

REBELO, F. (1993) – “Porto. Clima e poluição na base do ordenamento urbano”.
Cadernos de Geografia, nº12: 128-130.
 SALGUEIRO, T.B.(1992) – *A cidade em Portugal. Uma geografia urbana*. Lisboa.
 Edições Afrontamento.

1.2 O CLIMA URBANO PORTUENSE - CONTRIBUTO PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE UM ESPAÇO URBANIZADO

Ana MONTEIRO

Faculdade de Letras da Universidade do Porto
 PORTUGAL

RESUMEN: La ciudad de Oporto, a pesar de ser un área singular caracterizada por la combinación de diferentes factores geográficos, produce alteraciones significativas en su clima regional a causa de su propia actividad. Ni sus diferencias topográficas de orientación Este-Oeste, ni la proximidad de dos importantes superficies de agua (Océano Atlántico y el río Duero), ni mucho menos la repercusión térmica de la diversidad de áreas ocupadas en sus más de ocho siglos de historia, son suficientes para enmascarar el impacto de la dinámica urbana y, por tanto, del nivel de su balance energético.

PALABRAS-CLAVE: Calentamiento global, clima regional y local, isla de calor.

ABSTRACT: The city of Oporto, in spite of being a singular area when considering the combination of geographic factors which characterise it, provokes significant alterations in the regional climate, due to its functional vitality. Neither the E-W topographic differentiation, nor the proximity of two important mosaics of water (the ocean and the Douro River), nor, much less, the repercussions in terms of the diversity of area occupation, inherent to its more than eight centuries of history, are sufficient to dissimulate the impacts of the urban metabolism, at least, at the level of its energetic balance.

KEY-WORDS: Global Warming, Regional and Local Climate Change, Urban Heat islands

NOTAS

⁽¹⁾ Refiro-me, aqui, ao trabalho do grupo de Geoeecologia da Universidade de Lisboa.

1.2.1 INTRODUÇÃO

Vislumbra-se já, com clareza, na região do Porto, os efeitos que uma cidade pode provocar no clima regional e local, assim como, as consequências que a modificação de alguns elementos climáticos acarretam para o funcionamento do metabolismo urbano.

O climatótipo português, interessa-nos, neste trabalho, apenas enquanto parte integrante de um biótipo onde uma comunidade de seres vivos se relacionam.

A noção de "clima" que adoptamos, implica portanto, que nos preocupemos mais em compreendê-lo, quanto à teia relacional que reflecte, do que em arrumá-lo, em grandes grupos homogeneizados por características muito genéricas.

Esta prática aplicada da Climatologia, consolidou-se especialmente a partir dos anos 80, coincidindo, como na maior parte dos outros ramos do saber, com uma época de crise económica e social⁽¹⁾. Os investigadores, os cidadãos comuns e os decisores, perceberam que ligeiras variações climáticas, podem obrigar a reajustamentos económicos e sociais, cujos cenários são inimagináveis.

Disseminaram-se a partir de então, os exercícios demonstrativos da aplicabilidade da Climatologia, nomeadamente na implementação de uma política de desenvolvimento sustentado.

A operacionalização desta vocação da Climatologia, passa pela adopção de um conceito de clima como um sistema aberto, activo e complexo, cuja vitalidade está na dependência directa da capacidade de trocar energia e matéria com o exterior, retardando o mais possível a entropia total.

Encarado como um sistema aberto, o contexto climatológico de um espaço confinado, de uma região, de uma zona climática ou mesmo do Planeta, é passível de uma multiplicitade de estados de equilíbrio, alguns dos quais, podem colocar em risco, a presença de vida à superfície da terra.

À luz desta perspectiva, a ocorrência quer dos múltiplos acontecimentos extremos (algumas vezes catastróficos), quer de evidências de hipotéticas alterações climáticas, passam a poder explicar-se como "respostas" temporárias ou permanentes do *sistema climático* a modificações no cortejo de inputs ou outputs de energia e/ou massa.

A instabilidade que tipifica os estados de equilíbrio de qualquer sistema aberto, altera para a necessidade de compreender a complexidade desta estrutura organizada, que tanto quanto as inúmeras investigações científicas realizadas parecem indicar, é capaz de memorizar acontecimentos e conferir-lhe consequências no tempo.

No caso do *sistema climático*, existem uma série de regras de funcionamento que ainda desconhecemos e, outras que já se conseguem identificar como por exemplo:

- i) o clima global, reflecte as várias soluções adoptadas pelos níveis estruturais inferiores (subsistemas climáticos regionais e locais) para filtrar, seleccionar e conduzir a energia e a matéria;
- ii) as soluções do *sistema*, plasmadas em qualquer dos níveis estruturais, podem depender só das respostas encontradas pelos níveis inferiores ou pelos níveis superiores ou por ambos;

iii) as "respostas" no *sistema climático* são impulsivas e ocorrem retardadamente quando a elasticidade é ultrapassada..

Sabendo que o Homem, nomeadamente nos espaços urbanizados, tem contribuído para modificar - travando ou facilitando - alguns dos circuitos de energia e matéria nestes *subsistemas*, torna-se fundamental avaliar o grau desta sua co-participação, tanto ao nível de resolução geral do *sistema climático*, como das "respostas" locais e regionais.

Apesar de não duvidarmos que a utilização de combustíveis fósseis, as actuais práticas agrícolas e a crescente exploração dos cursos de água podem gerar impactos significativos no *sistema climático*, a **intensificação dos processos de urbanização** é, em nossa opinião, um dos melhores estudos de caso para demonstrar como o modus vivendi das sociedades actuais, pode ser responsabilizado por algumas das **manifestações de mudança climática** temporárias e/ou permanentes, evidentes a várias escalas espaciais.

Dentre os factos considerados provados cientificamente, pelo grupo de investigadores do Intergovernmental Panel of Climatic Changes (IPCC), desde 1990, ressalta o aumento da temperatura média do globo entre 0,3°C e 0,6°C nos últimos 100 anos e, a constatação de que os cinco anos mais quentes do século ocorreram na década de 80.

É também consensual, entre um grande número de investigadores, que a variabilidade climática não aumentou nas últimas décadas, embora o facto da temperatura média global ser mais elevada, tornar mais prováveis a ocorrência de temperaturas mais altas do que mais baixas.

É, nesta época de grandes consensos políticos, económicos e científicos, sobre a importância de um melhor conhecimento dos processos climáticos locais, regionais e globais, que se inclui este contributo para a compreensão do comportamento de algumas variáveis climáticas na região do Porto (Portugal) nos últimos anos.

Estando esta cidade à latitude de cerca de 41°N, pertence a uma área onde as repercussões do previsível "aquecimento global" serão particularmente graves.

Para além da sua posição em latitude ser susceptível de amplificar os efeitos do "aquecimento global" médio previsível, tem vindo a associar-se um outro efeito, cuja magnitude e intensidade no subsistema climático, não podemos descurar - a **urbanização**.

Enquanto temos de aguardar algumas décadas, pelas consequências do primeiro tipo de causas, os efeitos da urbanização são, como veremos, facilmente detectáveis, no comportamento de alguns elementos climáticos, durante os últimos anos.

1.2.2 A CIDADE DO PORTO - ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

A cidade desenvolveu-se sobre uma plataforma ligeiramente inclinada para o oceano Atlântico cujas altitudes oscilam entre os 160m (Arosa) e os 0m.

O rio Douro e o rio Leça têm, juntamente com o Homem, modelado o substracto físico onde a cidade se foi implantando (Fig. 1). A maioria dos afluentes destes dois cursos de água, foram reorientados pelas necessidades crescentes de espaço e não são visíveis à superfície, ou são-no, apenas em pequenos troços.

Os fortes declives de toda a margem S da cidade, área de grande compactidade, com ruas muito estreitas, edifícios antigos e altos, e, a posição morfológica evidente entre a metade oriental e ocidental da cidade, ajuda-nos a compreender também, as *nuances*, em termos de tipologia de ocupação do espaço urbano, a que se tem assistido nos últimos anos (Fig. 1).

De uma área total de 3985ha, a cidade do Porto tem cerca de 1/5 (752,7ha) a servir de suporte aos mais de 44 000 edifícios construídos e dispersos pela mancha urbana.

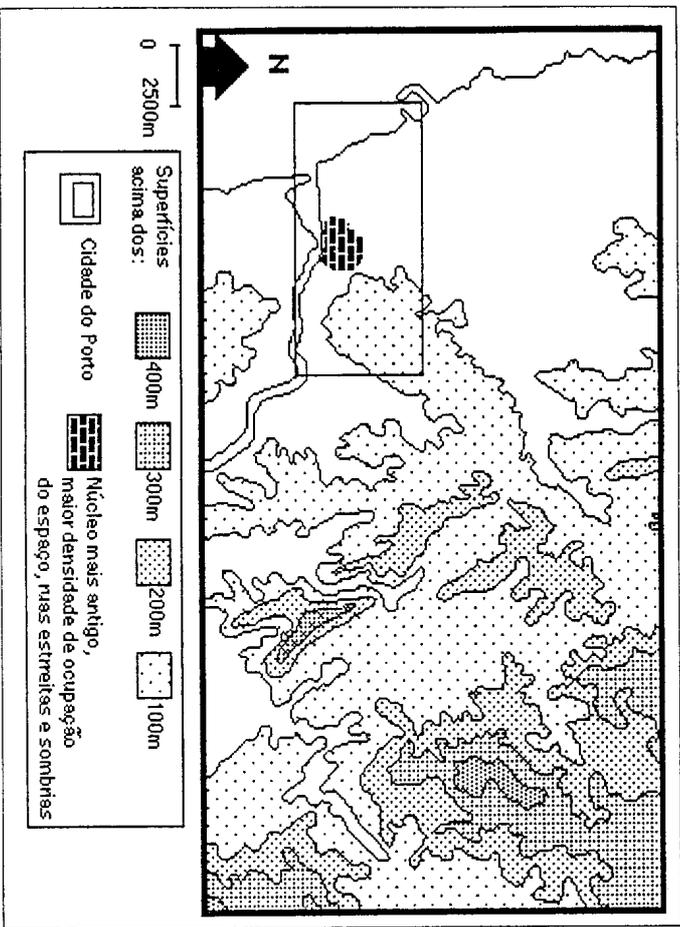


Fig. 1 - A cidade do Porto - enquadramento regional

Estes edifícios são, na sua maioria, de construção anterior a 1945, com dois, três e mais pavimentos e alojam para além dos cerca de 300 000 residentes, algum comércio, serviços e mais de 1700 unidades industriais.

Exceplutando Cedofeita, são as freguesias periféricas de Ramalde (NW), Paranhos (N), Bonfim (E) e Campanhã (E), as que concentram o maior número de estabelecimentos industriais potencialmente poluidores.

As ruas, onde circulam, diariamente, mais de 360 000 veículos, são sobretudo no núcleo mais antigo, normalmente estreitas, o que, associado à exiguidade de espaços verdes públicos, contribui fortemente para a imagem de grande compactidade que a cidade possui (Fig. 1).

Embora, quando observado ao nível do solo, o Porto ofereça, de facto, um aspecto compacto, cinzento, húmido e sombrio, parecendo "...aconchegado no seu grande capote de granito, fumejando independente, no cacimbo dos seus nevoeiros..." (Leião de Barros, 1896)⁽⁹⁾, numa perspectiva aérea, mais globalizante, a imagem é consideravelmente distinta (Fig. 2).



Fig. 2 - Áreas verdes no concelho do Porto (Monteiro, A., 1993)

Dentro dos quarteirões, muralhados por fachadas graníticas cinzentas e imponentes, sobrevivem ainda muitas manchas verdes (Fig.2)⁽⁹⁾.

Para além dos jardins conservados no interior dos quarteirões mantiveram-se, embora sem a funcionalidade⁽⁹⁾ e o aproveitamento doutros tempos, os jardins da Cordoaria, do Carregal, da Boavista, da Arca d'Água, etc. Incluídas, parcialmente, nas estratégias de manutenção e redinamização dos *Espços Verdes* dentro do espaço urbano, estão duas grandes áreas de lazer multifuncionais, o Parque da Cidade, no extremo NW da cidade e o Parque de S. Roque, na área oriental da cidade.

1.2.3 EVIDÊNCIAS DE MUDANÇA CLIMÁTICA NA ÁREA DO PORTO DESDE O INÍCIO DO SÉCULO XX

A análise dos registos de diversos elementos climatológicos nos últimos 20 anos (A. Monteiro, 1993) levou-nos a admitir como uma das principais causas para o aumento, particularmente das temperaturas mínimas e máximas, durante os últimos anos, na região portuense, o extraordinário crescimento económico a que a região assistiu, sobretudo a partir dos anos 80 (Fig. 3).

Se a distinção entre o que é *ruído* e o que é de facto *mudança* ou *tendência* não tem sido pacífica na história recente da Climatologia, a compreensão das relações de causalidade no seio do *sistema climático*, tem sido, sem dúvida, muito mais controversa.

Tentamos ultrapassar os riscos desta hipótese explicativa – os efeitos da urbanização por um lado, comparando os dados médios durante os últimos 20 anos, com o de outros períodos anteriores, e por outro, analisando o comportamento da temperatura da água do mar, em dois pontos de registo, no oceano, próximo do Porto, durante esse mesmo período.

A análise comparativa dos valores médios para os períodos 1931-60, 1951-80, 1961-90 e 1967-96 permite-nos avaliar o peso relativo do aumento da temperatura verificando no final dos anos 80, no comportamento médio ao longo dos últimos 60 anos (Quadro I).

A análise das temperaturas da água do mar próximo do Porto permite-nos saber se o aumento dos registos de temperatura verificados no ar, encontram algum paralelismo também nas águas do mar. Se tal acontecer, o peso das alterações provocadas pelas mudanças à escala global será obviamente o mais importante. Se, pelo contrário, não houver qualquer relação evidente entre o ritmo térmico no continente e no mar a hipótese explicativa fundamentada sobretudo nos efeitos provocados pelo aumento da poluição atmosférica inerente ao tipo de crescimento económico vivido na região depois de 1980 será muito mais verosímil.

A comparação entre as Normais Climatológicas de 1931-60 com as de 1961-90 ou com as de 1967-96 (Quadro I), mostram que as temperaturas médias mínimas foram mais elevadas no período mais recente, em Fevereiro (+0,9°C), Dezembro (+3,5°C), em Novembro (+0,7°C), em Setembro (+0,4°C), em Agosto (+0,3°C), em Julho (+0,7°C) e em Junho (+0,3°C).

MANIFESTAÇÕES DE MUDANÇA CLIMÁTICA

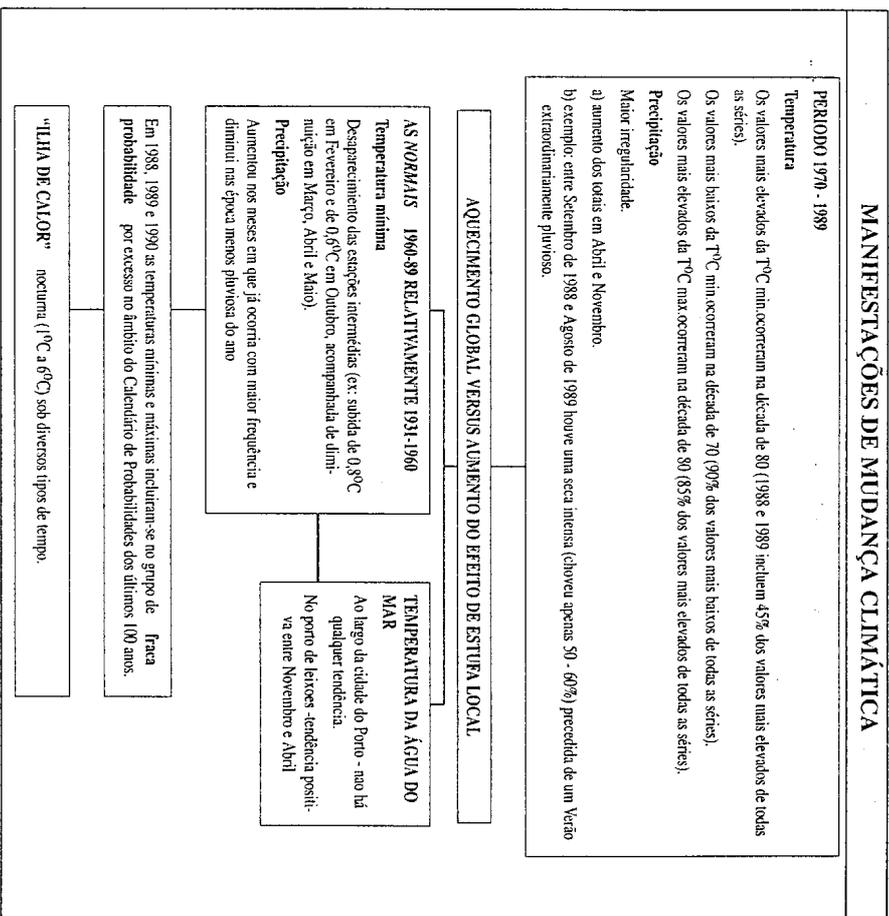


Fig. 3 - Manifestações de mudança climática na região Portuense (A. Monteiro, 1993).

Pelo contrário, Março, Abril e Maio têm vindo a assistir a uma diminuição das temperaturas mínimas durante os últimos anos, em Março, por exemplo, a diminuição rondou os 0,7°C.

Esta e outra informação climatológica analisadas parecem apontar para o "desaparecimento das estações de transição" que, tão frequentemente nos foi mencionado durante um inquérito à perceptibilidade climática dos portuenses que realizamos em 1990 (A. Monteiro, 1993).

Esta *mudança* é bastante mais evidente nas temperaturas mínimas do que nas temperaturas máximas (Quadro I). A irregularidade anual das temperaturas médias mínimas e máximas anuais, no período que analisamos, confirma de igual modo uma *tendência* para um aumento progressivo das médias anuais.

	T. Máxima		T. Mínima	
	NORMAL	1961-90	NORMAL	1961-90
JANEIRO	NORMAL	13,2	4,7	14,6
	1961-90	13,4	5,2	14,8
	1961-90	13,4	5,1	15,0
FEBREIRO	NORMAL	13,3	5,1	15,3
	1961-90	14,2	5,0	14,6
	1961-90	14,0	5,5	14,3
MARÇO	NORMAL	14,3	5,9	14,9
	1961-90	16,3	7,5	13,6
	1961-90	15,9	7,0	13,5
ABRIL	NORMAL	16,1	6,8	13,9
	1961-90	16,3	6,8	14,0
	1961-90	18,4	8,8	10,8
MAIO	NORMAL	17,9	8,3	11,1
	1961-90	17,5	8,3	11,5
	1961-90	17,6	8,3	11,4
JUNHO	NORMAL	19,6	10,8	7,8
	1961-90	21,0	10,4	7,5
	1961-90	19,6	10,6	8,0
JULHO	NORMAL	19,3	10,7	8,5
	1961-90	22,6	13,4	5,4
	1961-90	22,6	13,2	5,5
AGOSTO	NORMAL	22,4	13,5	8,0
	1961-90	22,4	13,5	8,0
	1961-90	22,4	13,7	8,5
SETEMBRO	NORMAL	20,6	11,4	7,5
	1961-90	21,0	11,5	7,8
	1961-90	20,9	11,5	7,8
OUTUBRO	NORMAL	20,6	11,4	7,5
	1961-90	21,0	11,5	7,8
	1961-90	20,9	11,5	7,8
NOVEMBRO	NORMAL	16,7	7,5	8,0
	1961-90	16,6	7,5	8,0
	1961-90	16,7	7,5	8,0
DEZEMBRO	NORMAL	16,9	8,5	8,5
	1961-90	13,7	5,4	5,4
	1961-90	13,8	5,5	5,5

Quadro 1 - Comparação das Normas Climatológicas de 1931-60, 1951-80 e 1961-90, 1967-96 para Porto-Serra do Pilar

Ao comparar os registos de temperatura, mínima e máxima, em várias estações climatológicas, localizadas na proximidade da cidade do Porto, constatamos que os valores têm vindo a aumentar ao longo dos últimos vinte anos, especialmente a partir de meados da década de 80. Só em 1988 e 1989 ocorreram cerca de 50% dos valores mais elevados de temperatura média mensal, mínima e máxima, registados durante as duas últimas décadas, no Porto-Serra do Pilar, Boa Nova, S.Gens, Pedras Rubras (Fig.3).

A ordem de grandeza dos valores de temperatura registados no final da década de 80 e durante os anos 90, não se destaca apenas no quadro dos últimos vinte anos, ela é também extraordinária à escala da série centenária (Monteiro, A., 1993).

Estes sinais de mudança, traduzidos num **aumento da temperatura** e/ou no **decaimento das estações de transição**, confirmaram-se, integralmente, na análise de todos registos climatológicos que elaborámos.

A comparação das várias *Normas Climatológicas*, para além de demonstrar um **aumento consecutivo da temperatura**, especialmente das temperaturas mínimas, do primeiro para o último período, expressou, claramente, sobretudo uma **alteração no ritmo climático inter-estacional** (Fig.3).

Se a este comportamento da temperatura, associarmos o da precipitação que, como verificámos (Monteiro, A., 1993), também registou um aumento dos totais mensais médios no último dos períodos, especialmente nos meses em que esta já ocorria, *habitualmente*, em maior quantidade, e uma diminuição nos meses do período mais seco,

reforçam-se, sem dúvida, os argumentos a favor das **manifestações de mudança climática**, partilhados, de forma empírica, por muitos portugueses.

Relativamente aos registos de temperatura da água do mar analisadas, nenhuma das séries evidenciou qualquer comportamento tendencial nítido (Monteiro, A., 1993). Embora haja, aparentemente, uma maior dispersão dos valores nos últimos anos, pelo menos em alguns meses, a sua relevância atenua-se quando observamos a globalidade das séries (Fig.3). De qualquer modo, não parece haver qualquer semelhança no ritmo evolutivo das temperaturas em terra e no mar, pelo que deduzimos que o aumento verificado nas temperaturas em terra se deverá provavelmente mais a causas de índole local do que a manifestações de mudança climática à escala regional, zonal ou mesmo global.

Confirmado este diagnóstico de **mudança climática**, ficámos alertados para a presença de *conhecer* melhor, até para poder *controlar*, tanto o ritmo e a velocidade, como a direcção em que se estão a desenrolar os processos de resolução no *subsistema climático* portuense, uma vez que não nos podemos esquecer da limitada capacidade de *adaptabilidade e resistência* dos seres humanos.

1.4.1 PADRÕES TÉRMICOS NO ESPAÇO URBANO PORTUENSE

A grande aglomeração de pessoas, a proliferação de actividades produtivas, a constante necessidade de trocar, o mais eficazmente possível, bens, serviços e informações, faz com que nos meios urbanos ressalte com redobrada importância um **segundo fluxo de circulação de energia** - artificial - que se associa ao fluxo natural, com origem na radiação solar, tornando a compreensão do subsistema climático urbano consideravelmente mais complexa.

O balanço energético, que para o meio urbano pode ser definido por $Q_s + Q_f + Q_i = Q_1 + Q_g + Q_e^{(9)}$ (Douglas, I., 1983), varia de cidade para cidade, consoante a morfologia da área, a volumetria do espaço construído, a cor e os materiais de construção dos edifícios, o tipo de pavimento das ruas. A dimensão da cidade, em termos de população, o tipo de tecido industrial e a fluidez de circulação do tráfego interferem, também, no resultado final desta equação.

Enquanto o **Qf** é sempre superior na cidade, relativamente à sua periferia, o **Qs** e o **Q1** são normalmente mais baixos.

O **Qs** é menor nas áreas urbanizadas porque a quantidade de partículas presentes na baixa troposfera urbana é muito maior, e, portanto, a radiação solar vai sendo absorvida e/ou reflectida, chegando à superfície em menor quantidade.

As perdas de calor por evaporação (**Q1**) são, também, inferiores no meio urbano, pela simples razão de que neste não há tanta água disponível para evaporar. O bom funcionamento do metabolismo urbano não se compadece com a presença da água precipitada muito tempo à superfície, sob pena de provocar congestionamentos na circulação de bens, serviços e informações, de todo indesejáveis.

Da importância relativa que o total de energia libertada, tanto pelos seres humanos e outros animais, como pelas actividades económicas (**Qf**)⁽⁹⁾, tiver face ao total de ener-

gia proveniente da radiação solar (Q_S) e do interior da terra (Q_I), dependerá a ordem de grandeza do *excedente energético* disponível para ser transportado, por condução e/ou perdido por irradiação.

Como não estão facilitadas as perdas por evaporação (Q_D), e a capacidade de armazenamento no seio do espaço construído é grande, quer pela densidade de ocupação, quer pelo tipo de materiais, quer pela geometria, parece óbvio que o balanço final entre as perdas e os ganhos, nos meios urbanos, não é nulo.

Favorecendo um leque mais diversificado de *entradas* de energia e bloqueando algumas das possíveis vias de *saída* da mesma, a cidade cria condições para se tornar, no seu todo, ou em parte, naquilo que vulgarmente se tem designado por "ilha de calor".

Embora os reflexos do fenómeno de urbanização na temperatura, especialmente nas mínimas, sejam os mais estudados e comprovados na extensa bibliografia disponível sobre o tema¹⁷, as consequências das inúmeras *artificialidades* típicas de qualquer meio urbano, bem como do *excedente energético* que lhe está associado, repercutem-se, também, noutros elementos climáticos.

Decidimos então, começar por avaliar, para o Porto, a magnitude e a intensidade dos **impactes na temperatura** provocados por esta artificialização do suporte biogeofísico.

Para isso, adoptamos uma estratégia metodológica diversificada mas, que procuramos, fosse coerente.

Combinamos várias campanhas de medição itinerante de temperatura e humidade relativa, com a distribuição, pela cidade, de alguns termómetros fixos e, quando nos foi possível, com a utilização de uma estação de registo contínuo de temperatura, humidade, vento, CO_2 , SO_2 , NO_2 e partículas.

As medições itinerantes com o termohigrómetro digital foram executadas num veículo ligeiro de transporte de passageiros, segundo percursos previamente definidos (Fig.4) e têm-se revelado, até ao momento, sem dúvida, a melhor fonte de informação sobre os padrões térmicos portuenses.

O percurso escolhido (Fig. 4), reflecte um conjunto amplo de nuances, tanto topográficas como de morfologia urbana e funcionalidade. Engloba grande parte das áreas de maior altitude da cidade do Porto, desde a Av. Fernão Magalhães até ao Marquês, assim como áreas menos elevadas, desde o Castelo do Queijo até ao Molhe. Estão incluídas tanto as áreas mais afastadas do mar, como o Freixo e a Circunvalação, entre S. Roque e o bairro de S. João de Deus, como as áreas mais próximas do oceano. São atravessados tanto os bairros de grande compactidade do centro da cidade, como as áreas de blocos residenciais recentes, mais altos e espaçados, ou as áreas de habitação unifamiliar da Av.da Boavista, de Antunes Guimarães e do Lidador, ou ainda áreas de promiscuidade de padrões estéticos e volumétricos da parte leste da cidade, entre as ruas do Heroísmo e de S. Roque da Lameira.

Tentámos, na medida do possível, incluir na nossa amostra exemplos de diversas épocas do ano, tendo em atenção o maior número de tipos de situações sinópticas presentes em cada um dos dias escolhidos

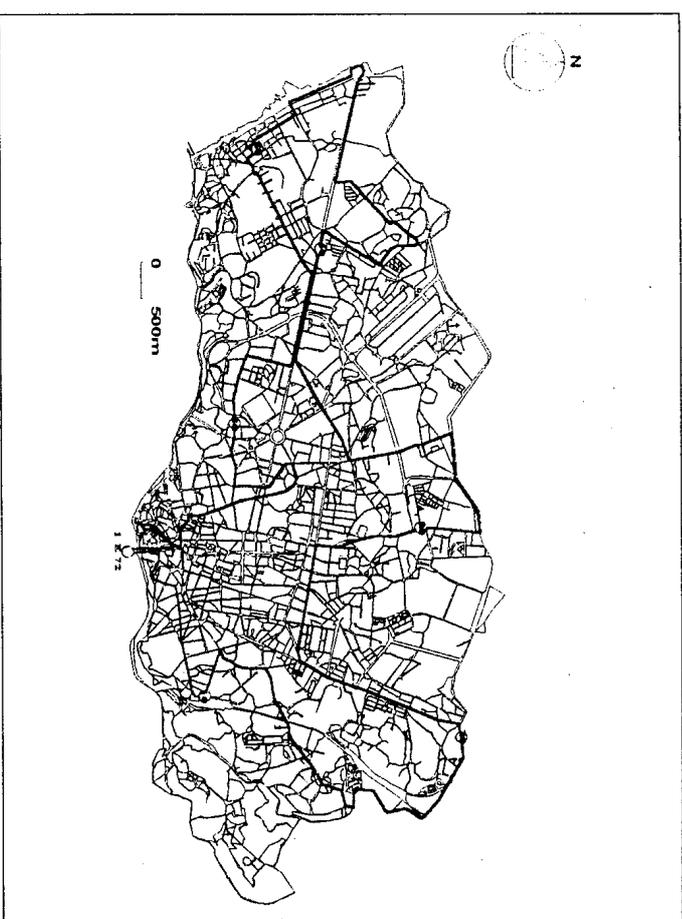


Fig. 4 - Percorso de medição itinerante de temperatura e humidade relativa efectuado desde 1989 a 1997.

A amplitude da distância-tempo entre o início e o fim do percurso impediu-nos de utilizar, directamente, os valores de temperatura registados (Fig. 5).

O facto de termos decidido não repetir cada um dos percursos em sentido inverso, impossibilitou-nos a utilização da média das temperaturas correspondente, às duas passagens em cada ponto de medição.

Decidimos, então, *normalizar* cada um dos valores absolutos, calculando a sua diferença relativamente a um ponto de referência constante.

O ponto de referência a considerar poderia ser um dos pontos de registo incluídos no itinerário -designado normalmente por *ponto zero* - ou então, um ponto de registo próximo, mas exterior ao percurso efectuado.

Experimentámos as duas alternativas metodológicas e decidimos *standardizar* as temperaturas registadas relativamente à estação de Porto-Serra do Pilar, localizada na margem esquerda do rio Douro (Fig. 1).

A consulta dos termogramas da estação de Porto-Serra do Pilar, para os diferentes momentos horários, em que decorreu cada um dos itinerários, alertou-nos para a diver-

cidade de amplitudes de variação da temperatura existentes, durante as cerca de 70-90 minutos, que demoramos a efectuar o percurso.

A *normalização* dos registos obtidos passou então a ser efectuada em relação à temperatura efectivamente correspondente ao momento em que foi efectuada o registo, em vez de o ser, apenas, em relação ao valor horário, registado na estação de Porto-Serra do Pilar⁽⁹⁾.

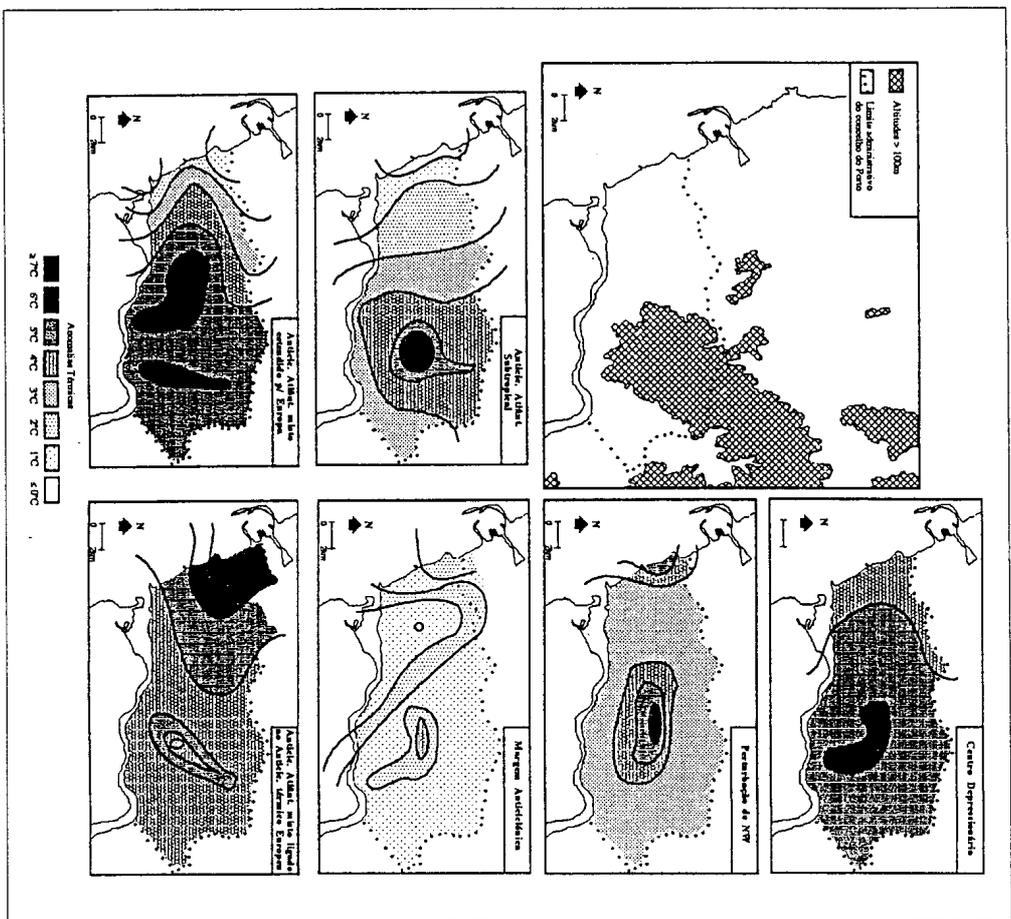


Fig. 5 - Tipologia das anomalias térmicas encontradas nas medições itinerantes de temperatura efectuadas na cidade do Porto entre 1998/9 e 1997, segundo a situação sinoptica presente.

Passamos, portanto, a utilizar **anomalias térmicas** (positivas ou negativas) e não a temperatura efectivamente registada em cada um dos pontos do percurso.

A cartografia das anomalias térmicas típicas, obtidas no conjunto dos dias correspondentes aos já cerca de 8 anos medições itinerantes (Fig. 5)⁽⁹⁾ permitiu-nos, desde logo, vislumbrar alguns dos principais factores explicativos determinantes do comportamento térmico de cada uma das diferentes áreas da cidade do Porto.

Logo numa primeira impressão visual de conjunto, da cartografia das isonómias médias, ressalta o facto das anomalias térmicas serem positivas para a maioria dos dias de registo, independentemente do estado de tempo.

É relativamente fácil definir o núcleo mais quente da cidade, que engloba uma vasta área, em L invertido, desde a Rua da Boavista até à "Baixa". Dentro deste núcleo mais quente, incluem-se, em dias com a presença de algumas situações sinópticas, três "picos" térmicos: Praça da Liberdade, Palácio dos Correios, Rua da Boavista, e um eixo entre a Praça das Flores e S. Roque (Fig. 5).

O núcleo mais quente centrado no, atrás mencionado, L invertido, que engloba a Av. da Liberdade-Pç. República-R.Boavista inclui lugares cujas altitudes oscilam entre os 64 m (Av.Liberdade) e os 116 m (Pç.República). O outro núcleo quente, localizado entre o Marquês e S. Crispim, corresponde a áreas com altitudes mais elevadas, entre 145 e 150 m.

A área S. e W. da cidade regista quase sempre temperaturas mais baixas. A diminuição da temperatura faz-se progressivamente à medida que nos aproximamos do rio Douro e do mar, respectivamente (Fig. 5).

As menores anomalias térmicas nem sempre correspondem, porém, aos pontos de registo mais afastados do centro da cidade. Em algumas situações sinópticas é bem visível um ponto zero naquela que parece ser a coalescência de duas áreas de influência diversas- o *mar/rio* e o fenómeno urbano.

A presença próxima tanto do mar, como da extensa mancha verde, correspondente ao Parque da Cidade, plasma-se claramente nos contornos das isonómias, em qualquer tipo de tempo.

A intensidade da "ilha de calor", tanto nos dias sob a acção de situações depressivas, como nos dias em que a atmosfera apresentava estabilidade, foi extremamente variável. Desde um dia em que toda a cidade apresentou uma grande homogeneidade (Perturbação de NW, Margem anticiclónica. Centro Depressivo), até outros exemplos extremos, em que o centro da cidade registou diferenças de temperatura acima dos 7°C (Fig.5).

Repare-se que não é, de forma alguma, evidente, qualquer predomínio das maiores intensidades da "ilha de calor" em dias sob influência de circulações anticiclónicas, como a vasta literatura consultada e a lógica fariam supor. Aliás, foi, até, sob a acção deste tipo de situação sinóptica que se observaram, em alguns dias, algumas das anomalias térmicas mais baixas (entre 0°C e 2°C).

Para além deste factor explicativo, emergem ainda alguns outros, de índole geográfica, dentre os quais se destaca: a altitude, o tipo de ocupação do solo e a volumetria dos edifícios.

A correlação experimentada entre a ordem de grandeza das diferenças térmicas encontradas e, cada um destes factores explicativos, permitiu-nos estabelecer alguma hierarquização, no que diz respeito à importância e área de influência de cada um deles, nos vários mosaicos térmicos encontrados (Quadro II).

Factores explicativos do clima urbano	Área de influência
Mosaicos de água / Tipo de cobertura do solo	Toda a área urbanizada
Condições meteorológicas (variáveis no tempo)	Toda a área urbanizada
Uso do solo	Subáreas dentro da cidade
Altitude	Subáreas dentro da cidade
Factores de posição	Pontos de registo dentro da cidade
Espaços verdes	Pontos de registo dentro da cidade
Orientação das ruas	Pontos de registo dentro da cidade

Quadro II - Factores explicativos do clima urbano (Monteiro, A., 1993)

Enquanto as *condições meteorológicas e proximidade do rio ou do mar* influenciam o padrão térmico de todo o espaço urbano, o tipo de uso do solo, a altitude, os espaços verdes ou a largura e orientação das ruas influenciam apenas alguns quarteirões próximos (Quadro II).

Os lugares, a *maior altitude*, estão, normalmente, mais expostos às acções de "limpeza" e arrejamento da atmosfera, uma vez que diminuem os motivos de atrito à passagem do vento, o que contraria, em absoluto, as condições que favorecem a acumulação de energia conducentes ao aumento da temperatura. Acontece, todavia, que estes lugares a maior altitude, para além de coincidirem com os lugares mais afastados do mar e do rio, correspondem à área leste da cidade, com uma morfologia urbana muito complexa e promiscua, onde labora um grande número de pequenas indústrias potencialmente poluentes. Por esta área topograficamente acidentada circula, também, todo o tráfego de acesso ao centro da cidade proveniente de E, NE e SE.

Os efeitos da altitude, que diluiriam *per se* a alimentação do "circuito artificial de energia", associados ao fenómeno de urbanização, são absolutamente eliminados ao nível da rua, onde foram efectuadas as medições.

Nos lugares da cidade a maior altitude, as condições ao nível do solo mascaram, quase completamente, a diluição dos *excedentes energéticos* que esperaríamos face ao menor atrito à passagem do ar que as caracteriza.

Relevante foi também a conclusão que retiramos das observações efectuadas sobre a fraca diferença, tanto nas formas como nas magnitudes, das "ilhas de calor" de Verão e de Inverno (Fig. 5).

As fracas oscilações no ritmo intra-anual da temperatura, típico das áreas próximas do litoral inseridas na zona temperada, como o Porto, ajuda-nos a compreender a menor oposição *Inverno/Verão* ao nível da intensidade da "ilha de calor"

O Inverno ameno e o Verão pouco quente, associado à inexistência de construção do uso de combustíveis fósseis como fonte de aquecimento do interior dos edifícios, durante a época mais fria do ano, contribui para que não haja uma clara diferença entre o padrão térmico urbano portuense de Inverno e de Verão.

Para além das características climáticas e do peso da tradição no tipo de energia mais utilizado, não podemos deixar de salientar a importância do baixo nível de "qualidade de vida" característico de um país, que, como Portugal, padece de um grande atraso económico⁽⁹⁾, para a compreensão desta fraca dicotomia Inverno/Verão que se observa ao nível da intensidade da "ilha de calor" na cidade do Porto (Quadro II b).

Dependendo a intensidade da "ilha de calor" urbana do peso que o $Q_{p(1)}$ tiver no resultado final da equação do balanço energético, é de esperar que os "picos térmicos" sejam tão mais notórios, quanto maior for o grau de crescimento/desenvolvimento económico do país a que essa cidade pertence.

Todavia, convém sublinhar que, apesar do Porto não se incluir sequer, no grupo das cidades com maior vitalidade económica ao nível Europeu, constatamos, frequentemente, a existência de "ilhas de calor" nocturnas intensas em qualquer estação do ano.

Apesar de ser um factor para o qual não conseguimos obter, do ponto de vista estatístico, relações evidentes com as anomalias térmicas, o *tipo de ocupação do solo* mostrou ser essencial para a compreensão da forma como se distribuíram, no espaço urbano portuense, as isonómatas dos vários exemplos seleccionados.

O reconhecimento do tipo de ocupação do espaço ajuda-nos, por exemplo, a entender a constante presença do *eixo zero*, que intercepta a Av. da Boavista próximo do cruzamento com a Av. Antunes Guimarães, e facilita a compreensão de algumas dimensões pontuais da temperatura coincidentes com a proximidade de jardins públicos arborizados.

CONCLUSÃO

As diferenças alimétricas, a acção da brisa do mar, os efeitos climatológicos da presença próxima do rio Douro, a distribuição desigual, pela cidade, de espaços verdes com características diversas e as diferentes tipologias de ocupação do espaço urbano, contribuem para distorcer a forma da "ilha de calor" na cidade do Porto mas, raramente, a conseguem anular.

Consoante o peso relativo que, momentaneamente, as características físico-químicas da massa de ar presente sobre a região, lhes permite ter, assim se vão evidenciando uns factores e anulando outros.

A "ilha de calor" distinguiu-se, especialmente, nos dias com *grande estabilidade, fraco gradiente barométrico, vento fraco e calmas* frequentes. Condições normalmente associadas à presença de situações anticiclónicas, mas que, como vimos, podem surgir sob a influência de situações depressionárias, quando o movimento ascendente

do ar está condicionado pela presença, em altitude, de uma "gota fria", ou quando deriva de um forte aquecimento de base.

O facto dos registos de temperatura observados dentro dos limites administrativos da cidade do Porto terem sido sempre superiores aos registados, no mesmo momento, na estação de Porto-Serra do Pilar (no exterior da cidade), reforça a relação de causalidade existente entre a **magnitude do fenómeno urbano** e os **excedentes energéticos** gerados.

Pelo que observámos no decurso desta fase do trabalho, os *excedentes energéticos* que alimentam o subsistema climático portuense e justificam as anomalias técnicas positivas, particularmente significativas em alguns pontos da cidade, devem-se sobretudo à associação, nesses lugares, de **tráfego intenso**, grande **compactidade do espaço construído** e **topografia acidentada**.

Estamos por isso à vontade para afirmar que as **manifestações de mudança climática**, detectadas para a região portuense, tanto na análise secular como na das últimas duas décadas, traduzem outro tipo de causas, pelo menos a existência de uma intensificação dos processos de urbanização na área.

BIBLIOGRAFIA

- BASTO, A.MAGALHÃES, *O Porto*, Livraria Bertrand, Lisboa, s/data.
- HOUGH, M., 1989. *City form and natural process*. Routledge, London.
- DOUGLAS, I., *The Urban Environment*, Edward Arnold, London, 1983.
- IPCC, 1995. *Climate Change 1995 - The Science of Climate Change*, Report of IPCC Working Group I, UNEP.
- MACDONALD, G., SERTORIO, L. (ed.), 1989. *Global Climate and Ecosystem Change*, NATO ASI Series, vol. 240, Plenum Press, New York.
- MBURNNEY, S., 1990. *Ecology into economics won't go or life is not a concept*, Green Books, Cornwall.
- MILLMAN, J., 1992. "Sea-level response to climate change and tectonics in the Mediterranean sea", in *Climate Change and the Mediterranean - environmental and societal impacts of climate change and sea-level rise in the Mediterranean region*, JEFF- TIC, L., MILLMAN, J.D., SESTINI, G., (ed.), Edward Arnold, London.
- MONTEIRO, A., 1993. O clima urbano do Porto - contribuição para a definição das estratégias de planeamento e ordenamento do território. FLUP, Porto, polic.
- MONTEIRO, C., 1976. *Teoria e clima urbano*, IGEOG, Univ. de São Paulo.
- O'RIORDAN, T., 1983. *Environmentalism*, 2ª ed., Pion Limited, London.
- OKE, T., 1990. *Boundary Layer Climates*, 2nd ed., Routledge, London.
- PACHECO, H., *Porto*, col. Novos Guias de Portugal, 3ª ed., Ed. Presença, Lisboa, 1988.

NOTAS

⁽¹⁾ A história recente das ciências evidencia uma coincidência temporal entre as práticas científicas aplicadas e os períodos de recessão económica e, entre as práticas científicas puras/teóricas com os períodos de prosperidade económica

⁽²⁾ Citado por BASTO, A., p.125.

⁽³⁾ Este levantamento dos espaços verdes na cidade do Porto foi elaborado a partir do Ortofoto-mapa à escala 1:10000, IGC, 1988. Aproveitamos para agradecer aos Serviços da Carta da Cidade da CMP a amável cedência de cópias deste instrumento de trabalho.

⁽⁴⁾ "...Dizia-se que esta era a cidade dos jardins. Das flores e das canélias. Os jardins funcionavam como elementos de convivência cívica e da ocupação dos ócios dos portuenses. Ir ao jardim era hábito, prazer, divertimento. Conveniência de saúde no mundo fechado das ruas estreitas e sobrepovoadas dos limites do burgo.

Mais do que pulmões, os jardins foram, até à época das comunicações e dos transportes de massas, centros culturais e organismos vivos no coração do tripeiro..." (Pacheco, H, Lisboa, 1988, p. 175).

⁽⁵⁾ Sendo **Q_s**: energia radiante recebida do sol, **Q_f**: energia gerada por combustão, metabolismo e energia dissipada nos processos industriais, **Q_i**: calor emitido pelo interior da terra, **Q_l**: perda de calor por evaporação, **Q_g**: perda de calor por condução no solo, nos edifícios e nas ruas, **Q_e**: perda de calor por irradiação.

⁽⁶⁾ T.R.OKE, 1990, p. 276, refere alguns valores do **Q_f**/ano para algumas cidades, dos quais salientamos a título de exemplo: New York (Manhattan): 40°N- 1967- 117 W/m²; Sheffield: 53°N-1952-19 W/m²; Los Angeles: 34°N-1970- 21 W/m²; Fairbanks, Alasca: 64°N - 1970 - 19 W/m².

Estes valores de **Q_f** foram obtidos a partir dos consumos de energia (electricidade, gás, carvão, madeira, carvão, gasolina, etc.) para aquecer os espaços interiores, para os processos de fabrico, para transportar bens e pessoas e para iluminação. O valor do **Q_f** depende, como facilmente se deduz, do desenvolvimento económico do país em primeiro lugar, e só depois da dimensão da cidade e das características climáticas da área.

⁽⁷⁾ No que se refere a Portugal apenas foram desenvolvidos trabalhos de investigação, neste domínio, para Lisboa (ALCOFORADO, 1988) e para Coimbra (GANHO, 1992).

O tema tem vindo, no entanto, a ser explorado por diversos investigadores, dos quais não podemos deixar de salientar CHANDLER (1963, 1965, 1967, 1976), LEE (1975, 1977, 1984), OKE (1973, 1981, 1982, 1990), LANDSBERG (1970, 1974, 1981), ESCOURROU (1986), LÓPEZ GÓMEZ y cols (1984, 1985, 1990, 1991), SWEENEY (1987), WANNER (1984), UNWIN (1980), ZURITA (1991), DJEN (1992), etc.

⁽⁸⁾ Este procedimento metodológico foi possível porque, durante as medições itinerantes, registámos, para cada valor de temperatura, a hora e minuto correspondente.

⁽⁹⁾ A figura 5 representa cartograficamente uma tipologia-síntese das anomalias técnicas nocturnas encontradas na cidade do Porto relativamente à estação de Porto-Serra do Pilar, durante os 8 anos de trabalho de campo.

O critério que presidiu à sequência apresentada foi o tipo de situação sinóptica presente. A organização das representações cartográficas, segundo este critério, pareceu-nos poder de alguma forma, contribuir para evidenciar, desde logo, algumas das causas que estão na origem dos diversos padrões térmicos urbanos encontrados, como, aliás, adiante se confirmará.

⁽¹⁰⁾ Ao *progresso*, pelo menos no sentido estritamente económico do termo, está, normalmente, associado o uso de uma série diversificada de infraestruturas e equipamentos promotores de *conforto*, altamente consumidores de energia. Daí que as taxas de consumo tenham servido até há bem pouco tempo, e continuam ainda a servir, como um bom indicador do grau de desenvolvimento/crescimento económico.

⁽¹¹⁾ O Qf representa as outras fontes geradoras de calor de origem antrópica. No meio urbano estas fontes de calor traduzem-se por um conjunto de infraestruturas que visam aumentar o *bem-estar* e a *qualidade de vida* dos cidadãos, tais como: máquinas, sistemas de aquecimento/arrefecimento, iluminação, etc.