas as técnicas.

No caso dos envidraçados, são indicadas algumas soluções de referência:

- vidro simples, caixilho de madeira e ocultação corrente;
- vidro simples, caixilho de metal e ocultação boa;
- vidro duplo com lâmina de ar de 6 mm.

Quadro 4.14

"O Regulamento e as Técnicas de Construção"
espessura de isolamento de paredes
(cm)

tipo de parede	zona climática		
	11	12	13
simples, isol. exterior:			
bloco de betão leve 20/25	0	2	2
tijolo 22	2	2	2
betão 10/20	2	4	4
bloco de betão normal 20/25 ou granito 40	2	2	4
duplas:			
tijolo 15+11 ou bloco de betão leve 15+10	0	0	2
bloco de betão normal 15+10 ou betão e tijolo 11 ou betão e bloco de betão 10	2	2	4

Quadro 4.15

"O Regulamento e as Técnicas de Construção"
espessura de isolamento da cobertura
(cm)

tipo de cobertura	zona climática		
	I1	I2	I3
horizontal:	A2	A2	A2
	B2	B2	B4
	C2	C2*	C4
inclinação s/ esteira:	A2	A4	A4
	B2*	B4	B4
	C4	C4	C4
	D4	D4	D6
	E10		
inclinação s/ vertente:	A4	A4	A4*
	B4	B4	B6
	C4	C6	C6
	D4	D6	D6

(*) estrutura em laje aligeirada

4.3.4 – Processo utilizado

Vai de seguida apresentar-se o processo de melhoria de soluções utilizado.

Este processo passa essencialmente pela colocação de isolante nos elementos da envolvente opaca, nos casos em que não exista, e pelo aumento da sua espessura, nos casos em que já exista.

No caso das paredes em contacto com locais não aquecidos, a melhoria pode implicar a alteração da solução construtiva, nomeadamente passando paredes simples a duplas. Esta opção foi tomada pelo facto de não ser comum o uso de isolamento pelo exterior em espaços fechados.

Se a parede interior é simples, o processo consiste em verificar o tipo de isolamento da parede exterior, decidindo por isolamento pelo interior se a parede exterior tiver também este tipo de isolamento; no caso de a parede exterior ter isolamento pelo exterior ou ser dupla, a parede interior passará a dupla. Numa fase subsequente, se necessário, será colocado isolante na caixa de ar.

No sentido de melhorar o desempenho térmico dos vãos envidraçados, é preconizada numa primeira fase a colocação de um dispositivo de oclusão sem boa estanquidade, se inexistente; numa segunda fase, será aconselhada a mudança de vidro simples para vidro duplo.

As alterações vão sendo efectuadas por etapas, melhorando um pouco alguns aspectos e verificando em seguida se a solução é regulamentar.

Numa primeira fase é baixada a espessura de isolamento dos vários elementos construtivos da solução de base para 20 mm, nos casos em que seja superior. O objectivo é fazer com que o processo não parta de uma solução muito desequilibrada.

Nas fases que se seguem o nível de isolamento vai sendo aumentado, procurando que os coeficientes de transmissão térmica dos vários elementos da envolvente sejam inferiores a determinada percentagem dos respectivos valores de referência; de etapa para etapa esta percentagem vai diminuindo.

Atingida a espessura máxima de isolante leve para determinado elemento da envolvente (60 mm para a envolvente opaca vertical e 100 mm para a envolvente opaca horizontal), este elemento mantém-se a partir daí inalterado.

O nível de isolamento, aqui reflectido pela percentagem do valor de referência, exigido para os elementos da envolvente opaca exterior é sempre superior ao exigido para os elementos da envolvente opaca interior.

Se o processo de melhoria não consegue identificar uma solução regulamentar, ou seja, se for atingido o nível máximo de isolamento sem que N_{ic} resulte menor ou igual a N_i , o projectista deverá rever o projecto, nomeadamente considerando a possibilidade de diminuir a área dos vãos envidraçados ou de aumentar os ganhos por eles proporcionados.

O processo elaborado consta de várias fases, que passam a descrever-se:

- 1- se existirem elementos construtivos cuja espessura do isolamento é superior a 20 mm, a espessura desses elementos é reduzida para 20 mm;
- 2- se a nota dos coeficientes de transmissão térmica é 1 (existem coeficientes de transmissão térmica superiores aos respectivos valores máximos regulamentares), as respectivas soluções construtivas são alteradas para as soluções regulamentares mais próximas;
- 3- se N_{ic} é superior a N_i , é aconselhada a correcção das pontes térmicas das paredes exteriores, quando estas não sejam simples com isolamento pelo exterior;
- 4- se N_{ic} é superior a N_i , o nível de isolamento dos elementos da envolvente opaca exterior será aumentado por forma a que os respectivos coeficientes de transmissão térmica resultem iguais ou inferiores a 115% dos respectivos valores de referência.
- 5- se N_{ic} é superior a N_i , o nível de isolamento dos elementos da envolvente opaca exterior será aumentado por forma a que os respectivos coeficientes de transmissão térmica resultem iguais ou inferiores aos respectivos valores de referência;
- 6- se N_{ic} é superior a N_i , o nível de isolamento dos elementos da envolvente opaca interior será aumentado por forma a que os respectivos coeficientes de transmissão térmica resultem iguais ou inferiores a 115% dos respectivos valores de referência;
- 7- nos vãos envidraçados sem ocultação nocturna é aconselhada a colocação de dispositivos de ocultação sem boa estanquidade;
- 8- se N_{ic} é superior a N_i , o nível de isolamento dos elementos da envolvente opaca exterior será aumentado por forma a que os respectivos coeficientes de transmissão térmica resultem iguais ou inferiores a 85% dos respectivos valores de referência;
- 9- se N_{ic} é superior a N_i , o nível de isolamento dos elementos da envolvente opaca interior será aumentado por forma a que os respectivos coeficientes de transmissão térmica resultem iguais ou inferiores aos respectivos valores de referência;

- 10– se N_{ic} é superior a N_i e os vãos envidraçados têm vidro simples, é aconselhada a sua mudança para duplo, nas zonas I2 e I3;
- 11– os passos anteriores são repetidos para percentagens decrescentes dos valores de referência; os valores adoptados são 70%, 55%, 40% e 30% para a envolvente exterior e seguidos, respectivamente, de 85%, 70%, 55% e 40% para os elementos da envolvente opaca interior;
- 12– se é atingida uma solução regulamentar, o processo de melhoria termina com êxito; se a melhor solução tentada ainda é não regulamentar – se for atingido o nível máximo de isolamento na envolvente opaca (60 mm para os elementos da envolvente vertical e 100 mm para os elementos da envolvente horizontal) sem que a solução passe a cumprir as especificações do RCCTE – o processo de melhoria termina sem êxito.

Como já foi referido, quando o processo termina sem que tenha sido possível encontrar uma solução regulamentar, a procura dessa solução deverá passar, na maioria dos casos, pela alteração da arquitectura do projecto. Será necessário, em regra, repensar a dimensão e orientação dos vãos envidraçados.

Capítulo 5

INFORMATIZAÇÃO DO MODELO

5.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo vai ser apresentada a informatização do modelo descrito no capítulo anterior. Procurou implementar-se um programa robusto, em detrimento de alguns aspectos relacionados com uma maior aplicabilidade.

Começa por falar-se da ferramenta utilizada, o gerador de sistemas periciais Leonardo. São referidas as características do sistema e alguns aspectos relacionados com a construção de uma base de conhecimentos neste sistema.

Em seguida é feita a descrição do programa e de alguns detalhes de implementação, com referência a extractos da listagem que se encontram em apêndice. É também apresentada uma sequência de "ecrans" obtida ao executar a base de conhecimentos.

A descrição do programa foi subdividida nos seguintes pontos:

- organização do programa;
- introdução de dados;
- cálculo do valor de N_i e N_{ic} ;
- melhoria de soluções;
- classificação.

5.2 – O GERADOR DE SISTEMAS PERICIAIS LEONARDO

A escolha do gerador de sistemas periciais Leonardo como ferramenta para implementar o modelo descrito no capítulo 4 foi motivada pelo facto de este sistema ter as potencialidades necessárias à tarefa em causa e se encontrar disponível.

O sistema Leonardo encontra-se disponível em duas versões, uma destinada a computadores DEC VAX, com o sistema operativo VMS, e outra para o sistema operativo MS-DOS.

Foi utilizada esta última, que funciona em computadores IBM-PC compatíveis com disco rígido e 640 Kb de memória.

Como já foi referido de modo breve, o Leonardo permite usar para a construção da base de conhecimentos regras e enquadramentos ("frame objects"), além de oferecer a possibilidade de implementar conhecimento de índole algorítmica na sua linguagem procedimental.

Os objectos são descritos por enquadramentos e estes podem estar estruturados de forma hierárquica. Cada enquadramento usa, por defeito, as características das classes que estão acima dele na hierarquia.

Alguns enquadramentos são já definidos pelo sistema: texto ("text"), real ("real"), procedimento ("procedure"), lista ("list"), "ecran" ("screen") e classe ("class"). Cada tipo de enquadramento tem já por defeito associado a si um conjunto de ranhuras ("slots"); algumas destas ranhuras têm obrigatoriamente que existir e o seu valor é estabelecido pelo sistema; outras ranhuras são opcionais e compete ao programador decidir da sua utilização.

Nos enquadramentos do tipo "real", "text" e "list" existem por defeito as ranhuras seguintes:

Name:
LongName:
Type:
Value:
Certainty:
DerivedFrom:
DefaultValue:
FixedValue:
AllowedValue:
ComputeValue:
OnError:
QueryPrompt:
QueryPreface:
Expansion:
Commentary:
Introduction:
Conclusion:

Podem ainda ser criadas pelo utilizador algumas outras ranhuras, de acordo com o tipo de enquadramento.

Os enquadramentos do tipo "procedure" possuem por defeito as ranhuras que a seguir se indicam:

Name:

LongName:

Type:

AcceptsReal:

AcceptsText:

AcceptsList:

ReturnsReal:

ReturnsText:

ReturnsList:

LocalReal:

LocalText:

LocalList:

Externals:

Body:

Nos enquadramentos do tipo "class" existem por defeito as seguintes ranhuras:

Name:

LongName:

Type:

Members:

MembersSlots:

As ranhuras sublinhadas não podem ser alteradas directamente pelo utilizador.

No nível 3 é permitida herança de vários níveis ("multilevel inheritance") e o uso de incerteza, baseada no cálculo de probabilidades Bayeasiano. Existe a possibilidade de herança múltipla, isto é, um objecto pode herdar propriedades de mais de uma classe. É permitida a criação de novas instâncias de uma classe durante a execução do programa.

O Leonardo tem o seu próprio editor de texto, para criação da base de conhecimentos. Antes de poder executar uma base de conhecimentos, esta deve ser convertida numa forma capaz de ser entendida pelo sistema, usando o comando "check", que invoca o compilador.

A linguagem procedimental do sistema é de fácil utilização e apresenta bastantes semelhanças com a linguagem Fortran. Utilizando os enquadramentos "procedure" é possível realizar eficientemente cálculos e operações de entrada/saída.

Os procedimentos podem ser chamados pelas regras, usando a directiva "run". Podem ainda ser executados automaticamente, quando o valor de um objecto é requerido e o procedimento foi indicado na ranhura "ComputeValue:".

A base de conhecimentos é construída a partir de um conjunto de regras e enquadramentos. As regras são da forma

```
if <antecedentes>
then <consequentes>
```

sendo os antecedentes ligados por "and" ou "or" lógicos e os consequentes por " ; ".

Quando se destinam a ser usadas para os objectos pertencentes a uma classe, podem ser da forma

```
for all <classe>
  if <antecedentes>
  then <consequentes>
```

ou ainda

```
for some <classe>
  if <antecedentes>
  then <consequentes>
```

As regras do primeiro tipo aplicam-se a todas as instâncias de determinada classe, enquanto as do segundo tipo terminam uma vez encontrada uma instância da classe que satisfaça a condição em causa.

O objectivo da procura ("goal") é identificado pela directiva "seek". O sistema usa por defeito um processo misto de "encadeamento para a frente" e "encadeamento para trás"; começa por utilizar "encadeamento para trás" e, quando não consegue prosseguir por este processo, muda automaticamente para "encadeamento para a frente".

O sistema pode também responder às questões "why ?" e "how ?", ajudando assim o utilizador a entender o caminho percorrido para estabelecer determinada solução.

O sistema gera automaticamente "ecrans" de entrada e saída de resultados. Além disso, possui ainda um utilitário para desenho de "ecrans", "Screen Design Utility"; os "ecrans" produzidos com este utilitário podem ser encadeados, permitindo ao utilizador recuar na cadeia de "ecrans" e alterar valores já introduzidos em "ecrans" anteriores.

São fornecidas com o programa duas bibliotecas, uma matemática e uma estatística.

Existe ainda a possibilidade de adquirir interfaces para os programas DBaseIII e Lotus123, além de um utilitário para o desenho de gráficos.

Além do ambiente de desenvolvimento existe também um ambiente de execução "Leonardo run-time system", que se destina a permitir a utilizadores finais executar as bases de conhecimentos, sem a possibilidade de as alterar.

5.3 – ORGANIZAÇÃO DO PROGRAMA

O programa principal, identificado na listagem do programa como "MainRuleSet", é simplesmente composto por duas regras e pela identificação do objectivo da procura ("goal"):

```
seek sessao
```

```
if dados are conhecidos  
and regulamentar is nao  
and melhoria is completa  
and classificacao is feita  
then sessao is terminada
```

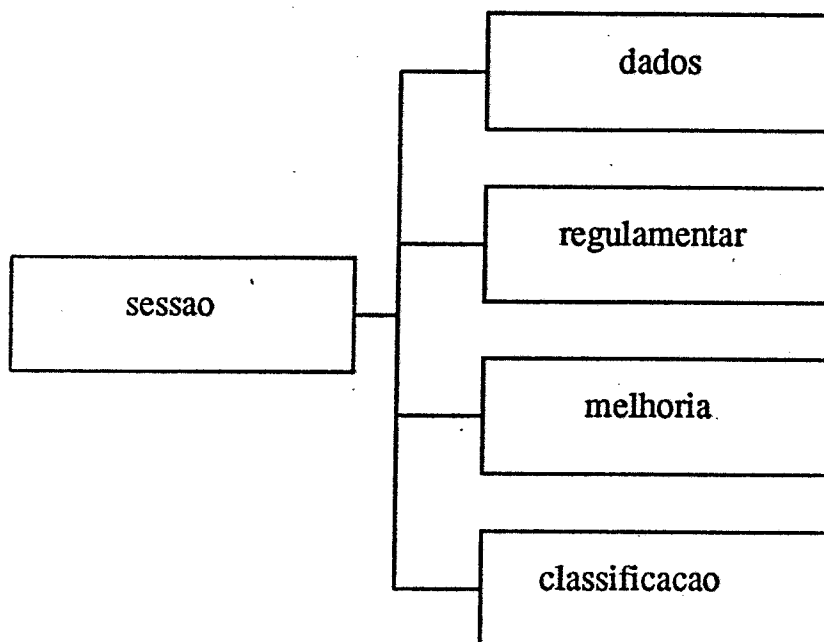
```
if dados are conhecidos  
and regulamentar is sim  
and classificacao is feita  
then sessao is terminada
```

Como se esquematiza no diagrama do quadro 5.1, o objectivo da procura, "sessao", depende da instanciação dos objectos "dados", "regulamentar", "melhoria" e "classificacao". Em cada um destes objectos foi codificado o conhecimento que lhe está associado.

O programa começa por colocar ao utilizador um conjunto de questões por forma a caracterizar o projecto em estudo. São pedidas as áreas e as características dos elementos da envolvente. As características dos elementos da envolvente permitem ao programa procurar num conjunto de ficheiros elaborados para o efeito, que contêm os elementos constantes das tabelas do LNEC [40], os valores dos coeficientes de transmissão térmica respectivos. Foi também elaborada uma tabela para o factor solar do vidro. De posse destes dados, o programa calcula os valores de N_i e N_{ic} , tais como definidos no RCCTE. Este cálculo é efectuado utilizando a linguagem procedimental do sistema Leonardo. Esta parte do programa está relacionada com o objecto "dados".

Quadro 5.1

organização geral da base de conhecimentos



Efectuado o cálculo de Ni e Nic, duas possibilidades se colocam: o projecto cumpre ou não as especificações do RCCTE (o objecto "regulamentar" toma o valor "sim" ou "não").

No caso afirmativo, o projecto é de imediato classificado segundo o método definido no capítulo 4: o objecto "classificação" toma então o valor "feita".

No caso de o projecto não ser regulamentar, e de o utilizador pretender aconselhamento no sentido de o tornar regulamentar, o programa utiliza a sua base de conhecimentos para sugerir alterações adequadas. Este módulo depende do objecto "melhoria". O projecto é então classificado, após ter sido alterado.

No caso de não ser pedido aconselhamento, o projecto é classificado de imediato.

5.4 – INTRODUÇÃO DE DADOS

A interface para introdução de dados foi implementada com a ajuda do utilitário "Screen Design Utility". Como já foi referido, este utilitário permite organizar conjuntos de "ecrans" ligados para a frente e para trás, isto é, terminado o preenchimento de um "ecran" o "ecran" seguinte é apresentado automaticamente. Por outro lado, se o utilizador cometer algum erro no preenchimento de um "ecran" e só mais tarde se aperceber, é-lhe possível recuar até ao "ecran" em causa para o corrigir.

O encadeamento de "ecrans" que foi programado é dinâmico, ou seja, depende do preenchimento do primeiro "ecran" quais os que se lhe seguem. Exemplificando, se tiverem sido indicadas áreas de valor zero para alguns elementos construtivos, os respectivos "ecrans" não são apresentados.

Os vários "ecrans" foram desenhados por forma a apresentar ao utilizador, sempre que possível, somente as opções que o programa suporta.

Foram desenhados 13 "ecrans" dependentes do objecto "dados", 10 dos quais se destinam à introdução de dados. Os restantes são utilizados para a apresentação dos resultados e serão referidos no ponto seguinte.

Nos quadros 5.2 a 5.6 é apresentada a sequência de "ecrans" de introdução de dados. Nos pontos seguintes serão mostrados os restantes "ecrans" desta sessão.

Os valores utilizados para as áreas foram os da vivenda que serviu de base à elaboração das tabelas do anexo 4, tal como se refere no ponto 4.2.3.2.

No "ecran" do quadro 5.2 o utilizador deve indicar os valores das áreas dos vários elementos da envolvente. Para os elementos cujas áreas sejam diferentes de zero, será depois apresentado um outro "ecran", para descrição mais pormenorizada. Dado que neste "ecran" foram indicadas áreas superiores a zero para as paredes, envidraçados e cobertura exteriores e para os pavimentos interiores, só os respectivos "ecrans" são apresentados.

No "ecran" do quadro 5.3, correspondente às paredes exteriores, a indicação do valor "SimpleIsolExterior" para o tipo de parede (parede simples com isolamento pelo exterior) vai condicionar os valores a apresentar como opções para o material e tipo de isolamento.

Podem notar-se neste "ecran" dois campos auxiliares, um após o campo "tipo" e outro após o campo "tipo de isolamento". A estes campos auxiliares estão associados objectos que têm por função determinar a lista de opções a apresentar ao utilizador nos campos seguintes. Para que não sejam visíveis, aos campos auxiliares é dada a cor de fundo.

O mesmo tipo de técnica é usada nos diferentes "ecrans" para evitar, tanto quanto possível, a introdução pelo utilizador de combinações que não existem nos ficheiros.

Quadro 5.2
descrição geral do projecto

The screenshot shows a software window titled "DESCRICAO GERAL DO PROJECTO" with a menu bar containing "Ficheiro", "Formato", "Ajuda", and "F12". The interface contains several input fields for building envelope data:

- Area da envolvente de interior:**
 - Paredes: 119.00 m2
 - Coberturas: 117.00 m2
 - Pavimentos: 100.00 m2
 - Envidraçados (vert.): 29.00 m2
- Area da envolvente exterior:**
 - Paredes: 119.00 m2
 - Coberturas: 117.00 m2
 - Pavimentos: 100.00 m2
 - Envidraçados (vert.): 29.00 m2
- Area da envolvente interior, para espaços nas aquecedoras:**
 - Paredes: 119.00 m2
 - Coberturas: 117.00 m2
 - Pavimentos: 100.00 m2
 - Envidraçados: 29.00 m2
- Area da envolvente exterior, para espaços nas aquecedoras:**
 - Paredes: 119.00 m2
 - Coberturas: 117.00 m2
 - Pavimentos: 100.00 m2
 - Envidraçados: 29.00 m2
- Area da envolvente exterior, para espaços nas aquecedoras (horiz.):**
 - Envidraçados (a Sul): 119.00 m2
 - Envidraçados (a SE): 117.00 m2
 - Envidraçados (a S): 100.00 m2
 - Envidraçados (a SW): 29.00 m2

At the bottom, there is a status bar showing "Ficheiro" and "F12".

Quadro 5.3

envolvente exterior – paredes

ENVELOPTE EXTERIOR

Paredes:

Area: 119.66

Tipo: Dupla

Material: Tijolo Furado 11x15

Tipo de isolamento:

Espeçura do isolame:

Correçao das pontes:

Scm Isolamento

Cortica Ou La Mantas Parcial

Poliestireno Ou La Placas Parcial

Poliestireno Extra Parcial

Espuma Poliuir Parcial

Poliestireno Ou La Placas Total

Poliestireno Extra Total

Espuma Poliuir Total

Keys: 1 Help 2 Quit 4 F1dHelp

<PgUp> Prev <Enter> Sel

Quadro 5.4

envolvente exterior – envidraçados

ENVELOPTE EXTERIOR

Envidracados (verticals):

Area: 20.60

Tipo: Simples Vidro Simples

Espeçura lamina de ar: 0

Tipo de caixilho: Metal

Tipo de vidro: Incolor 6

Dispositivo de oclusao:

Inexistente

Factor de obstrucao:

Envidracados a Sul:

Envidracados a SE:

Envidracados a SW:

Scm Isolamento

Poliestireno Ou La Placas Parcial

Poliestireno Extra Parcial

Espuma Poliuir Parcial

Poliestireno Ou La Placas Total

Poliestireno Extra Total

Espuma Poliuir Total

Keys: 1 Help 2 Quit 4 F1dHelp

<PgUp> Prev <Enter> Sel

Quadro 5.5

envolvente exterior – cobertura

ENVELOVENTE EXTERIOR (cont.)

Coberturas:

Área: 117.00
 Tipo: EnclinadaIsolEsteira
 Material: LajeAligeiradaBlocoCeramico
 Tipo de isolamento: PoliestirenoOnLaPlacasVentForte
 Espessura do isolamento: 20
 40
 60
 100

Page: 1 Help 2 Quit 4 F1dHelp (PgUp) Prev (Enter) Sel

Quadro 5.6

envolvente interior – pavimentos

ENVELOVENTE INTERIOR

Pavimentos:

Área: 117.00
 Material: LajeAligeiradaBlocoCeramico23
 Tipo de isolamento: SemIsolamentoSemCaixaAr
 Espessura do isolamento: 5

Page: 1 Help 2 Quit 4 F1dHelp (PgUp) Prev (Enter) Sel

5.5 – CALCULO DO VALOR DE N_i E N_{ic}

Para calcular os valores de N_i e N_{ic} é necessário obter os valores dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente. Como já se referiu, estes valores são lidos de ficheiros elaborados para o efeito, que se passam a indicar:

- paredes:
 - parext.dat: paredes simples de fachada – isolante exterior;
 - parint.dat: paredes simples de fachada – isolante interior;
 - pardup.dat: paredes duplas de fachada – isolante na caixa de ar;
- pavimentos:
 - pave.dat: pavimentos sobre espaços exteriores – isolante exterior;
 - pavi.dat: pavimentos sobre espaços interiores não aquecidos – isolante exterior;
- coberturas:
 - cobt.dat: coberturas horizontais (em terraço) – isolante exterior;
 - cobe.dat: coberturas inclinadas – isolante sobre esteira horizontal;
 - cobv.dat: coberturas inclinadas – isolante nas vertentes;
- envidraçados:
 - envv.dat: envidraçados verticais;
 - envh.dat: envidraçados horizontais;

No quadro 5.7 apresenta-se a título de exemplo o ficheiro "pardup.dat".

Quando existem ganhos solares é necessário conhecer o factor solar do vidro, que é lido do ficheiro "Sv.dat".

Os ficheiros com os coeficientes de transmissão térmica são lidos pelo procedimento "lerproc", que se encontra listado no apêndice.

O cálculo dos valores de N_i e N_{ic} é feito pelo procedimento "calculosproc", também listado no apêndice.

Quadro 5.7

Ficheiro "pardup.dat"

parede dupla	isolamento	espessura	Kf
TijoloFurado11+11	SemIsolamento	0	1.40
TijoloFurado11+11	CorticaOuLaMantasParcial	20	.90
TijoloFurado11+11	CorticaOuLaMantasParcial	40	.65
TijoloFurado11+11	CorticaOuLaMantasParcial	60	.50
TijoloFurado11+11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.85
TijoloFurado11+11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.60
TijoloFurado11+11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	60	.45
TijoloFurado11+11	PoliestirenoExtruParcial	20	.80
TijoloFurado11+11	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
TijoloFurado11+11	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
TijoloFurado11+11	EspumaPoliurParcial	20	.75
TijoloFurado11+11	EspumaPoliurParcial	40	.50
TijoloFurado11+11	EspumaPoliurParcial	60	.35
TijoloFurado11+11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	20	.95
TijoloFurado11+11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	40	.65
TijoloFurado11+11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	60	.50
TijoloFurado11+11	PoliestirenoExtruTotal	20	.90
TijoloFurado11+11	PoliestirenoExtruTotal	40	.60
TijoloFurado11+11	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
TijoloFurado11+11	EspumaPoliurTotal	20	.85
TijoloFurado11+11	EspumaPoliurTotal	40	.55
TijoloFurado11+11	EspumaPoliurTotal	60	.40
TijoloFurado11+15	SemIsolamento	0	1.20
TijoloFurado11+15	CorticaOuLaMantasParcial	20	.80
TijoloFurado11+15	CorticaOuLaMantasParcial	40	.60
TijoloFurado11+15	CorticaOuLaMantasParcial	60	.45
TijoloFurado11+15	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.75
TijoloFurado11+15	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.55
TijoloFurado11+15	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	60	.45
TijoloFurado11+15	PoliestirenoExtruParcial	20	.75
TijoloFurado11+15	PoliestirenoExtruParcial	40	.50
TijoloFurado11+15	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
TijoloFurado11+15	EspumaPoliurParcial	20	.70
TijoloFurado11+15	EspumaPoliurParcial	40	.45
TijoloFurado11+15	EspumaPoliurParcial	60	.35
TijoloFurado11+15	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	20	.90
TijoloFurado11+15	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	40	.60
TijoloFurado11+15	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	60	.45
TijoloFurado11+15	PoliestirenoExtruTotal	20	.85
TijoloFurado11+15	PoliestirenoExtruTotal	40	.55

TijoloFurado11+15	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
TijoloFurado11+15	EspumaPolíurTotal	20	.75
TijoloFurado11+15	EspumaPolíurTotal	40	.50
TijoloFurado11+15	EspumaPolíurTotal	60	.40
TijoloMacico11+Furado11	SemIsolamento	0	1.55
TijoloMacico11+Furado11	CorticaOuLaMantasParcial	20	.90
TijoloMacico11+Furado11	CorticaOuLaMantasParcial	40	.65
TijoloMacico11+Furado11	CorticaOuLaMantasParcial	60	.50
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.85
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.60
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	60	.45
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoExtruParcial	20	.80
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
TijoloMacico11+Furado11	EspumaPolíurParcial	20	.75
TijoloMacico11+Furado11	EspumaPolíurParcial	40	.50
TijoloMacico11+Furado11	EspumaPolíurParcial	60	.40
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	20	1.00
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	40	.70
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	60	.50
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoExtruTotal	20	.95
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoExtruTotal	40	.60
TijoloMacico11+Furado11	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
TijoloMacico11+Furado11	EspumaPolíurTotal	20	.85
TijoloMacico11+Furado11	EspumaPolíurTotal	40	.55
TijoloMacico11+Furado11	EspumaPolíurTotal	60	.40
TijoloMacico11+Furado15	SemIsolamento	0	1.30
TijoloMacico11+Furado15	CorticaOuLaMantasParcial	20	.85
TijoloMacico11+Furado15	CorticaOuLaMantasParcial	40	.60
TijoloMacico11+Furado15	CorticaOuLaMantasParcial	60	.50
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.80
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.60
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	60	.45
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoExtruParcial	20	.75
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
TijoloMacico11+Furado15	EspumaPolíurParcial	20	.70
TijoloMacico11+Furado15	EspumaPolíurParcial	40	.50
TijoloMacico11+Furado15	EspumaPolíurParcial	60	.35
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	20	.90
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	40	.65
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	60	.50
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoExtruTotal	20	.90
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoExtruTotal	40	.60
TijoloMacico11+Furado15	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
TijoloMacico11+Furado15	EspumaPolíurTotal	20	.80
TijoloMacico11+Furado15	EspumaPolíurTotal	40	.50
TijoloMacico11+Furado15	EspumaPolíurTotal	60	.40
BlocoLeve10+10	SemIsolamento	0	1.30
BlocoLeve10+10	CorticaOuLaMantasParcial	20	.80
BlocoLeve10+10	CorticaOuLaMantasParcial	40	.60
BlocoLeve10+10	CorticaOuLaMantasParcial	60	.45
BlocoLeve10+10	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.80
BlocoLeve10+10	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.55

BlocoLeve10+10	PoliestirenoOulaPlacasParcial	60	.45
BlocoLeve10+10	PoliestirenoExtruParcial	20	.75
BlocoLeve10+10	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
BlocoLeve10+10	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
BlocoLeve10+10	EspumaPoluiurParcial	20	.70
BlocoLeve10+10	EspumaPoluiurParcial	40	.45
BlocoLeve10+10	EspumaPoluiurParcial	60	.35
BlocoLeve10+10	PoliestirenoOulaPlacasTotal	20	.90
BlocoLeve10+10	PoliestirenoOulaPlacasTotal	40	.60
BlocoLeve10+10	PoliestirenoOulaPlacasTotal	60	.45
BlocoLeve10+10	PoliestirenoExtruTotal	20	.85
BlocoLeve10+10	PoliestirenoExtruTotal	40	.55
BlocoLeve10+10	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
BlocoLeve10+10	EspumaPoluiurTotal	20	.80
BlocoLeve10+10	EspumaPoluiurTotal	40	.50
BlocoLeve10+10	EspumaPoluiurTotal	60	.40
BlocoLeve10+15	Semisolamento	0	1.10
BlocoLeve10+15	CorticaOulaMantasParcial	20	.75
BlocoLeve10+15	CorticaOulaMantasParcial	40	.55
BlocoLeve10+15	CorticaOulaMantasParcial	60	.45
BlocoLeve10+15	PoliestirenoOulaPlacasParcial	20	.70
BlocoLeve10+15	PoliestirenoOulaPlacasParcial	40	.55
BlocoLeve10+15	PoliestirenoOulaPlacasParcial	60	.40
BlocoLeve10+15	PoliestirenoExtruParcial	20	.70
BlocoLeve10+15	PoliestirenoExtruParcial	40	.50
BlocoLeve10+15	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
BlocoLeve10+15	EspumaPoluiurParcial	20	.65
BlocoLeve10+15	EspumaPoluiurParcial	40	.45
BlocoLeve10+15	EspumaPoluiurParcial	60	.35
BlocoLeve10+15	PoliestirenoOulaPlacasTotal	20	.80
BlocoLeve10+15	PoliestirenoOulaPlacasTotal	40	.60
BlocoLeve10+15	PoliestirenoOulaPlacasTotal	60	.45
BlocoLeve10+15	PoliestirenoExtruTotal	20	.75
BlocoLeve10+15	PoliestirenoExtruTotal	40	.55
BlocoLeve10+15	PoliestirenoExtruTotal	60	.40
BlocoLeve10+15	EspumaPoluiurTotal	20	.70
BlocoLeve10+15	EspumaPoluiurTotal	40	.50
BlocoLeve10+15	EspumaPoluiurTotal	60	.35
BlocoNormal10+15	Semisolamento	0	1.50
BlocoNormal10+15	CorticaOulaMantasParcial	20	.90
BlocoNormal10+15	CorticaOulaMantasParcial	40	.65
BlocoNormal10+15	CorticaOulaMantasParcial	60	.50
BlocoNormal10+15	PoliestirenoOulaPlacasParcial	20	.85
BlocoNormal10+15	PoliestirenoOulaPlacasParcial	40	.60
BlocoNormal10+15	PoliestirenoOulaPlacasParcial	60	.45
BlocoNormal10+15	PoliestirenoExtruParcial	20	.80
BlocoNormal10+15	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
BlocoNormal10+15	PoliestirenoExtruParcial	60	.40
BlocoNormal10+15	EspumaPoluiurParcial	20	.75
BlocoNormal10+15	EspumaPoluiurParcial	40	.50
BlocoNormal10+15	EspumaPoluiurParcial	60	.35
BlocoNormal10+15	PoliestirenoOulaPlacasTotal	20	1.00
BlocoNormal10+15	PoliestirenoOulaPlacasTotal	40	.65
BlocoNormal10+15	PoliestirenoOulaPlacasTotal	60	.50

BlocoNormal10+15	PoliestirenoExtruTotal	20	.95
BlocoNormal10+15	PoliestirenoExtruTotal	40	.60
BlocoNormal10+15	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
BlocoNormal10+15	EspumaPoliurTotal	20	.85
BlocoNormal10+15	EspumaPoliurTotal	40	.55
BlocoNormal10+15	EspumaPoliurTotal	60	.40
Betao+TijoloFurado11	SemIsolamento	0	1.55
Betao+TijoloFurado11	CorticaOuLaMantasParcial	20	.95
Betao+TijoloFurado11	CorticaOuLaMantasParcial	40	.65
Betao+TijoloFurado11	CorticaOuLaMantasParcial	60	.50
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.90
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.60
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	60	.45
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoExtruParcial	20	.85
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoExtruParcial	60	.45
Betao+TijoloFurado11	EspumaPoliurParcial	20	.75
Betao+TijoloFurado11	EspumaPoliurParcial	40	.50
Betao+TijoloFurado11	EspumaPoliurParcial	60	.40
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	20	1.00
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	40	.70
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	60	.50
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoExtruTotal	20	.95
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoExtruTotal	40	.60
Betao+TijoloFurado11	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
Betao+TijoloFurado11	EspumaPoliurTotal	20	.85
Betao+TijoloFurado11	EspumaPoliurTotal	40	.55
Betao+TijoloFurado11	EspumaPoliurTotal	60	.40
Betao+Bloco10	SemIsolamento	0	1.55
Betao+Bloco10	CorticaOuLaMantasParcial	20	.95
Betao+Bloco10	CorticaOuLaMantasParcial	40	.65
Betao+Bloco10	CorticaOuLaMantasParcial	60	.50
Betao+Bloco10	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	20	.90
Betao+Bloco10	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	40	.60
Betao+Bloco10	PoliestirenoOuLaPlacasParcial	60	.45
Betao+Bloco10	PoliestirenoExtruParcial	20	.85
Betao+Bloco10	PoliestirenoExtruParcial	40	.55
Betao+Bloco10	PoliestirenoExtruParcial	60	.45
Betao+Bloco10	EspumaPoliurParcial	20	.75
Betao+Bloco10	EspumaPoliurParcial	40	.50
Betao+Bloco10	EspumaPoliurParcial	60	.40
Betao+Bloco10	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	20	1.00
Betao+Bloco10	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	40	.70
Betao+Bloco10	PoliestirenoOuLaPlacasTotal	60	.50
Betao+Bloco10	PoliestirenoExtruTotal	20	.95
Betao+Bloco10	PoliestirenoExtruTotal	40	.60
Betao+Bloco10	PoliestirenoExtruTotal	60	.45
Betao+Bloco10	EspumaPoliurTotal	20	.85
Betao+Bloco10	EspumaPoliurTotal	40	.55
Betao+Bloco10	EspumaPoliurTotal	60	.40

Para apresentar os resultados dos cálculos efectuados são utilizados os "ecrans" "screen5" e "screen6". Neste último "ecran" é já indicado se o projecto é ou não regulamentar, de acordo com o valor do objecto "regulamentar".

No exemplo que tem vindo a seguir-se, estes "ecrans" foram preenchidos como se mostra nos quadros 5.8 e 5.9.

5.6 – MELHORIA DE SOLUÇÕES

Em seguida vai descrever-se a implementação do processo de melhoria de soluções, desenvolvido no capítulo anterior.

Os elementos da envolvente foram estruturados de forma hierárquica, como se esquematiza no quadro 5.10, o que permite tratar de forma uniforme os elementos pertencentes a uma mesma classe.

Em cada uma das classes podem ser criadas ranhuras, as quais serão herdadas por todas as suas sub-classes e instâncias. Assim, a instância "parext" (parede exterior) herda as ranhuras de "opaca" e de "solucao". A instância "envv" (envidraçado vertical exterior) herda as ranhuras de "envidracada" e de "solucao".

Na classe "solucao" foram criadas as ranhuras:

area:
K:
fcor:
Kmax:
Klim:
Kref:
nota:
ficheiro:
mudou:

Na classe "opaca" foram criadas as ranhuras:

Kc:
tipo:

Quadro 5.8

necessidades nominais específicas de aquecimento

NECESSIDADES NOMINAIS ESPECÍFICAS DE AQUECIMENTO						
Envolvente exterior:						
	R_{ext}	K_{lim} (W/m ² .°C)	K	area (m ²)	f_c (—)	H_k (W/°C)
Paredes	1.41	.53	.70	117.00	1.00	141.00
Pavimentos	.30	.75	.00	.00	1.00	.00
Coberturas	.30	.75	1.15	117.00	1.00	134.55
Envid. vert.		3.10	5.00	29.00		116.00
Envid. hor.		3.10	.00	.00		.00
Envolvente interior:						
Paredes	1.90	1.25	.00	.00	1.00	.00
Pavimento	1.20	1.00	1.55	177.00	1.00	274.35
Coberturas	1.20	1.00	.00	.00	1.00	.00
Envidracados		4.10	.00	.00		.00
Resumo de H_k :						91.00

Hit any key to continue

Quadro 5.9

verificação da satisfação das exigências do regulamento – inverno

VERIFICAÇÃO DA SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DO REGULAMENTO – INVERNO	
Coeficiente global de aquecimento	0.0000
Coeficiente global de calor	0.0000
Coeficiente global de pavimento	0.0000
Necessidades nominais de aquecimento (Hic)	0.0000
Necessidades nominais de aquecimento de referencia (H1)	0.0000
O projecto é não regulamentar: - Hic é superior a H1: - existe algum K > K_{lim}.	

Hit any key to continue

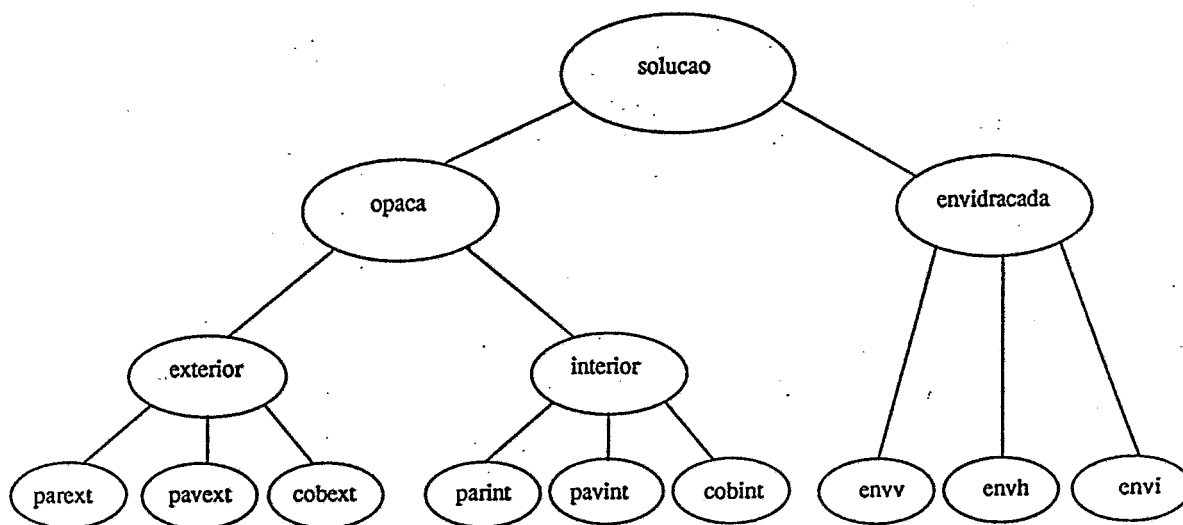
material:
isolamento:
isolausar:
episol:
correccao:

Na classe "envidracada" foram criados as ranhuras:

tipo:
caixilharia:
disposclusao:
espessuraar:

Quadro 5.10

estrutura hierárquica dos elementos da envolvente



As classes "exterior" e "interior" foram criadas por ser por vezes necessário tratar de forma distinta as envolventes opaca exterior e interior respectivamente. As ranhuras que possuem são as herdadas das classes acima delas na hierarquia.

No diagrama do quadro 5.11 é mostrado o esquema de dependências do objecto "melhoria".

O processo de melhoria depende deste objecto, o qual implementa uma série de transformações dependentes do objecto "transformacoes".

Do objecto "melhoria" depende ainda o objecto "alteracoes", que existe com a finalidade de mostrar ao utilizador as alterações eventualmente efectuadas.

O objecto "transformacoes", por sua vez, implementa as várias fases do processo de melhoria através dos objectos seguintes:

- transform0 - fase 1
- transform1 - fase 2
- transform2 - é usado para pedir ao utilizador o tipo de isolante a colocar em cada elemento da envolvente opaca, se necessário
- transform3 - fases 3 a 5
- transform4 - fases 6 a 12

Cada um destes objectos contém um conjunto de regras ("RuleSet") que implementam as transformações da fase ou fases a que estão associados, como se pode observar nas listagens apresentadas em apêndice.

Quando o utilizador pretende aconselhamento para melhorar o projecto em estudo, o sistema, através do seu mecanismo de inferência, decide quais as regras que necessita utilizar para melhorar a solução em causa. Uma vez encontrada uma solução regulamentar, o objecto "transformacoes" toma o valor "conhecidas".

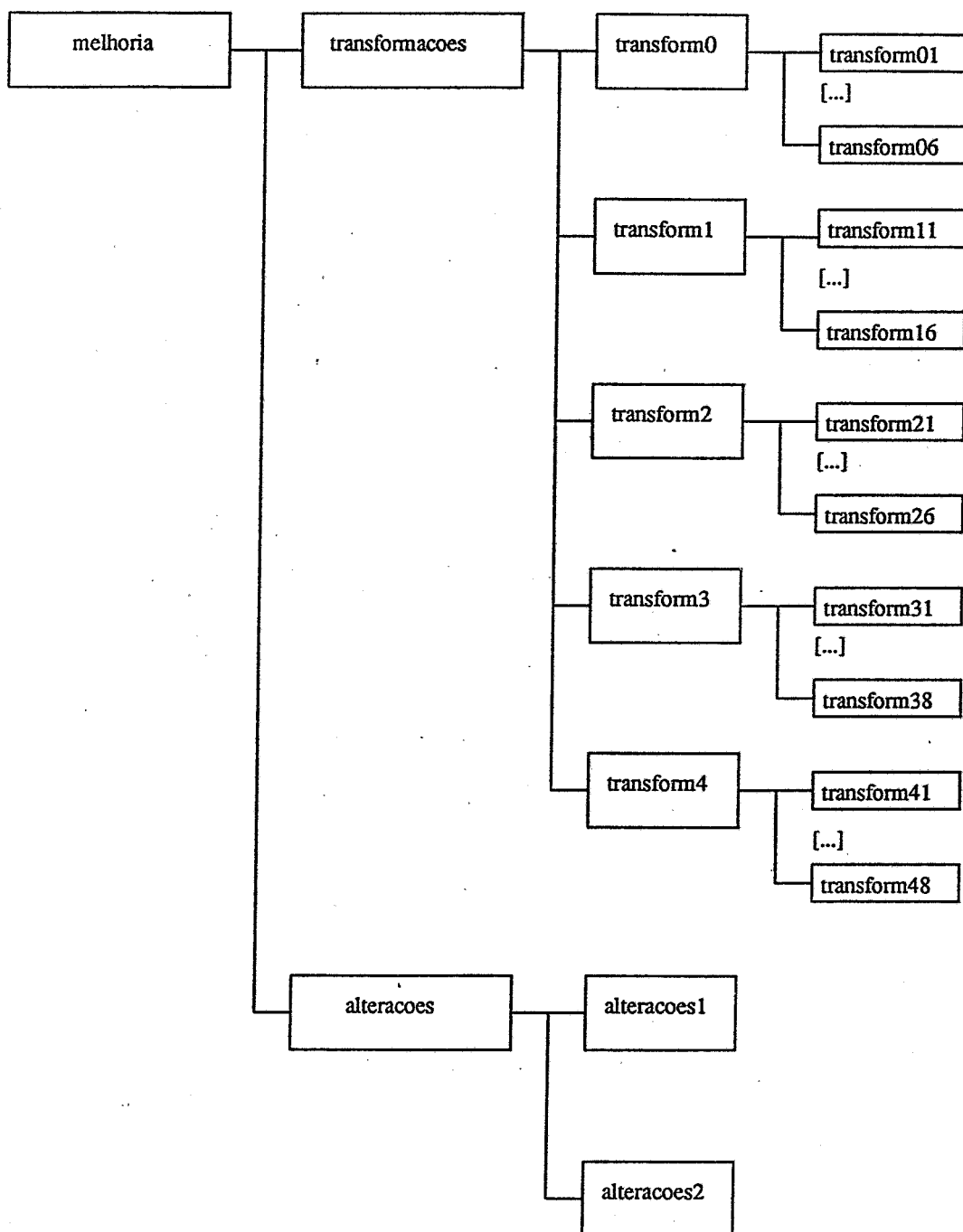
Em seguida são mostradas as alterações que o sistema sugere. O objecto "alteracoes" toma então o valor "mostradas".

Nos quadros 5.12 a 5.15 reproduzem-se os "ecrans" com as alterações aconselhadas pelo sistema no exemplo que tem vindo a seguir-se.

Nos quadros 5.16 e 5.17 são mostrados os "ecrans" "screen7" e "screen8", que apresentam os cálculos após efectuadas as alterações.

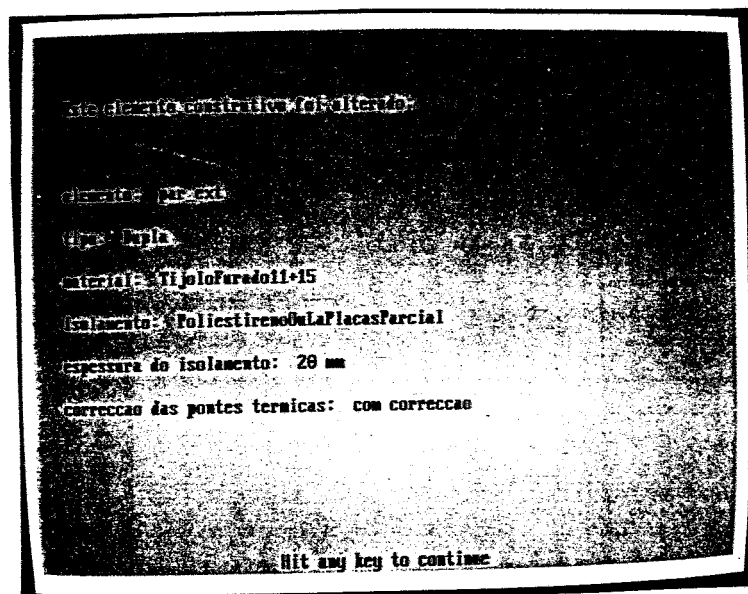
O objecto "melhoria" toma o valor "completa" quando as "transformacoes" são "conhecidas" e as "alteracoes" foram "mostradas".

diagrama de dependências do objecto "melhoria"



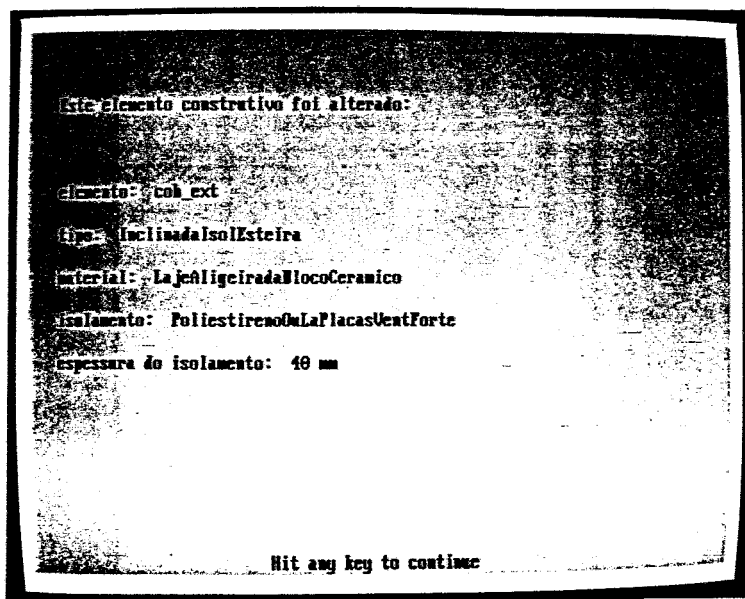
Quadro 5.12

alterações: parede exterior



Quadro 5.13

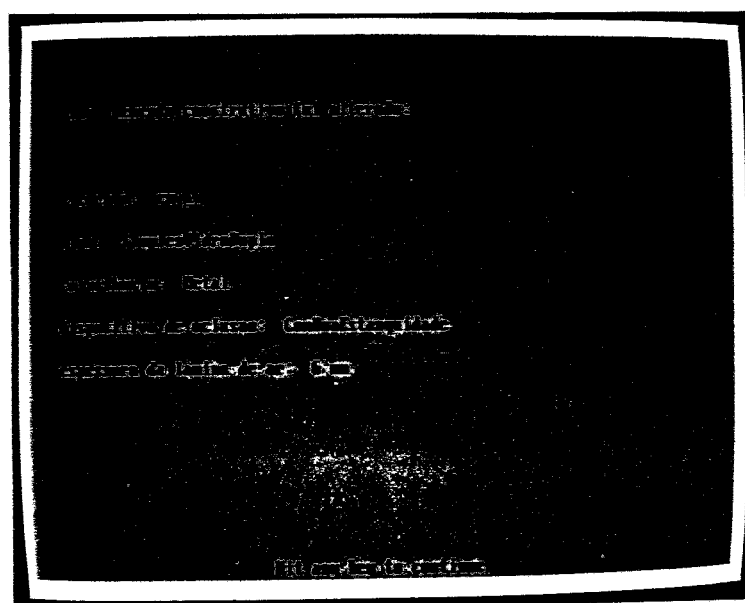
alterações: cobertura



aterações: pavimento interior



alterações: envidraçados verticais exteriores



Quadro 5.16

necessidades nominais específicas de aquecimento – após melhoria

NECESSIDADES NOMINAIS ESPECÍFICAS DE AQUECIMENTO (após processo de melhoria)						
Envolvente exterior:						
	K_{max}	K_{lim} (W/m ² .oC)	K	area (m ²)	f_c (—)	K_A (W/oC)
Paredes	1.45	.59	.75	119.00	1.30	115.00
Pavimentos	.90	.75	.00	.00	1.00	.00
Coberturas	.90	.75	.75	117.00	1.00	87.75
Envid. vert.		3.10	3.10	20.00		62.00
Envid. hor.		3.10	.00	.00		.00
Envolvente interior:						
Paredes	1.90	1.25	.00	.00	1.30	.00
Pavimento	1.20	1.00	.85	117.00	1.00	99.45
Coberturas	1.20	1.00	.00	.00	1.00	.00
Envidracados		4.10	.00	.00		.00
Renovação de ar:						91.00

Quadro 5.17

verificação da satisfação das exigências do regulamento – após melhoria

VERIFICAÇÃO DA SATISFAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DO REGULAMENTO - INVERNO (após processo de melhoria)	
Necessidades brutas de aquecimento	15595.04
Ganhos solares úteis	.00
Área útil de pavimento	100.00
Necessidades nominais de aquecimento (N _{ic})	155.95
Necessidades nominais de aquecimento de referência (N _i)	155.27

Para encontrar uma solução regulamentar, poderá haver necessidade de colocar isolante leve em elementos que na solução de base não tenham. O isolante a usar, se necessário, é seleccionado pelo utilizador.

Poderá também haver necessidade de alterar o tipo de parede interior, passando-a de simples a dupla. Neste caso, é também o utilizador que escolhe o material a utilizar.

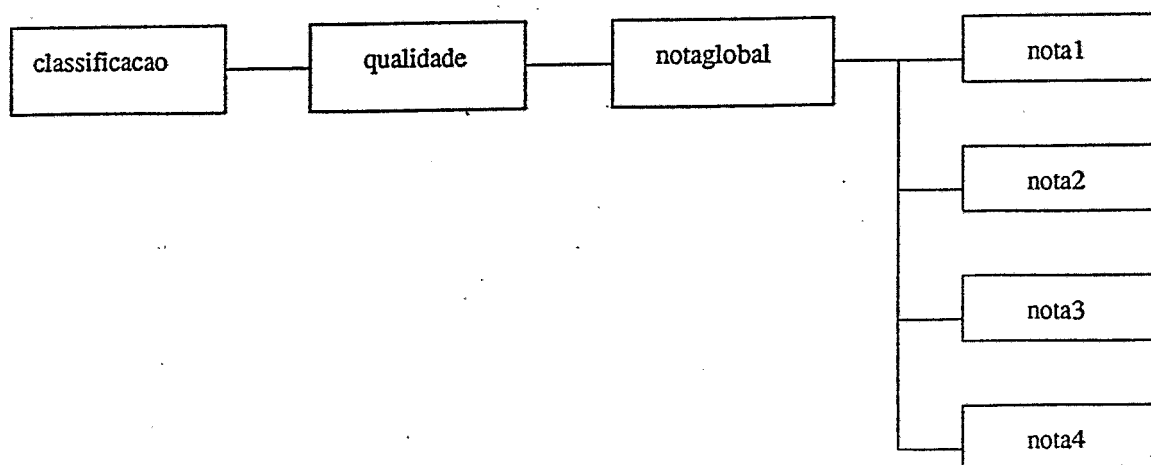
5.7 – CLASSIFICAÇÃO

A implementação da classificação da solução em estudo depende do objecto "classificacao". Este objecto toma o valor "feita" quando o processo de classificação está concluído.

Como se pode observar no diagrama do quadro 5.18, o objecto "classificacao" depende do objecto "qualidade" (que pode tomar os valores Insuficiente, Suficiente, Bom, MuitoBom ou Excelente). Este por sua vez depende do objecto "notaglobal" (que pode tomar os valores 1,2,3,4 ou 5).

Quadro 5.18

diagrama de dependências do objecto "classificacao"



O valor de "notaglobal" é obtido a partir dos objectos:

- "nota1": respeitante à relação Nic/Ni ;
- "nota2": respeitante a Nic ;
- "nota3": respeitante aos coeficientes de transmissão térmica;
- "nota4": respeitante ao factor de concentração de perdas das paredes exteriores.

Para apresentação do resultado da classificação é utilizado o "ecran" "screen9", de que se reproduz uma fotografia no quadro 5.19. Neste "ecran" é ainda mostrado o perfil com as notas dos avaliadores.

Quadro 5.19
classificação do projecto

PERFIL DE AVALIAÇÃO					
avaliadores	notas				
	1	2	3	4	5
- Razão Nic / Ni			3		
- Necessidades nominais de aquecimento (Nic)		2			
- Coeficientes de transmissão térmica			3		
- Factor de concentração de perdas (par. ext.) ..				4	
Classificação do projecto: Suficiente					

Capítulo 6

TESTE DO MODELO

6.1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo vão ser referidos os processos utilizados para testar o método de avaliação do comportamento térmico dos edifícios no inverno e as recomendação fornecidas ao utilizador quando a habitação em estudo não cumpre os requisitos impostos pelo RCCTE.

Vai ser ainda referido o trabalho desenvolvido para verificar o correcto funcionamento do programa.

O método de avaliação foi cuidadosamente planeado, tendo sido desenhado por forma a poder aplicar-se a um vasto leque de edifícios de habitação. Foi feita uma definição cuidada do domínio de variação dos parâmetros envolvidos para verificar o comportamento do método; este foi aplicado às soluções contidas nas tabelas dos anexos, num total de 5664 soluções diferentes.

Para auxiliar na análise das tabelas contidas no anexo 1 foram elaborados gráficos, que serão apresentados neste capítulo.

O teste do método consistiu essencialmente em observar o seu comportamento quando aplicado às soluções constantes das tabelas.

O processo de melhoria de soluções foi definido tendo como objectivo o aconselhamento de soluções tanto quanto possível homogéneas e baseou-se em conhecimentos correntes no domínio das soluções do ponto de vista térmico e nos documentos referidos no capítulo 4.

O programa que informatiza o modelo desenvolvido foi testado num número apreciável de casos, no sentido de verificar o seu correcto funcionamento e a sua robustez.

6.2 – MÉTODO DE AVALIAÇÃO

6.2.1 – Considerações gerais

O método de avaliação apresentado no capítulo 4 foi desenvolvido tendo em mente algumas linhas mestras:

- poder aplicar-se a qualquer edifício de habitação;
- atribuir classificações que estejam de acordo com a noção corrente de qualidade no domínio térmico;
- não ser demasiado restritivo;
- não permitir o acesso a classificações elevadas de soluções que, embora com baixo consumo de energia para aquecimento, não sejam homogéneas;
- ser objectivo;
- ser de fácil aplicação.

No sentido de seguir algumas destas linhas mestras, foram elaboradas as tabelas do anexo 1, tal como se descreveu no parágrafo 4.2.3.1. Estas tabelas apresentam um vasto leque de soluções, além de relações de áreas muito diversas. Com base nelas, foram elaborados os gráficos 6.1 a 6.9.

Da análise das tabelas e dos gráficos foram extraídas conclusões que permitiram, como já foi referido, aferir o método.

Para observar também o comportamento do método em situações concretas, foram ainda elaboradas as tabelas dos anexos 2, 3 e 4, que contêm várias soluções construtivas para uma habitação T2 num piso intermédio, para uma habitação T2 num piso de cobertura e para uma vivenda isolada, como se descreveu no parágrafo 4.2.3.2.

Estas tabelas foram também classificadas para testar o comportamento do método. Da sua análise concluiu-se que o método apresentado é consistente quando aplicado a estas soluções.

Dada a forma como as soluções das tabelas foram escolhidas, abrangendo uma vasta gama de relações de áreas e de soluções construtivas, está-se em crer que o método desenvolvido poderá ser aplicado a qualquer tipo de edifício de habitação.

A noção de qualidade no domínio térmico reveste-se ainda de alguma subjectividade. O facto do método se basear no RCCTE reduz o problema, uma vez que são classificadas de Insuficiente as soluções não regulamentares. A definição dos critérios de atribuição das restantes classificações não está seguramente muito afastada das opiniões correntes no domínio térmico, ainda que diferenças de opinião possam existir.

Os critérios estabelecidos não são muito restritivos, ainda que a atribuição de classificações elevadas tenha sido reservada a soluções homogéneas. Consideram-se homogéneas as soluções em que o desempenho térmico dos vários elementos da envolvente não é muito diferente. No caso da classificação de Excelente, é ainda exigido que o factor de concentração de perdas das paredes exteriores seja igual a 1,00.

Para que o método seja objectivo, os resultados da sua aplicação não devem depender de quem o utiliza. O grau de objectividade conseguido é plenamente satisfatório, pois a caracterização da solução em estudo é feita com base em informação bastante bem estruturada.

A fácil aplicação do método está relacionada com o facto de este utilizar como avaliadores parâmetros que o utilizador deverá calcular para verificar se o projecto em estudo satisfaz as especificações do RCCTE.

6.2.2 – Considerações sobre as tabelas do anexo 1

Vão de seguida tecer-se algumas considerações sobre a análise das tabelas do anexo 1 e dos gráficos 6.1 a 6.9 que lhes correspondem.

As soluções apresentadas nas tabelas e gráficos foram divididas em três grupos, grupo 1, grupo 2 e grupo 3, por ordem crescente de qualidade. Os coeficientes de transmissão térmica das soluções dos grupos 1 e 2 variam com a zona climática, só se mantendo constantes no grupo 3.

Os gráficos mostram essencialmente os limites impostos ao valor de N_{ic} , para as classificações de Bom, Muito Bom e Excelente, para as várias zonas climáticas.

O posicionamento das soluções dos diferentes grupos relativamente a estes limites permitem concluir que os valores escolhidos são equilibrados.

Também o efeito da existência de ganhos solares pode ser observada. Tal como a classificação foi projectada, a sua não existência pode contribuir significativamente para baixar a classificação de uma solução.

Gráfico 6.1

soluções grupo 1 – zona climática I1

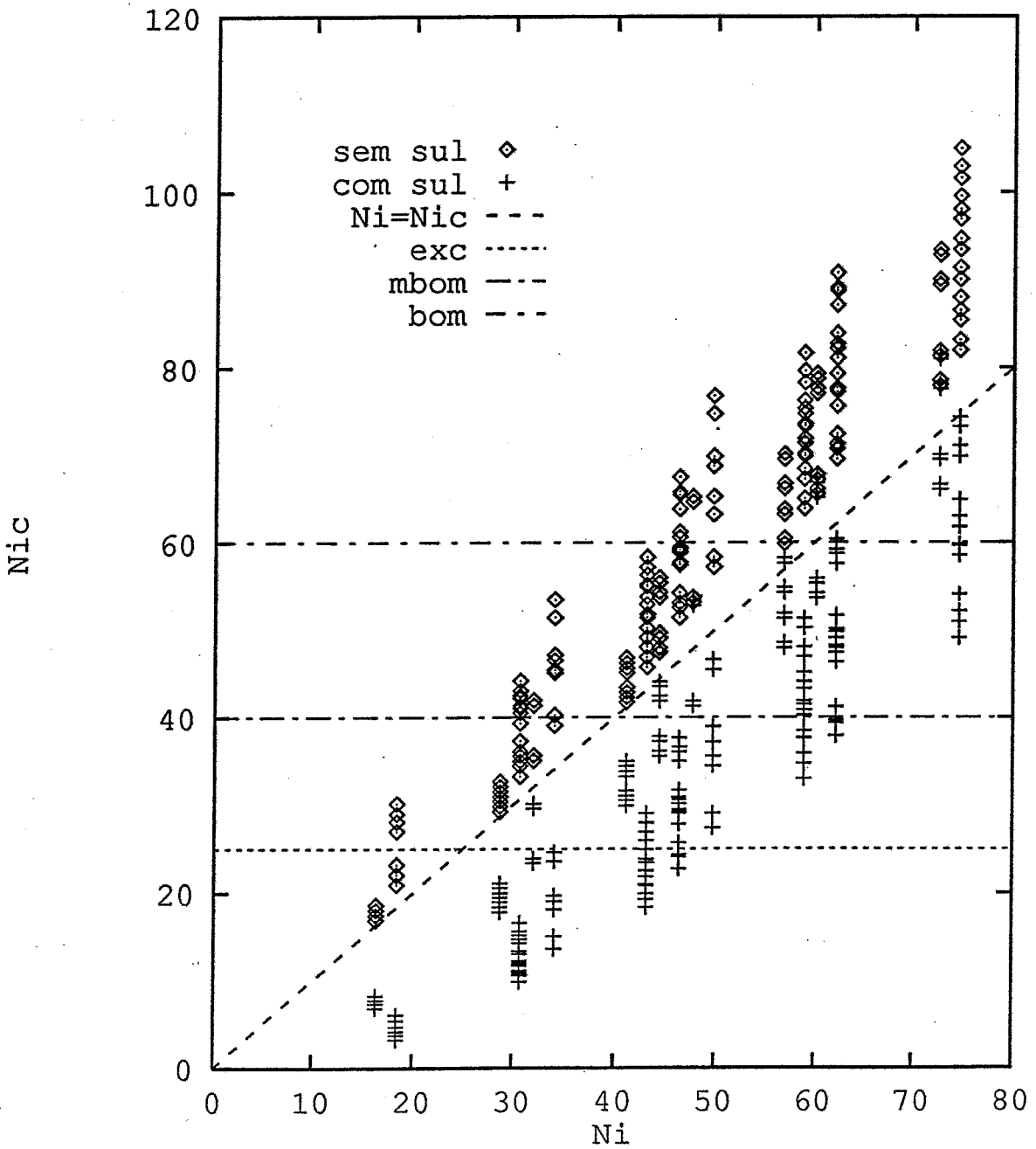


Gráfico 6.2

soluções grupo 2 – zona climática II

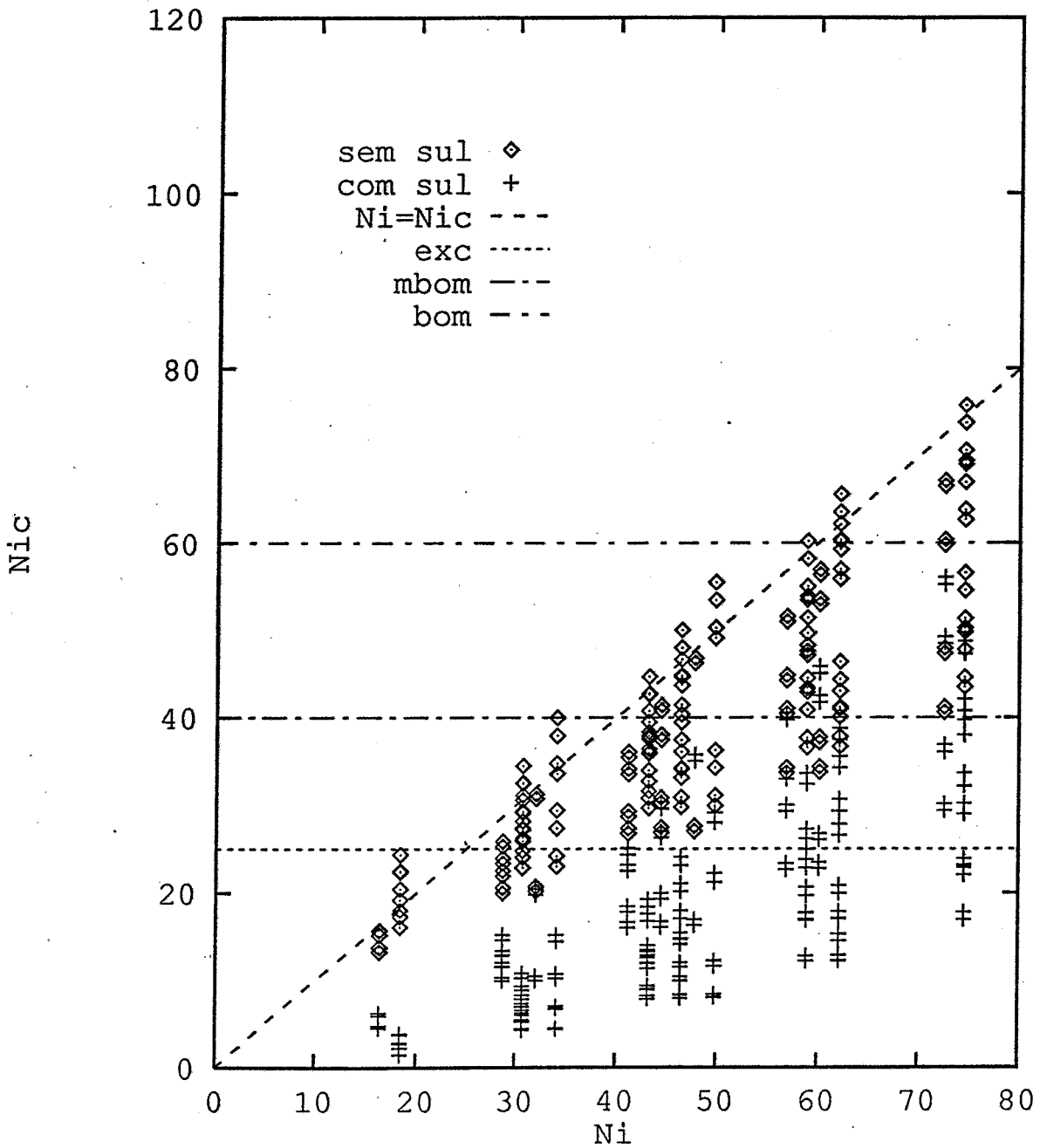


Gráfico 6.3

soluções grupo 3 – zona climática 11

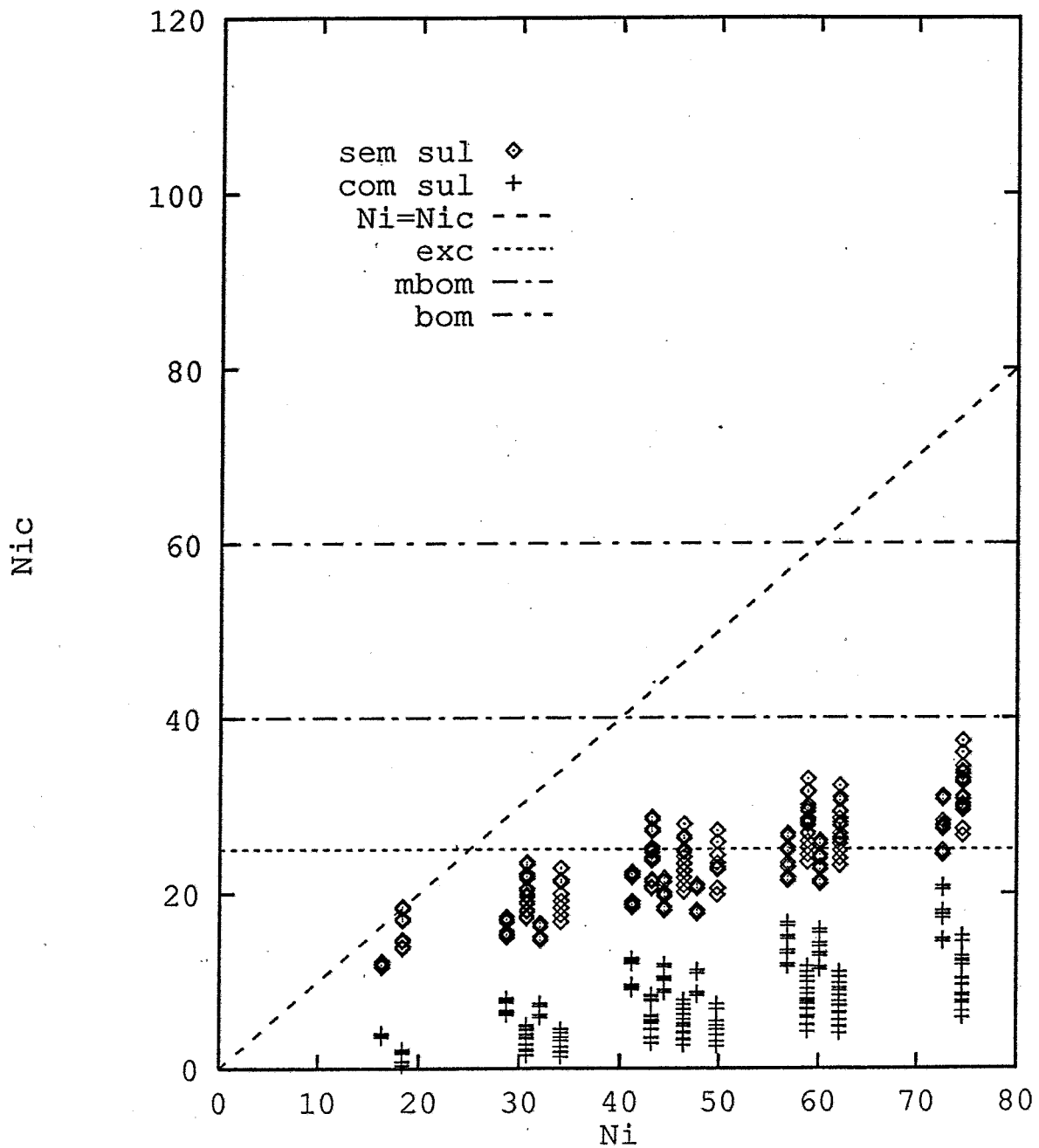


Gráfico 6.4

soluções grupo 1 – zona climática I2

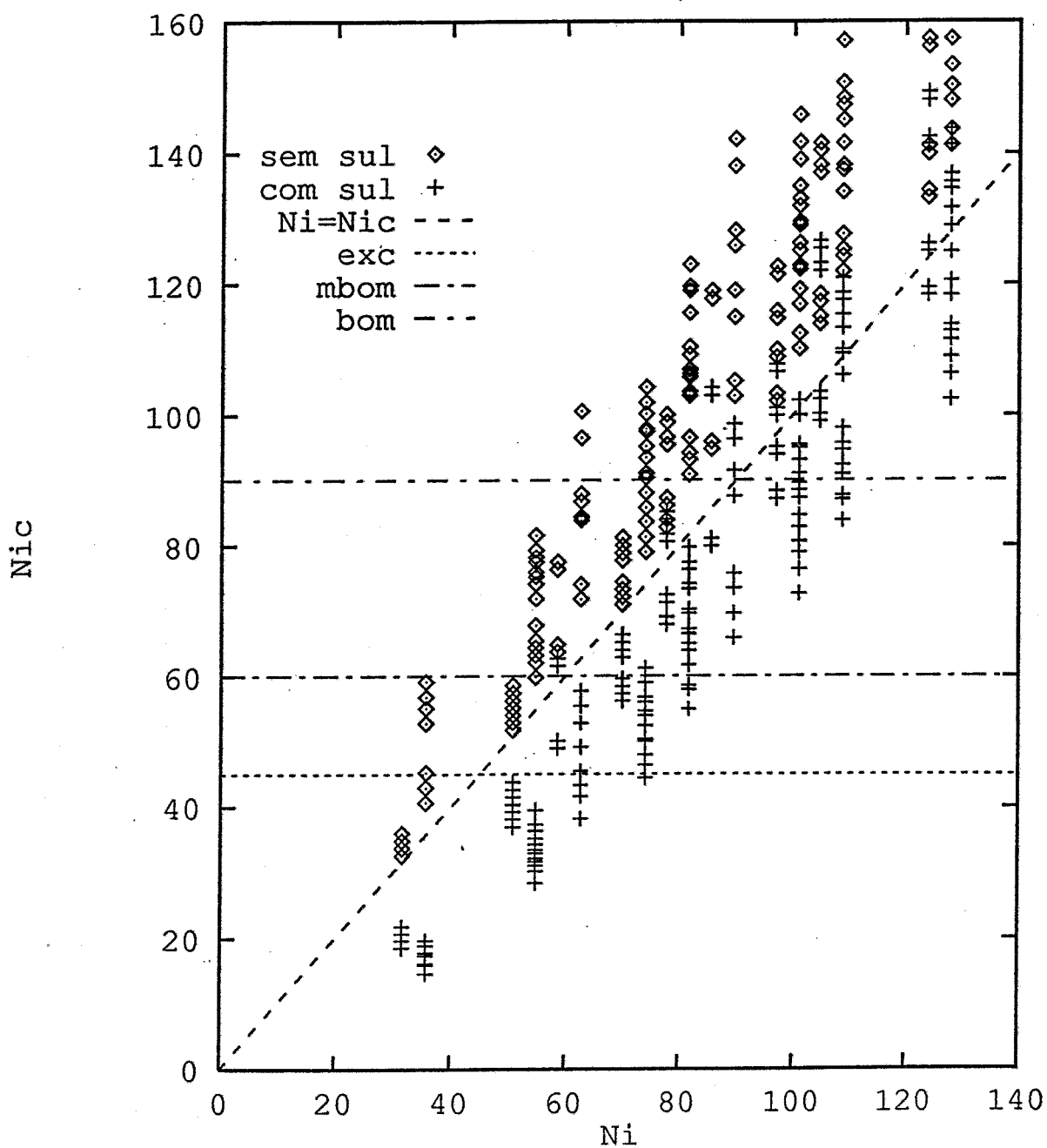


Gráfico 6.5

soluções grupo 2 - zona climática I2

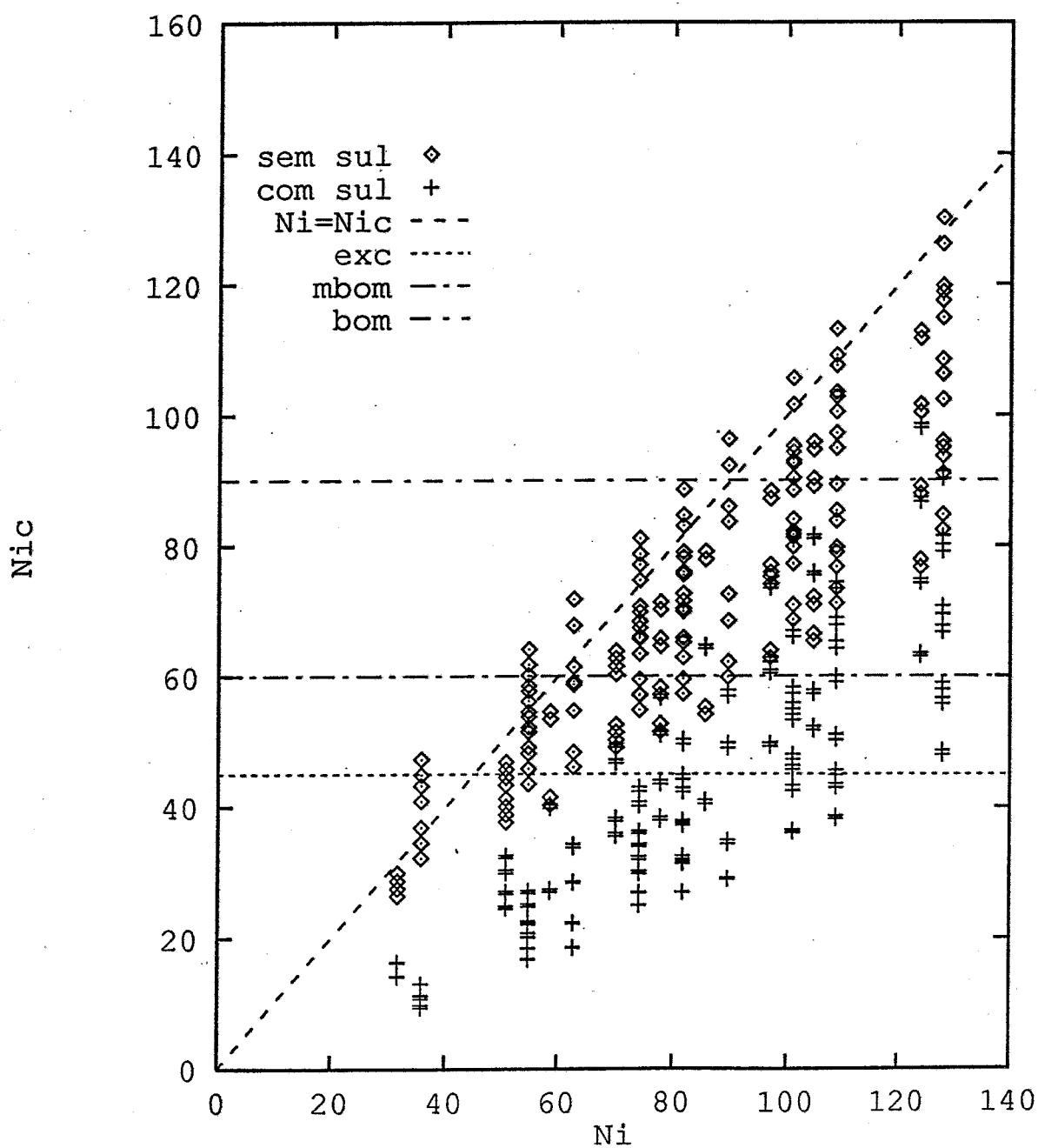


Gráfico 6.6

soluções grupo 3 – zona climática 12

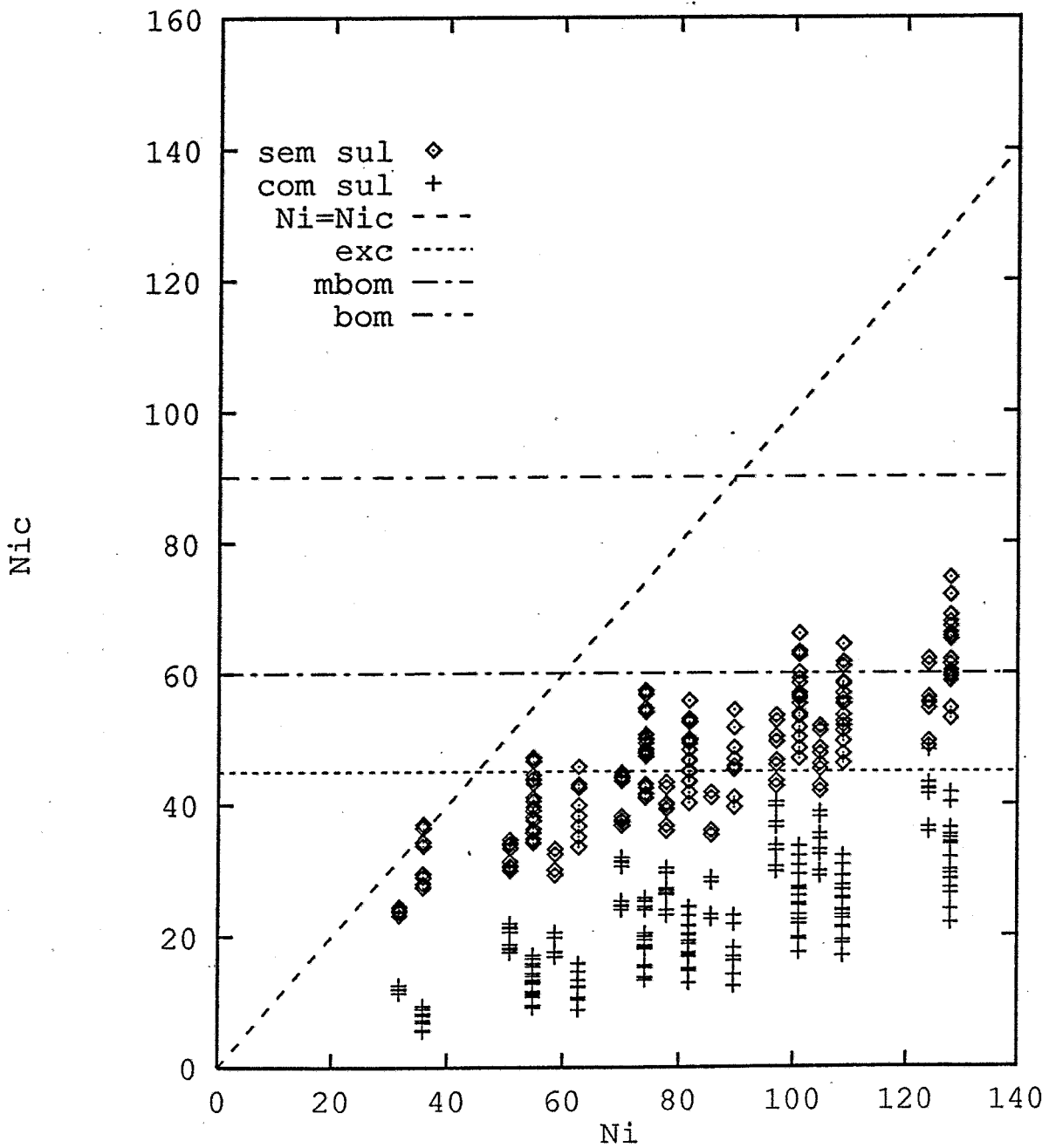


Gráfico 6.7

soluções grupo 1 – zona climática 13

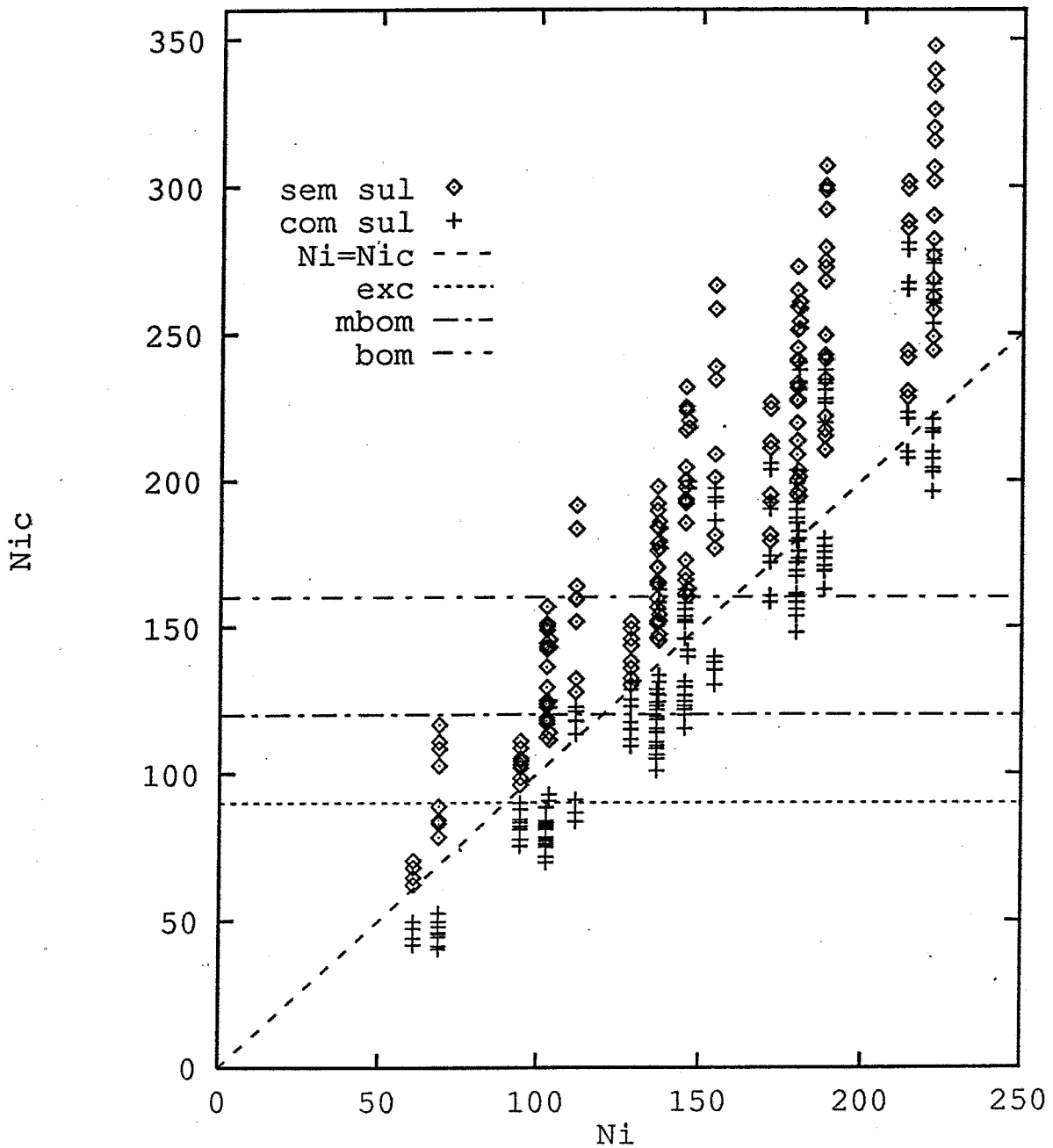


Gráfico 6.8

soluções grupo 2 – zona climática 13

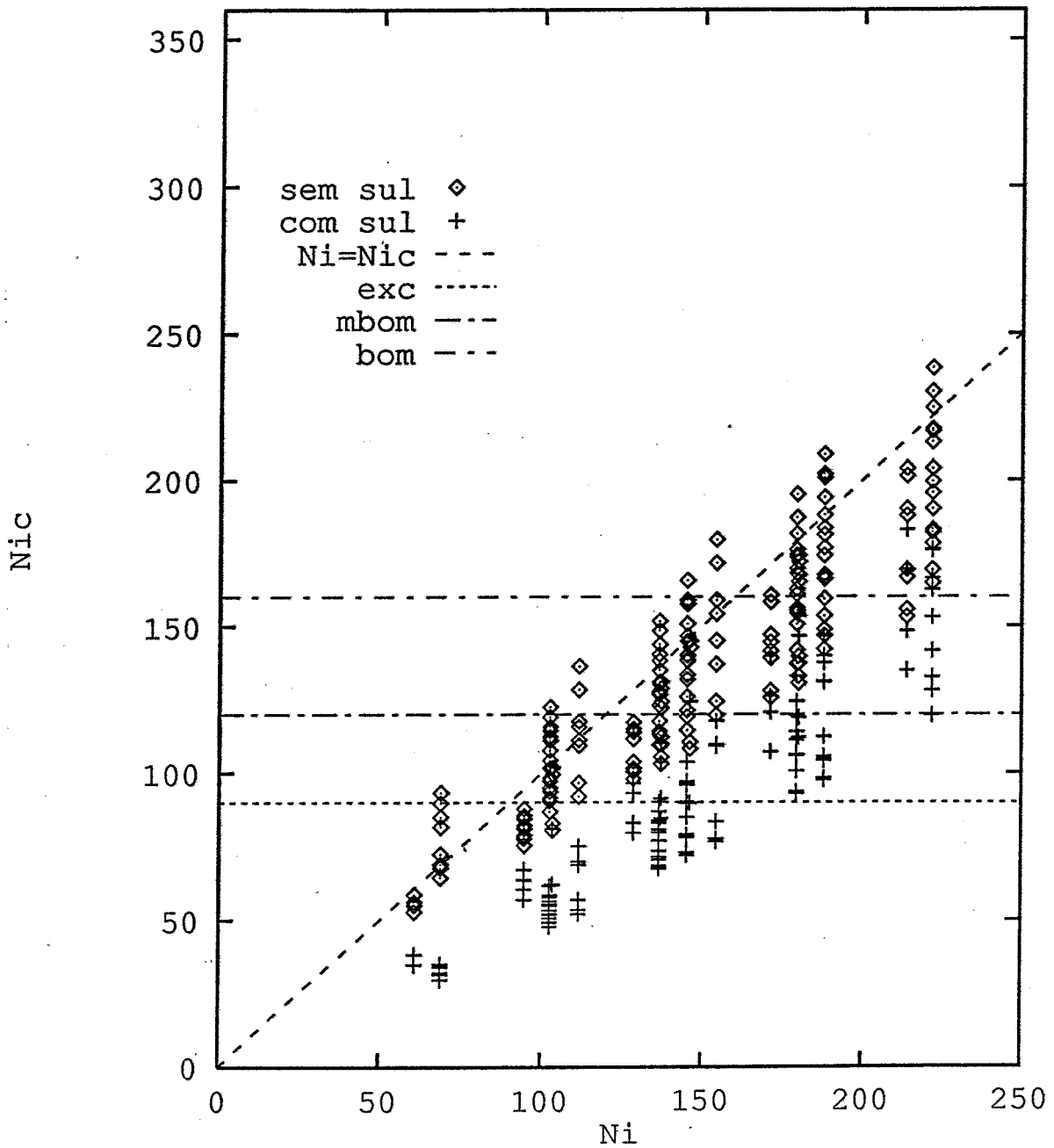
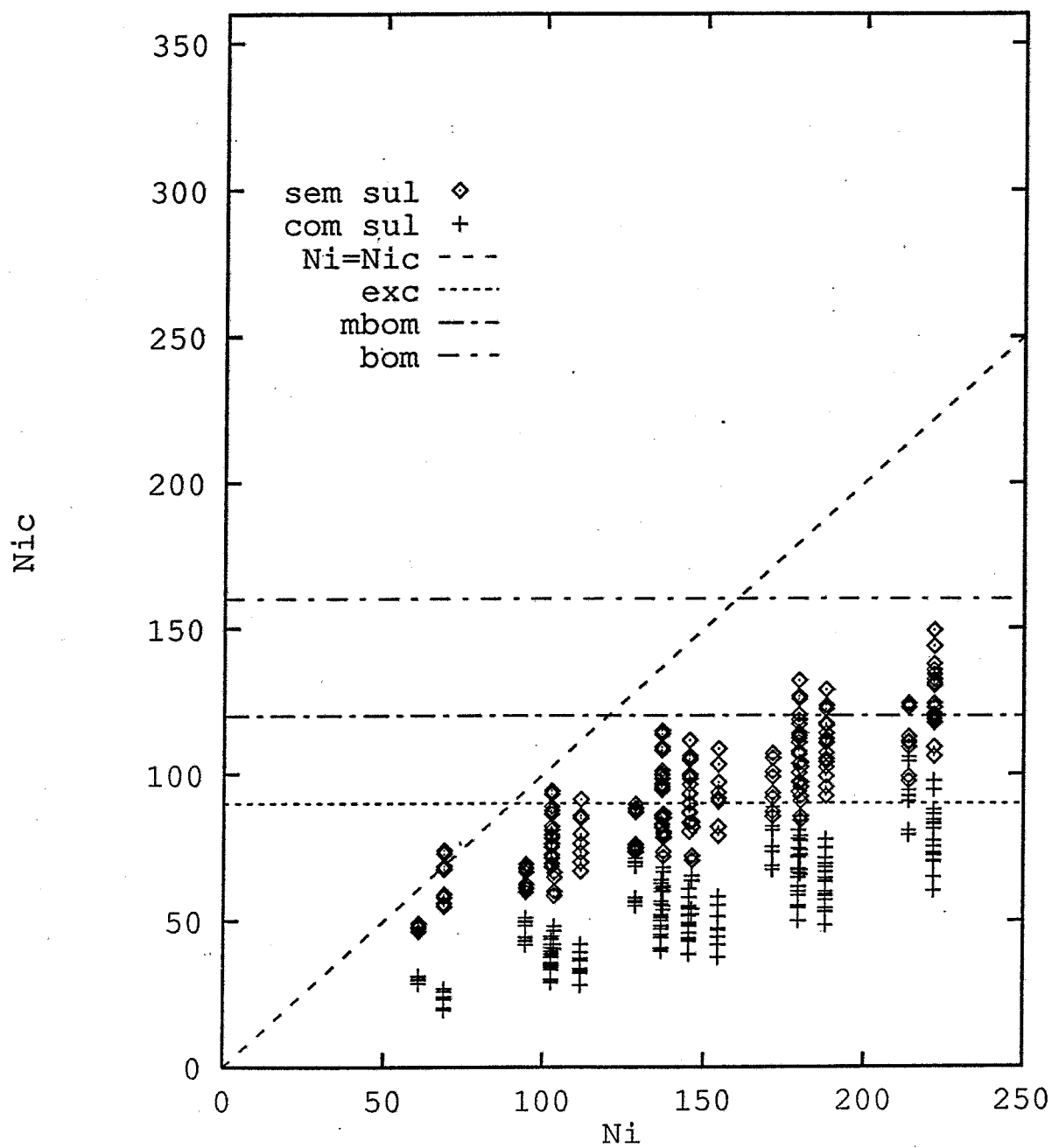


Gráfico 6.9

soluções grupo 3 – zona climática 13



Nas soluções do grupo 3, pode ainda observar-se que o método se torna mais restritivo ao caminhar da zona climática I1 para a zona I3, como era de esperar.

Da análise das tabelas conclui-se que o método se comporta de forma estável para as relações de áreas contempladas, tendo sido verificados os seguintes aspectos:

- soluções com ganhos solares obtêm classificações iguais ou mais elevadas do que as mesmas soluções sem ganhos solares;
- a classificação atribuída a uma solução situada na zona climática I1 é sempre igual ou superior à classificação atribuída à mesma solução na zona I2 ou I3; identicamente de I2 para I3.

Dada a amplitude de variação de áreas que foi considerada, pensa-se que poderá extrapolar-se este resultado para qualquer edifício de habitação.

6.2.3 – Considerações sobre as tabelas dos anexos 2, 3 e 4

Como já foi referido, estas tabelas apresentam os resultados da classificação de uma série de soluções construtivas para uma habitação T2 num piso intermédio, uma habitação T2 num piso de cobertura e para uma vivenda isolada.

Dado que refletem o resultado da aplicação do método para algumas tipologias habituais, estas tabelas contribuíram para verificar que a classificação estabelecida pelo método está de acordo com a noção corrente de qualidade no domínio térmico.

Consideremos um exemplo. É aceite que uma habitação de boa qualidade não só deve ter elementos construtivos de boa qualidade, como também deve ter a maior parte da sua área de envidraçados voltada aos quadrantes de sul, sempre que possível.

Nas tabelas 4.2 e 4.3 do anexo 4, correspondentes às zonas climáticas I2 e I3, sem ganhos solares, pode observar-se que a vivenda isolada não atinge nunca a classificação de "Excelente", mesmo quando é usado o nível máximo de isolamento, pelo facto de apresentar mesmo assim consumos muito elevados.

O método traduz assim a ideia de que uma habitação "Excelente" com uma área de envolvente elevada deve ter envidraçados com boa orientação.

Verificou-se também que o método desenvolvido se comporta de forma estável, nomeadamente na classificação de uma mesma solução construtiva em diferentes zonas climáticas e com ou sem ganhos solares.

É ainda de chamar a atenção para o facto de que as habitações estudadas têm diferentes áreas de envolvente relativamente à área de pavimento, pelo que se espera que as observações efectuadas tenham também neste caso algum carácter de generalidade.

6.3 – PROCESSO DE MELHORIA DE SOLUÇÕES

Como já foi referido, este método aconselha alterações dentro das soluções listadas nas tabelas do LNEC. Assim as soluções propostas são sempre tecnicamente executáveis, ainda que algumas não se encontrem muito divulgadas no nosso País.

O método preconiza essencialmente o aumento do nível de isolamento da solução de base, bem como a sua homogeneização.

O facto de não ser alterada a geometria da solução de base impossibilita o sistema de propor soluções com base na alteração das áreas de envidraçados, diminuindo as perdas ou aumentando os ganhos solares.

Dentro das restrições que foram impostas, o processo de melhoria de soluções preconiza alterações que coincidem com as opiniões expressas por especialistas do domínio. Reconhece-se, no entanto que inquéritos mais generalizados devem ser feitos no futuro.

6.4 – INFORMATIZAÇÃO DO MODELO

O programa desenvolvido foi testado no sentido de verificar, por um lado, a correcção dos resultados obtidos e, por outro lado, a sua robustez.

No que respeita à correcção dos resultados, estes foram verificados por comparação com alguns casos das tabelas dos anexos 2, 3 e 4. Outros testes foram feitos por comparação com valores calculados manualmente. Estes testes levam a crer que o programa produz sempre resultados correctos.

A robustez do programa parece satisfatória, embora alguns problemas tenham surgido a nível do utilitário de desenho de "ecrans", "Screen Design Utility". Por vezes a apresentação dos

valores permitidos para determinado objecto ("popup menus") não é feita. Neste caso é necessário introduzir o valor manualmente. Foi enviado à empresa "Creative Logic Ltd" um exemplo deste "bug", tendo a empresa reconhecido a sua existência e informado que tenciona reparar esta deficiência em breve, com a saída de uma nova versão.

Outras deficiências não foram notadas na execução de cerca de 150 exemplos.

Capítulo 7

CONCLUSÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

7.1 – CONCLUSÕES FINAIS

Apresenta-se seguidamente a síntese das conclusões do trabalho desenvolvido.

No que diz respeito à utilização de sistemas periciais, foi possível concluir que constituem uma boa opção para a informatização do conhecimento na área do comportamento térmico dos edifícios de habitação.

Estes sistemas podem evoluir facilmente, na medida em que, para tornar o programa mais "inteligente", basta adicionar novas regras, não sendo necessário alterar o seu desenho. São também mais rápidos de desenvolver, dada a sua maior flexibilidade e as facilidades de que normalmente dispõem para construir a interface com o futuro utilizador. Podem constituir uma importante ferramenta de apoio à elaboração de projectos, quer na fase de concepção, quer na fase de verificação.

Foi desenvolvido um método de avaliação do comportamento térmico dos edifícios de habitação no inverno. O método permite avaliar se um dado projecto é ou não regulamentar, de acordo com o RCCTE. Permite ainda classificar todas as soluções regulamentares e assim hierarquizar soluções em competição.

A validação do método indica uma adequada fiabilidade do mesmo, para edifícios e moradias com diferentes tipologias e relações de áreas.

Foi também concebido e informatizado um processo de melhoria de soluções capaz de aconselhar alterações a projectos de edifícios de habitação não regulamentares, por forma a torná-los regulamentares.

Este processo procura respeitar a geometria do projecto, propondo alterações à solução de base, que consistem essencialmente em melhorar o seu nível de isolamento. Houve a preocupação de procurar atingir soluções tanto quanto possível homogéneas.

No que respeita ao modelo de classificação e melhoria de soluções, salientam-se ainda alguns aspectos específicos:

- entrou-se em linha de conta com a limitação da razão Nic/Ni e também com a limitação do valor de Nic . Esta última limita implicitamente o consumo de energia de aquecimento;
- valorizou-se a orientação a sul, pois permite obter uma melhor classificação para um mesmo nível de isolamento;
- procurou-se que o método estabelecido não fosse muito restritivo, embora se tenha limitado o acesso a classificações elevadas de soluções construtivas pouco homogéneas;
- verificou-se que não é tanto a tipologia ou o tamanho da habitação que fazem variar o nível de qualidade, mas principalmente a razão área da envolvente / área útil de pavimento;
- verificou-se também que a existência de grandes áreas de envidraçados dificulta a melhoria da qualidade, principalmente quando não voltados aos quadrantes de sul.

7.2 – DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Indicam-se de seguida alguns aspectos que seria de interesse desenvolver, no seguimento do trabalho realizado.

O sistema pericial poderá ser dotado de uma maior versatilidade e operacionalidade, incluindo nomeadamente:

- uma maior gama de soluções construtivas;
- diferentes níveis de utilização, isto é, permitir diferentes níveis de escolha de acordo com a competência técnica do utilizador;

- uma maior diversidade de elementos construtivos;
- a possibilidade de o utilizador indicar quais os valores limite para a atribuição das notas dos vários avaliadores.

No que respeita ao método de avaliação e classificação proposto, seria de continuar o seu desenvolvimento no sentido de incluir:

- a avaliação do comportamento térmico dos edifícios de habitação no verão;
- a possibilidade de avaliar também outros edifícios, que não só os de habitação;
- um inquérito a peritos e utilizadores das habitações, para obter a sua opinião sobre o método;
- a sua integração no método geral de avaliação da qualidade.

No que respeita ao processo de melhoria de soluções, seria de incluir os seguintes aspectos:

- a possibilidade de aconselhar alterações para os diferentes escalões da classificação, por exemplo de bom para muito bom, etc.;
- os resultados de um inquérito a um número adequado de peritos, incidindo sobre as suas opiniões e sobre a resolução de casos concretos;
- entrar em linha de conta com os custos, iniciais e globais.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - JACKSON, PETER - **Introduction to Expert Systems**
- [2] - CLOCKSIN, W. F.; MELLISH, C. S. - **Programming in Prolog**, Springer-Verlag, 1984
- [3] - STERLING, L.; SHAPIRO E. - **The Art of Prolog, Advanced Programming Techniques**, MIT Press, 1986
- [4] - COELHO, HELDER - **Conceitos Fundamentais de Bases de Conhecimentos**, comunicação ao 4º Congresso Português de Informática
- [5] - WATERMAN, D. A. - **How do Expert Systems Differ From Conventional Programs?**, Expert Systems, vol. 3, nº 1, Janeiro de 1986
- [6] - BRANDON, P.; e outros - **Expert Systems, The Strategic Planning Of Construction Projects**, RICS, 1988
- [7] - FORSYTH, R. - **Expert Systems, Principles and Case Studies**, Chapman and Hall, Londres, 1984
- [8] - GASPAR, G.; FONSECA, J. - **Fire: An Expert System on Fire Safety**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989
- [9] - RODRIGUES, I. P. - **Projecto de uma Base de Conhecimentos para Apoio a Projectos de Iluminação**, LNEC, Lisboa, 1987
- [10] - BATISTA, P. A. M. - **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Projecto de Iluminação, o Caso dos Espaços Interiores**, LNEC, Lisboa, 1989

- [11] - LYDIARD, T. J. - **Product Evaluation KAPPA PC Version 1.0**, AIAI, University of Edinburgh, 1990
- [12] - **Leonardo User's Guide**, Creative Logic Lda., Uxbridge, 1989
- [13] - FORSYTH, R. - **Software Review**, Leonardo, Expert Systems, vol. 5, nº 2, Maio de 1988
- [14] - MONTALBAN M.; DELCAMBRE, B. - **Les Systemes Experts: Des Outils Pour Ameliorer la Qualité de la Conception**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989
- [15] - HALLEUX, D. - **THEX: Systeme Expert D'Aide á la Conception Thermique des Maisons Individuelles**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989
- [16] - SMITH, C.; KRUPPA, J.; CLUZEL, D. - **Système Expert Incendie**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989
- [17] - NG, Fung Fai - **RADA - A Knowledge Base System for Room Acoustics Design**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989
- [18] - VAN WEELE, A. M. - **The Expert System "Comfort"**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989
- [19] - STATHOPOULOS, T.; ZHU, X. - **A Knowledge Based System for the Evaluation of Wind Environmental Conditions Around Buildings**, comunicação ao "XIe Congrès International CIB 89, La Qualité Pour les Usagers des Batiments a Travers le Monde", Paris, 1989

- [20] - BEZELGA, A. - **Edifícios de Habitação, Caracterização e Estimação Técnico-Económica**, Universidade Técnica de Lisboa, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, Lisboa, 1984
- [21] - BEZELGA, A.; MACEDO, J. - **Contribuição para uma Sistematização e Breve Descrição dos Métodos de Apreciação da Qualidade ou da Qualidade/Economia de Projectos**, comunicação ao Encontro Nacional sobre Qualidade na Construção, LNEC, Lisboa, 1986
- [22] - **Guide Qualitel**, Association Qualitel, Paris, 1980
- [23] - WIEGAND, J.; AELLEN, K.; KELLER, T. - **Système d'Evaluation de Logements (SEL)**, Office Fédéral du Logement, Berne, 1986
- [24] - ABRANTES, V.; BEZELGA, A.; COSTA, J.; MACEDO, J. - **Elaboração de um Método de Apreciação da Qualidade de Projectos de Edifícios de Habitação - Relatório Preliminar**, Porto, FEUP, 1988
- [25] - WIEGAND, J.; KELLER, T. - **Evaluation de la Qualité des Logements dans son Application**, Office Fédéral du Logement, Berne, 1979
- [26] - GOMES, R. - **Exigências Funcionais das Habitações e Modo da Sua Satisfação**, LNEC, Lisboa, 1971
- [27] - CABRITA, A.; PAIVA, J. V. - **Classificação e Qualificação de Habitações do Parque Habitacional do País**, LNEC, Lisboa, 1981
- [28] - **Relatório-Resumo da Actividade Desenvolvida para o Estudo da Classificação de Habitações por Características Técnicas**, Ministério da Habitação e Obras Públicas, MHOP, Lisboa, 1981
- [29] - PAIVA, J. V. - **Classificação de Propostas em Concurso de Concepção-Construção com Base em Critérios Integrados - Uma Experiência de Aplicação**, comunicação ao SIMATEC, Lisboa, IST, 1985

- [30] - **Recomendações Técnicas para Habitação Social**, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, MOPTC, Lisboa, 1987
- [31] - **BEZELGA, A.; NETO, F.; e outros - Promoção da Qualidade de um Concurso Concepção-Construção de Habitação Social - Critérios de Avaliação das Propostas**, comunicação ao Encontro Nacional sobre Qualidade na Construção, LNEC, Lisboa, 1986
- [32] - **COSTA, J. M. - Métodos de Avaliação da Qualidade de Projectos - Características, Desenvolvimento e Implementação**, provas de aptidão pedagógica e capacidade científica - trabalho de síntese, FEUP, Porto, 1986
- [33] - **ABRANTES, V. - Apreciação da Qualidade Térmica de Projectos de Habitação**, Boletim do Gabinete de Construções Cíveis, nº7, Novembro de 1977, FEUP, Porto, 1977
- [34] - **Regras de Qualidade Térmica de Edifícios**, Instituto Nacional de Habitação, INH, Porto, 1985
- [35] - **ABRANTES, V. - A Envolvente dos Edifícios e a Avaliação da sua Qualidade**, comunicação às 2^{as} Jornadas de Física e Tecnologia dos Edifícios, FEUP, Porto, 1986
- [36] - **SANTOS, R. - Avaliação da Qualidade Térmica de Projectos de Edifícios de Habitação**, tese de mestrado, FEUP, Porto, 1989
- [37] - **Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios**, Decreto-Lei nº 40/90, de 6 de Fevereiro, Porto-Editora, Porto
- [38] - **AROSO, M. H. - Estudo das Pontes Térmicas na Envolvente dos Edifícios**, tese de mestrado, FEUP, Porto, 1987
- [39] - **Projecto de Regulamento Geral das Edificações**, CSOPT, MOPTC, Lisboa, 1989
- [40] - **SANTOS, C. A.; GUTERRES, P.; PAIVA, J. V. - Coeficientes de Transmissão Térmica da Envolvente dos Edifícios**, LNEC, Lisboa, 1990

- [41] - SILVA, J. M. - O Comportamento dos Edifícios Face à Nova Regulamentação Portuguesa de Térmica, tese de mestrado, FEUP, Porto, 1990

- [42] - ABRANTES, V. - O Regulamento e as Técnicas de Construção (soluções construtivas), em Características de Comportamento Térmico dos Edifícios - Manual de Apoio, editado por E. de Oliveira Fernandes e E. Maldonado, INEGI, Porto, 1990

APÊNDICE

extractos da listagem do programa

<Leonardo Export File>
3.243160MDOS ACTEI
avaliacao do conforto termico de edificios - inverno

MainRuleSet
control common

seek sessao

if dados are conhecidos
and regulamentar is nao
and melhoria is completa
and classificacao is feita
then sessao is terminada

if dados are conhecidos
and regulamentar is sim
and classificacao is feita
then sessao is terminada

<<EOT>>

dados
<<TEXT>>
RuleSet:

if declaracoes are feitas
then comecar is possible

use screen1a

use screen5

if Zcl is not desconhecido
and regulamentar is not desconhecido
then use screen6;
dados are conhecidos

<<EOT>>

regulamentar
<<TEXT>>
RuleSet:

if notas are conhecidas
and nota1 <> 1
and nota3 <> 1
then regulamentar is sim

if notas are conhecidas
and nota1 = 1
then regulamentar is nao

if notas are conhecidas
and nota3 = 1
then regulamentar is nao

if hierarquia is feita
then run classificador3(nota: of par_ext,
nota: of par_int,
nota: of pav_ext,
nota: of pav_int,

```

        nota: of cob_ext,
        nota: of cob_int,
        nota: of env_v,
        nota: of env_h,
        nota: of env_int,
        nota3);
run classificador1(NI, Nic, nota1);
notas are conhecidas

```

<<EOT>>

```

melhoria
<<TEXT>>
RuleSet:

```

```

if aconselhamento is nao
then melhoria is completa

```

```

if aconselhamento is sim
and transformacoes are conhecidas
and alteracoes are mostradas
then use screen7;
    use screen8;
    melhoria is completa

```

<<EOT>>

```

classificacao
<<TEXT>>
RuleSet:

```

```

if notas are refeitas
then run classificador(nota1, nota2, nota3, nota4, nota_global);
    use screen9;
    classificacao is feita

```

```

if regulamentar is not desconhecido
then run classificador1(NI, Nic, nota1);
    run classificador2(Nic, Zcl, nota2);
    run classificador3(nota: of par_ext,
        nota: of par_int,
        nota: of pav_ext,
        nota: of pav_int,
        nota: of cob_ext,
        nota: of cob_int,
        nota: of env_v,
        nota: of env_h,
        nota: of env_int,
        nota3);
    run classificador4(fc, nota4);
    notas are refeitas

```

<<EOT>>

```

classificador1
<<PROCEDURE>>
AcceptsReal: NI_p, Nic_p
AcceptsText:
AcceptsList:
ReturnsReal: not1
ReturnsText:
ReturnsList:

```

LocalReal: percent
LocalText:
LocalList:
Externals:
Body:

/* determina a nota 1 (Nic/Ni)

percent = Nic_p / Ni_p

if percent gt 1.00 then
 not1 = 1
endif

if percent le 1.00 and percent gt 0.95 then
 not1 = 2
endif

if percent le 0.95 and percent gt 0.90 then
 not1 = 3
endif

if percent le 0.90 and percent gt 0.80 then
 not1 = 4
endif

if percent le 0.80 then
 not1 = 5
endif

return

<<EOT>>

classificador3

<<PROCEDURE>>

AcceptsReal: n1, n2, n3, n4, n5, n6, n7, n8, n9

AcceptsText:

AcceptsList:

ReturnsReal: not3

ReturnsText:

ReturnsList:

 LocalReal: aux

 LocalText:

 LocalList:

 Externals:

 Body:

/* determina a nota 3 (coeficientes de transmissao térmica

aux = min(n1, n2)
aux = min(aux, n3)
aux = min(aux, n4)
aux = min(aux, n5)
aux = min(aux, n6)
aux = min(aux, n7)
aux = min(aux, n8)
aux = min(aux, n9)

not3 = aux

return

<<EOT>>

```

par ext
<<UNDEFINED>>
  Name:
  LongName:
  Type:
  Value:
  Certainty:
  DerivedFrom:
    IsA: opaca,exterior
  MemberSlots:
    correcao:
    isol a usar:
      mudou:
      kref:
      ficheiro:
      esp Isol:
    isolamento:
      material:
        tipo:
        area:
        k c:
        k:
        fcor:
        kmax:
        klim:
        nota:
<<EOT>>

```

```

env v
<<UNDEFINED>>
  Name:
  LongName:
  Type:
  Value:
  Certainty:
  DerivedFrom:
    IsA: envidracada
  MemberSlots:
    espessura ar:
    disp oclusão:
    cabulharia:
      mudou:
      kref:
      ficheiro:
      esp Isol:
    isolamento:
      material:
        tipo:
        area:
        k c:
        k:
        fcor:
        kmax:
        klim:
        nota:
<<EOT>>

```

```

aconselhamento
<<TEXT>>
AllowedValue: sim, nao
QueryPrompt: Quer aconselhamento para tornar a solucao regulamentar ?

```

<<EOT>>

transformacoes

<<TEXT>>

RuleSet:

if coeficientes are regulamentares
and nota1 > 1
then transformacoes are conhecidas

if coeficientes are regulamentares
and isolamentos are conhecidos
and nota1 > 1
then transformacoes are conhecidas

if coeficientes are regulamentares
and isolamentos are conhecidos
and processo is terminado
then transformacoes are conhecidas

if nota3 <> 1
then run opcoes_isol_proc();
coeficientes are regulamentares

if coeficientes are regulamentares
and isolamentos are conhecidos
and transform3 is conhecida
and nota1 > 1
then run classificador1(Ni, Nic, nota1);
run classificador3(nota: of par_ext,
nota: of par_int,
nota: of pav_ext,
nota: of pav_int,
nota: of cob_ext,
nota: of cob_int,
nota: of env_v,
nota: of env_h,
nota: of env_int,
nota3);
processo is terminado

if coeficientes are regulamentares
and isolamentos are conhecidos
and transform3 is conhecida
and transform4 is conhecida
then run classificador1(Ni, Nic, nota1);
run classificador3(nota: of par_ext,
nota: of par_int,
nota: of pav_ext,
nota: of pav_int,
nota: of cob_ext,
nota: of cob_int,
nota: of env_v,
nota: of env_h,
nota: of env_int,
nota3);
processo is terminado

if coeficientes are regulamentares
and nota1 = 1
and transform2 are conhecidas
then run classificador1(Ni, Nic, nota1);
run classificador3(nota: of par_ext,

nota: of par_int,
nota: of pav_ext,
nota: of pav_int,
nota: of cob_ext,
nota: of cob_int,
nota: of env_v,
nota: of env_h,
nota: of env_int,
nota3);

isolamentos are conhecidos

if transform0 are conhecidas
and transform1 are conhecidas
then run classificador1(Ni, Nic, nota1);

run classificador3(nota: of par_ext,
nota: of par_int,
nota: of pav_ext,
nota: of pav_int,
nota: of cob_ext,
nota: of cob_int,
nota: of env_v,
nota: of env_h,
nota: of env_int,
nota3);

coeficientes are regulamentares

<<EOT>>

alteracoes

<<TEXT>>

RuleSet:

for all opaca

if mudou: of opaca is 'sim'
then run mostrar_proc1(k: of opaca,
name: of opaca,
tipo: of opaca,
material: of opaca,
isolamento: of opaca,
esp_isol: of opaca,
correccao: of opaca);

alteracoes1 are mostradas

for all envidracada

if mudou: of envidracada is 'sim'
then run mostrar_proc2(k: of envidracada,
name: of envidracada,
tipo: of envidracada,
caixilharia: of envidracada,
disp_oclusao: of envidracada,
espessura_ar: of envidracada);

alteracoes2 are mostradas

if alteracoes1 are mostradas
and alteracoes2 are mostradas
then alteracoes are mostradas

<<EOT>>

solucao

<<CLASS>>

Name:

LongName:
 Type:
 Members: opaca, envidracada
 MemberSlots:
 area:
 k:
 fcor:
 kmax:
 klim:
 nota:
 ficheiro:
 kref:
 mudou: nao

<<EOT>>

transform1
 <<TEXT>>
 RuleSet:

if nota: of par_ext = 1
 and esp_isol: of par_ext is '0'
 then ask_isol_tipo;
 isolamento: of par_ext is isol_tipo;
 isol_a_usar: of par_ext is isol_tipo;
 esp_isol: of par_ext is '20';
 par_esp_isol is '20';
 run Tf_proc();
 k: of par_ext = kf;
 mudou: of par_ext is 'sim';
 run class k(k: of par_ext,
 kmax: of par_ext,
 klim: of par_ext,
 nota: of par_ext);
 transform11 is conhecida

if nota: of par_ext <> 1
 then transform11 is conhecida

if nota: of par_int = 1
 and esp_isol: of par_int is '0'
 and tipo: of par_int is Simples
 and tipo: of par_ext is 'SimplesIsolInterior'
 then ask_isol_tipo_i;
 isolamento: of par_int is isol_tipo_i;
 isol_a_usar: of par_int is isol_tipo_i;
 esp_isol: of par_int is '20';
 par_esp_isol is '20';
 run kint_proc();
 k: of par_int = kint;
 mudou: of par_int is 'sim';
 run class k(k: of par_int,
 kmax: of par_int,
 klim: of par_int,
 nota: of par_int);
 transform12 is conhecida

if nota: of par_int = 1
 and esp_isol: of par_int is '0'
 and tipo: of par_int is Simples
 and tipo: of par_ext is not 'SimplesIsolInterior'
 then par_tipo_i is 'Dupla';
 tipo: of par_int is 'Dupla';
 isol_tipo_i is 'Semiisolamento';

```

isolamento: of par_int is 'Semisolamento';
isol_a_usar: of par_int is 'Semisolamento';
run dummy3a1_proc(dummy3a1, list_mat_tipo_l,
                  list_isol_tipo_l);
ask mat_tipo_l;
material: of par_int is mat_tipo_l;
ficheiro: of par_int is 'par_dup.dat';
esp_isol: of par_int is '0';
par_esp_isol_l is '0';
run kint_proc();
k: of par_int = kint;
mudou: of par_int is 'sim';
run class_k(k: of par_int,
            kmax: of par_int,
            klim: of par_int,
            nota: of par_int);
transform12 is conhecida

if nota: of par_int = 1
and esp_isol: of par_int is '0'
and tipo: of par_int is Dupla
then transform12 is conhecida

if nota: of par_int <> 1
or esp_isol: of par_int is not '0'
then transform12 is conhecida

if nota: of cob_ext = 1
and esp_isol: of cob_ext is '0'
then ask_cob_isol;
isolamento: of cob_ext is cob_isol;
isol_a_usar: of cob_ext is cob_isol;
run kh_cob_d_proc(kmax: of cob_ext);
esp_isol: of cob_ext is cob_esp_isol;
k: of cob_ext = kh_cob;
mudou: of cob_ext is 'sim';
run class_k(k: of cob_ext,
            kmax: of cob_ext,
            klim: of cob_ext,
            nota: of cob_ext);
transform13 is conhecida

if nota: of cob_ext = 1
and esp_isol: of cob_ext is not '0'
then run kh_cob_d_proc(kmax: of cob_ext);
esp_isol: of cob_ext is cob_esp_isol;
k: of cob_ext = kh_cob;
mudou: of cob_ext is 'sim';
run class_k(k: of cob_ext,
            kmax: of cob_ext,
            klim: of cob_ext,
            nota: of cob_ext);
transform13 is conhecida

if nota: of cob_ext <> 1
then transform13 is conhecida

if nota: of cob_int = 1
and esp_isol: of cob_int is '0'
then ask_novo_cob_isol_l;
cob_isol_l is novo_cob_isol_l;
isolamento: of cob_int is cob_isol_l;
isol_a_usar: of cob_int is cob_isol_l;
run kh_l_d_proc(kmax: of cob_int);
esp_isol: of cob_int is cob_esp_isol_l;

```

```

k: of cob_ext = kh_cob;
mudou: of cob_int is 'sim';
run class k(k: of cob_int,
            kmax: of cob_int,
            klim: of cob_int,
            nota: of cob_int);
transform14 is conhecida

```

```

if nota: of cob_int = 1
and esp_isol: of cob_int is not '0'
then run kh_l_d_proc(kmax: of cob_int);
    esp_isol: of cob_int is cob_esp_isol_i;
    k: of cob_int = kh_cob;
    mudou: of cob_int is 'sim';
    run class k(k: of cob_int,
                kmax: of cob_int,
                klim: of cob_int,
                nota: of cob_int);
transform14 is conhecida

```

```

if nota: of cob_int <> 1
then transform14 is conhecida

```

```

if nota: of pav_ext = 1
and esp_isol: of pav_ext is '0'
then ask_pav_isol;
    file is 'pav_e.dat';
    run ler_d_proc(kmax: of pav_ext, file, pav_rec);
    esp_isol: of pav_ext is pav_esp_isol;
    k: of pav_ext = kh_pe;
    isolamento: of pav_ext is pav_isol;
    isol_a_usar: of pav_ext is pav_isol;
    mudou: of pav_ext is 'sim';
    run class k(k: of pav_ext,
                kmax: of pav_ext,
                klim: of pav_ext,
                nota: of pav_ext);
transform15 is conhecida

```

```

if nota: of pav_ext <> 1
then transform15 is conhecida

```

```

if nota: of pav_int = 1
and esp_isol: of pav_int is '0'
then ask_pav_isol_i;
    file is 'pav_i.dat';
    run ler_d_proc(kmax: of pav_int, file, pav_i_rec);
    esp_isol: of pav_int is pav_esp_isol_i;
    k: of pav_int = kh_pi;
    isolamento: of pav_int is pav_isol_i;
    isol_a_usar: of pav_int is pav_isol_i;
    mudou: of pav_int is 'sim';
    run class k(k: of pav_int,
                kmax: of pav_int,
                klim: of pav_int,
                nota: of pav_int);
transform16 is conhecida

```

```

if nota: of pav_int <> 1
then transform16 is conhecida

```

```

if transform11 is conhecida
and transform12 is conhecida
and transform13 is conhecida
and transform14 is conhecida

```

and transform15 is conhecida
and transform16 is conhecida
then run KA_proc();
 run calculos_proc();
 fcor: of par_ext = fc;
 transform1 are conhecidas

<<EOT>>

transform4
<<TEXT>>
RuleSet:

if transform41c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida
and transform43c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida
and transform43c is conhecida
and transform44c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida
and transform43c is conhecida
and transform44c is conhecida
and transform45c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida
and transform43c is conhecida
and transform44c is conhecida
and transform45c is conhecida
and transform46c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida
and transform43c is conhecida
and transform44c is conhecida
and transform45c is conhecida
and transform46c is conhecida
and transform47c is conhecida
and nota1 > 1
then transform4 is conhecida

if transform41c is conhecida
and transform42c is conhecida

and transform43c is conhecida
and transform44c is conhecida
and transform45c is conhecida
and transform46c is conhecida
and transform47c is conhecida
and transform48c is conhecida
then transform4 is conhecida

for all exterior
if tipo: of exterior is not desconhecido
then factor = 0.70;
run melhora_proc(kref: of exterior,
factor,
name: of exterior,
tipo: of exterior,
material: of exterior,
isol a usar: of exterior,
fichêiro: of exterior,
k: of exterior,
esp isol: of exterior,
mudou: of exterior);
transform41 is conhecida

for all interior
if tipo: of interior is not desconhecido
then factor = 0.85;
run melhora_proc(kref: of interior,
factor,
name: of interior,
tipo: of interior,
material: of interior,
isol a usar: of interior,
fichêiro: of interior,
k: of interior,
esp isol: of interior,
mudou: of interior);
transform42 is conhecida

for all exterior
if tipo: of exterior is not desconhecido
then factor = 0.55;
run melhora_proc(kref: of exterior,
factor,
name: of exterior,
tipo: of exterior,
material: of exterior,
isol a usar: of exterior,
fichêiro: of exterior,
k: of exterior,
esp isol: of exterior,
mudou: of exterior);
transform43 is conhecida

for all interior
if tipo: of interior is not desconhecido
then factor = 0.70;
run melhora_proc(kref: of interior,
factor,
name: of interior,
tipo: of interior,
material: of interior,
isol a usar: of interior,
fichêiro: of interior,
k: of interior,

```

        esp Isol: of interior,
        mudou: of interior);
    transform44 is conhecida

for all exterior
    if tipo: of exterior is not desconhecido
    then factor = 0.40;
        run melhora_proc(kref: of exterior,
            factor,
            name: of exterior,
            tipo: of exterior,
            material: of exterior,
            isol a usar: of exterior,
            fichêiro: of exterior,
            k: of exterior,
            esp Isol: of exterior,
            mudou: of exterior);
    transform45 is conhecida

for all interior
    if tipo: of interior is not desconhecido
    then factor = 0.55;
        run melhora_proc(kref: of interior,
            factor,
            name: of interior,
            tipo: of interior,
            material: of interior,
            isol a usar: of interior,
            fichêiro: of interior,
            k: of interior,
            esp Isol: of interior,
            mudou: of interior);
    transform46 is conhecida

for all exterior
    if tipo: of exterior is not desconhecido
    then factor = 0.30;
        run melhora_proc(kref: of exterior,
            factor,
            name: of exterior,
            tipo: of exterior,
            material: of exterior,
            isol a usar: of exterior,
            fichêiro: of exterior,
            k: of exterior,
            esp Isol: of exterior,
            mudou: of exterior);
    transform47 is conhecida

for all interior
    if tipo: of interior is not desconhecido
    then factor = 0.40;
        run melhora_proc(kref: of interior,
            factor,
            name: of interior,
            tipo: of interior,
            material: of interior,
            isol a usar: of interior,
            fichêiro: of interior,
            k: of interior,
            esp Isol: of interior,
            mudou: of interior);
    transform48 is conhecida

```

if transform41 is conhecida
 then kf = k: of par_ext;
 kint = k: of par_int;
 kh_pe = k: of pav_ext;
 kh_pi = k: of pav_int;
 kh_cob = k: of cob_ext;
 kh_cob_i = k: of cob_int;
 run KA_proc();
 run calculos_proc();
 run classificador1(Ni, Nic, nota1);
 fcor: of par_ext = fc;
 transform41c is conhecida

if transform42 is conhecida
 then kf = k: of par_ext;
 kint = k: of par_int;
 kh_pe = k: of pav_ext;
 kh_pi = k: of pav_int;
 kh_cob = k: of cob_ext;
 kh_cob_i = k: of cob_int;
 run KA_proc();
 run calculos_proc();
 run classificador1(Ni, Nic, nota1);
 transform42c is conhecida

if transform43 is conhecida
 then kf = k: of par_ext;
 kint = k: of par_int;
 kh_pe = k: of pav_ext;
 kh_pi = k: of pav_int;
 kh_cob = k: of cob_ext;
 kh_cob_i = k: of cob_int;
 run KA_proc();
 run calculos_proc();
 run classificador1(Ni, Nic, nota1);
 fcor: of par_ext = fc;
 transform43c is conhecida

if transform44 is conhecida
 then kf = k: of par_ext;
 kint = k: of par_int;
 kh_pe = k: of pav_ext;
 kh_pi = k: of pav_int;
 kh_cob = k: of cob_ext;
 kh_cob_i = k: of cob_int;
 run KA_proc();
 run calculos_proc();
 run classificador1(Ni, Nic, nota1);
 transform44c is conhecida

if transform45 is conhecida
 then kf = k: of par_ext;
 kint = k: of par_int;
 kh_pe = k: of pav_ext;
 kh_pi = k: of pav_int;
 kh_cob = k: of cob_ext;
 kh_cob_i = k: of cob_int;
 run KA_proc();
 run calculos_proc();
 run classificador1(Ni, Nic, nota1);
 fcor: of par_ext = fc;
 transform45c is conhecida

if transform46 is conhecida
 then kf = k: of par_ext;

```

kint = k: of par Int;
kh_pe = k: of pav_ext;
kh_pi = k: of pav_Int;
kh_cob = k: of cob_ext;
kh_cob_I = k: of cob_Int;
run KA_proc();
run calculos_proc();
run classificador1(Ni, Nic, nota1);
transform46c is conhecida

```

```

if transform47 is conhecida
then kf = k: of par_ext;
kint = k: of par_Int;
kh_pe = k: of pav_ext;
kh_pi = k: of pav_Int;
kh_cob = k: of cob_ext;
kh_cob_I = k: of cob_Int;
run KA_proc();
run calculos_proc();
run classificador1(Ni, Nic, nota1);
fcor: of par_ext = fc;
transform47c is conhecida

```

```

if transform48 is conhecida
then kf = k: of par_ext;
kint = k: of par_Int;
kh_pe = k: of pav_ext;
kh_pi = k: of pav_Int;
kh_cob = k: of cob_ext;
kh_cob_I = k: of cob_Int;
run KA_proc();
run calculos_proc();
run classificador1(Ni, Nic, nota1);
transform48c is conhecida

```

<<EOT>>

```

opaca
<<CLASS>>
  Name:
  LongName:
  Type:
  Value:
  Certainty:
  DerivedFrom:
    IsA: solucao
  Members: exterior, interior
  MemberSlots:
    mudou:
    kref:
    fichero:
    area:
    k:
    fcor:
    kmax:
    klim:
    nota:
    k c:
    tipo:
    material:
    isolamento:
    Isol a usar:
    esp_Isol:
    correccao:

```

<<EOT>>

pav Isol

<<TEXT>>

AllowedValue: [list_pav_isol]

ForbidUnk:

ComputeValue:

OnError:

QueryPrompt: Escolha o Isolante a colocar no pavimento exterior:

QueryPreface:

O sistema pode necessitar de colocar isolante
no pavimento exterior.

Neste caso, utilizara o Isolante que agora for
indicado.

Expansion:

Commentary:

Introduction:

Conclusion:

<<EOT>>

calculos_proc

<<PROCEDURE>>

LocalReal: GD, Gv, Af_ref, Ah_ref, Aenv_ref, Ke,
aux1, aux2, Aenv, Gsb, GLR, niu

LocalText:

LocalList:

Externals:

Body:

/* calcula Ni e Nic

global

If Zci eq 'I1' then

GD = 400

Gv = 400

endif

If Zci eq 'I2' then

GD = 800

Gv = 500

endif

If Zci eq 'I3' and alt le 1000 then

GD = 1600

Gv = 700

else

GD = alt + 800

Gv = 700

endif

If Inercia eq 'fraca' then

Ke = 0.7

endif

If Inercia eq 'media' then

Ke = 1.0

endif

If Inercia eq 'forte' then

Ke = 1.3

```

endif

NBA = (KA_f + KA_pe + KA_cob + KA_env_v + KA_env_h + 0.75 * (KA_int + &
      KA_pi + KA_cob_l + KA_env_l) + ren_ar) * 0.024 * GD

if Aenv_h eq 0 then
  fh = 0
endif

if Aenv_s eq 0 and Aenv_se eq 0 and Aenv_sw eq 0 and Aenv_h eq 0 then
  Gsu = 0
else
  Gsb = (Aenv_s * Gv * Sv * fs) + (Aenv_se * Gv * Sv * fse * 0.7) + &
        (Aenv_sw * Gv * Sv * fsw * 0.7) + (Aenv_h * Gv * Sv * fh * 0.85)
  GLR = Gsb / NBA
  aux1 = -Ke / GLR
  niu = 1 - exp(aux1)
  Gsu = Gsb * niu
endif

Nic = (NBA - Gsu) / Ap

Af_ref = Af + Aint + Aenv_l
Ah_ref = Ah_pe + Ah_cob + Ah_pi + Ah_cob_l
Aenv = Aenv_v + Aenv_h
aux2 = 0.15 * Ap

if Aenv le aux2 then
  Aenv_ref = Aenv
else
  Aenv_ref = aux2
endif

NI = (((1.3 * Kf_ref * Af_ref + Kh_ref * Ah_ref + Kenv_ref * Aenv_ref) / Ap + 0.34 * Pd) * &
      0.024 * GD

calculos = ''

return

<<EOT>>

exterior
<<CLASS>>
  Name:
  LongName:
  Type:
  Members: cob_ext, pav_ext, par_ext
  MemberSlots:
    correcao:
    esp_isol:
    isol_a_usar:
    isolamento:
    material:
      tipo:
      k_c:
      nota:
      klim:
      kmax:
      fcor:
      k:
      area:
    fichero:
    kref:

```

```

mudou:

<<EOT>>

ler_proc
<<PROCEDURE>>
AcceptsReal:
AcceptsText: filename
AcceptsList:
ReturnsReal:
ReturnsText: data_rec
ReturnsList:
LocalReal: Index
LocalText: aux1, aux2
LocalList:
Externals:
Body:
global

Index = 1
opendir(1, filename, 72)
pack(data_rec)
aux1 = mid(data_rec,1,68)
aux2 = ''

repeat while (aux1 ne aux2)
    readdir(1, data_rec, index)
    index = index + 1
    aux2 = mid(data_rec,1,68)
    if data_rec eq '<<EOF>>' then goto Error:
endrep

unpack(data_rec)
close(1)
return

Error:
screen(41)
print('Este elemento nao existe no ficheiro.')
hold
escape

<<EOT>>

```

```

dummy4_proc
<<PROCEDURE>>
AcceptsReal:
AcceptsText:
AcceptsList:
ReturnsReal:
ReturnsText:
ReturnsList:
LocalReal:
LocalText: filename
LocalList:
Externals:
Body:

global

/* Leitura Kf (paredes exteriores)
run Kf_proc

```

```

/* Leitura Kenv_v (envidracados exteriores verticais)
filename = 'env_v.dat'
run ler_proc(filename, env_v_rec)

/* Leitura Kenv_h (envidracados exteriores horizontais)
if Aenv_h gt 0 then
    filename = 'env_h.dat'
    run ler_proc(filename, env_h_rec)
else
    Kenv_h = 0
endif

/* Leitura Kh_pe (pavimentos exteriores)
if Ah_pe gt 0 then
    filename = 'pav_e.dat'
    run ler_proc(filename, pav_rec)
else
    Kh_pe = 0
endif

/* Leitura Kh_cob (coberturas exteriores)
if Ah_cob gt 0 then
    run Kh_cob_proc
else
    Kh_cob = 0
endif

/* Leitura Kint (paredes interiores)
if Aint gt 0 then
    run Kint_proc
else
    Kint = 0
endif

/* Leitura Kh_pi (pavimentos interiores)
if Ah_pi gt 0 then
    filename = 'pav_i.dat'
    run ler_proc(filename, pav_i_rec)
else
    Kh_pi = 0
endif

/* Leitura Kh_cob_i (coberturas interiores)
if Ah_cob_i gt 0 then
    filename = 'cob_t.dat'
    run ler_proc(filename, cob_i_rec)
    
$$Kh\_cob\_i = Kh\_cob\_i / (1 + 0.06 * Kh\_cob\_i)$$

else
    Kh_cob_i = 0
endif

/* Leitura Kenv_i (envidracados interiores)
if Aenv_i gt 0 then
    filename = 'env_v.dat'
    run ler_proc(filename, env_i_rec)
    
$$Kenv\_i = Kenv\_i / (1 + 0.08 * Kenv\_i)$$

else
    Kenv_i = 0
endif

/* Leitura do Sv (factor solar do vidro vertical)
run Sv_proc

/* Leitura do Sv_h (factor solar do vidro horizontal)
run Sv_h_proc

```

```
/* Determinacao de fc para as paredes exteriores  
run fc_proc (par_ext_cor, par_tipo, par_esp_isol, fc)
```

```
/* Determinacao dos K maximos, referencia e limite  
run zona_proc
```

```
/* Calculo dos KA  
run KA_proc
```

```
/* Calculo de ren_ar (renovacao de ar)  
ren_ar = Ap * Pd-0.34
```

```
dummy4 = ''
```

```
<<EOT>>
```

```
<<<EOF>>>
```



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000084031