

# Artigo

---

*Publicado na revista Engenharia & Vida, nº 16, Setembro 2005, pp. 53-57*

Julho 2005  
AC05104LIS/ENG

## Termografia por Infravermelhos Inspeção de Betão

Luís Viegas Mendonça



# Termografia por Infravermelhos Inspeção de Betão

Luís Viegas Mendonça\*

## Sumário

---

O presente artigo descreve a utilização da termografia por infravermelhos na detecção de patologias no betão. Trata-se de uma técnica de ensaio largamente utilizada na América do Norte, há mais de 30 anos, quer em inspeções estruturais, quer em inspeções de outras patologias da construção.

A inspeção termográfica do betão provou ser o método de ensaio não destrutivo mais eficaz, económico e preciso, quando comparado com outros métodos de teste, tais como os radioactivos ou os nucleares.

Este método apresenta a vantagem de analisar áreas em vez de pontos ou linhas.

---

\* Engenheiro civil sénior  
Director da SpyBuilding – Inspeção de Edifícios Lda.  
Professor Universitário  
Termógrafo credenciado em “Infrared Building Science”, pelo Infrared Training Centre / Building Science Institute, Boston, USA.

## 1. Introdução

### 1.1. A Descoberta dos infravermelhos

Os raios infravermelhos foram descobertos em 1800, por Sir William Herschel, um astrónomo inglês.

Herschel tentava descobrir quais as cores do espectro que eram responsáveis pelo aquecimento dos objectos. Concluiu que a temperatura aumentava à medida que se passava do violeta para o vermelho mas, mais, descobriu que a maior temperatura ocorria para além do vermelho, para além do visível.

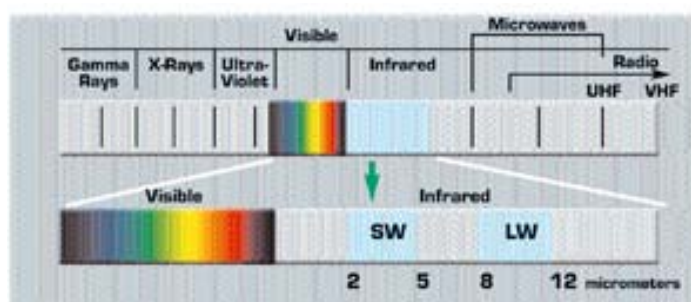


Fig. 1 - Espectro electromagnético

Os raios caloríficos, como Herschel então lhes chamou, são hoje conhecidos como raios infravermelhos.

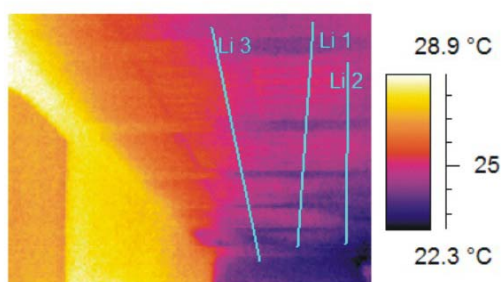
### 1.2. O que é a termografia por infravermelhos?

Todos os objectos emitem radiação infravermelha. A intensidade da radiação emitida depende de dois factores: a temperatura do objecto e a capacidade do objecto de emitir radiação. Esta última é conhecida por emissividade.

Existe uma lei da Física que diz que todos os materiais com uma temperatura acima do zero absoluto ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) radiam calor. A radiação de calor significa o

mesmo que radiação infravermelha. Quanto mais quente está o objecto, maior a radiação.

A termografia por infravermelhos (TI) consiste na captação de imagens de calor (termogramas), não visíveis pelo olho humano, através de uma câmara termográfica.



**Fig. 2 - Exemplo de um termograma**

A imagem infravermelha deve ser acompanhada por uma medição térmica precisa, para poder reflectir as condições reais de um objecto.

A análise dos dados obtidos por inspecção termográfica é fundamental e deve ser baseada no conhecimento adquirido em formação especializada e consolidado com a experiência ao longo dos anos.

### 1.3. Equipamento

A inspecção termográfica por infravermelhos é realizada utilizando câmaras termográficas.



**Fig. 3 - Câmara termográfica FLIR P65**

Uma câmara de termografia por infravermelhos é um aparelho que detecta energia infravermelha (calor), a converte em sinal eléctrico e produz imagens, efectuando cálculos de temperatura.

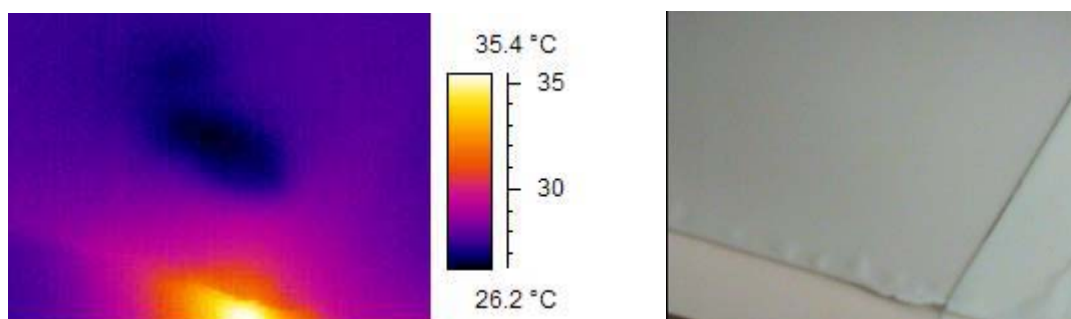
A radiação calorífica está próxima da radiação luminosa visível, e pertence à vulgarmente chamada radiação electromagnética. Propaga-se a 300 000 km/s, ou seja, à habitualmente designada velocidade da luz.

Apesar de até ao momento, apenas se ter referido radiação, o utilizador desta tecnologia está interessado é em temperatura. Como a relação entre radiação e temperatura é uma lei física, tornou-se possível que as câmaras termográficas meçam radiação e a convertam em temperatura.

A nova tecnologia utilizada nos detectores (componente principal das câmaras termográficas), a imagem visual integrada e o software hoje disponível, permitem a realização de inspecções termográficas excepcionalmente produtivas e precisas.

#### 1.4. Termografia em edifícios

A termografia por infravermelhos tem inúmeras aplicações em edifícios. Pode ser utilizada para detecção de causas de patologias verificadas visualmente, tal como pode ser empregue como instrumento de engenharia preventiva, descobrindo patologias ainda não aparentes, mas já embrionárias.



**Fig. 4 - Detecção de uma infiltração não visível**

As aplicações da TI em edifícios são diversas, podendo referir-se algumas, a título de exemplo:

- detecção de infiltrações ou fugas de água
- detecção de fendas estruturais
- detecção de vazios no interior do betão
- detecção de corrosão de armaduras
- localização de redes interiores
- análise térmica dos edifícios
- etc.

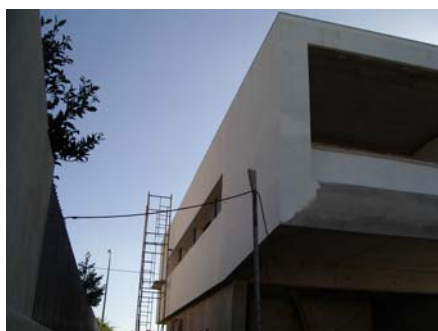
Numa inspeção termográfica são produzidas imagens, os termogramas, e registadas as respectivas temperaturas ao longo da superfície. Após análise dos dados recolhidos, através de software apropriado, torna-se possível tirar conclusões precisas e indicar as medidas preventivas ou correctivas adequadas.

## 2. A termografia na inspeção de betão

---

### 2.1. Introdução

O betão é um dos materiais de construção mais utilizados a nível mundial.



**Fig. 5 - Estrutura em betão armado**

A maior parte das estruturas de betão armado bem executadas têm um período de vida útil de cerca de 25-30 anos sem degradação aparente. Quando esta começa, o avanço é inicialmente lento mas, gradualmente, passa a um aumento exponencial.



**Fig. 6 - Degradação avançada de betão armado**

A manutenção planeada pode prolongar a vida das estruturas quase indefinidamente, sendo a inspeção das mesmas a base para estabelecer a intervenção económica e em tempo útil.

Qualquer tipo de ensaio, para ser de utilização alargada, tem que apresentar as seguintes características:

- ser preciso e fiável
- ser reproduzível
- ser não destrutivo
- ser capaz de analisar quer grandes, quer pequenas áreas
- ser eficiente em termos de trabalho e de equipamento
- ser económico
- não provocar inconvenientes para os utilizadores

Durante os últimos 30 anos tem sido aperfeiçoada uma técnica, para teste do betão "in-situ", que preenche todos os requisitos referidos: ensaio termográfico por infravermelhos.

## 2.2. Passado histórico

As técnicas de investigação da termografia por infravermelhos baseiam-se no princípio fundamental de que os materiais com anomalias internas, tais como vazios no betão, causados por corrosão de armaduras ou por uma compactação deficiente, ou infiltração de água, apresentam um fluxo de calor não uniforme, ao longo do material. Essas diferenças no fluxo de calor causam discrepâncias localizadas na temperatura superficial do elemento em estudo. Assim, através da medição da temperatura superficial, sob condições de fluxo de calor a entrar ou a sair do material, pode determinar-se a existência e a localização de anomalias ou descontinuidades internas.

A primeira utilização registada da termografia para determinação de anomalias internas no betão foi publicada pelo "Ontario Ministry of Transportation and Communication", em 1973. Nos anos seguintes, quer o Canadá, quer os Estados Unidos, levaram a cabo vários programas de investigação sobre termografia por infravermelhos.

Em 1985, a ponte "Poplar Street Bridge", sobre o rio Mississippi, em St. Louis, Missouri, foi inspeccionada através de cinco técnicas diferentes, por cinco empresas diferentes. Os métodos utilizados foram:

- inspecção visual
- termografia por infravermelhos
- radar
- carotagem
- medição de cloretos





**Fig. 7 - Poplar Street Bridge**

Os resultados dos vários testes foram analisados por uma outra empresa independente, com a utilização de sistemas de CAD, afim de poder sobrepor a informação e comparar as várias tecnologias aplicadas, quer em análise de localizações pontuais, quer em estatísticas globais. A termografia infravermelha demonstrou ser o método não destrutivo com maior precisão, bem como o mais eficiente e económico.

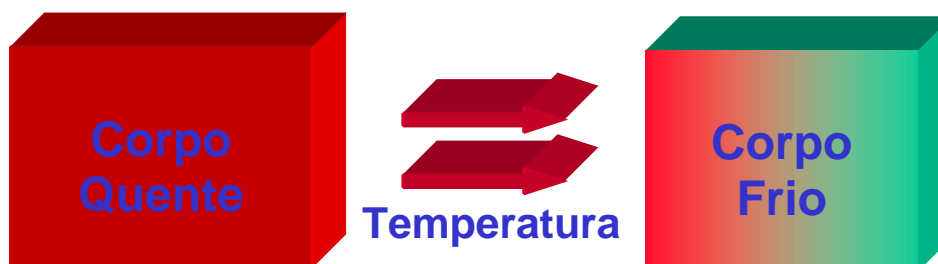
### **2.3. Considerações técnicas**

Uma inspeção realizada através de termografia por infravermelhos mede apenas temperaturas superficiais, mas a temperatura superficial de uma massa de betão depende de três factores:

- configuração interna
- condições da superfície
- meio ambiente

Os efeitos da configuração interna são baseados no princípio de que o calor não pode ser impedido de fluir das áreas mais quentes para as mais frias; pode apenas mover-se a velocidades diferentes, devido aos efeitos isolantes dos

materiais que atravessa. Vários tipos de materiais de construção apresentam vários graus de isolamento ou de condutividade térmica. Por outro lado, tipos de defeitos distintos no betão têm valores diversos de condutividade térmica.



**Fig. 8 - O calor flui sempre das zonas quentes para as zonas frias**

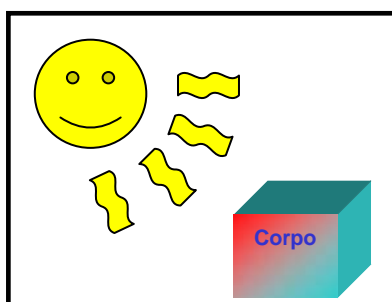
Existem três modos de transmissão de energia térmica, de uma zona mais quente para uma zona mais fria:

- condução
- convecção
- radiação

Um betão perfeito terá a menor resistência à condução do calor e os efeitos da convecção interna e da radiação serão desprezáveis. No entanto, os vários tipos de anomalias associados a um betão de má qualidade, ou de deficiente execução, nomeadamente a existência de vazios ou a baixa densidade, baixam a condutividade térmica do betão através da redução das propriedades de condução de energia, sem aumentar substancialmente os efeitos de convecção (porque os espaços com ar não permitem a formação de correntes de convecção).

Para que um fluxo de energia térmica exista tem que existir uma fonte de calor. Uma vez que a inspeção do betão pode envolver áreas grandes, a fonte de calor deve ter um custo reduzido e ser capaz de produzir uma distribuição de calor uniforme ao longo de toda a superfície do betão.

O Sol preenche estes dois requisitos. A acção solar, aquecendo a superfície do betão a inspeccionar fornecerá, geralmente, a energia requerida. Durante o período da noite o processo poderá ser o inverso, funcionando o betão como fonte de calor para o meio ambiente mais frio.



**Fig. 9 - O Sol é a melhor fonte de calor de que dispomos**

Para áreas de betão não expostas ao sol, uma alternativa será utilizar a capacidade de armazenamento de calor da Terra para introduzir calor no betão a inspeccionar. O ponto importante é que para se poder utilizar a termografia por infravermelhos o calor tem que fluir através do betão. Não interessa em que direcção o faz.

O segundo factor a considerar quando se utiliza a termografia para medir diferenciais de temperatura no betão, originados por anomalias, é o estado da superfície da área a testar. Como referido anteriormente, existem três maneiras de transferir energia térmica. A radiação é o processo que tem o maior efeito na capacidade da superfície em transmitir energia. A capacidade que um material tem de radiar energia é medida pela emissividade do material (a qual é definida como sendo a capacidade que o material tem para radiar energia comparada com a de um "corpo negro perfeito", o qual apresenta uma emissividade=1). Esta é uma propriedade da superfície. A emissividade é maior para superfícies rugosas e menor para superfícies lisas. Por exemplo, o betão pode apresentar uma emissividade de 0,95, enquanto o cobre pode ter uma emissividade de apenas 0,05. Isto implica que, quando se utilizam métodos

termográficos para medir valores de temperatura em grandes áreas de betão, não se podem considerar zonas onde existam, por exemplo, rastos de borracha de pneus, manchas de óleo ou qualquer outra sujidade na superfície.

Por último, o terceiro factor que afecta a medição de temperatura é o meio ambiente. Existem vários parâmetros que influenciam a medição da temperatura superficial:

- Radiação solar: os testes devem ser efectuados em períodos do dia ou da noite em que a radiação solar, ou a sua inexistência, produza o mais rápido aquecimento, ou arrefecimento, da superfície do betão.
- Nuvens: as nuvens reflectem a radiação infravermelha, atrasando a transferência de calor para o exterior. Assim, as medições nocturnas devem ser efectuadas em períodos em que existam poucas ou nenhuma nuvens, afim de estar assegurada uma transferência mais eficaz da energia.
- Temperatura ambiente: este parâmetro é de pouco significado na precisão do teste porque o importante é a velocidade de aquecimento ou arrefecimento da superfície do betão. Este factor afectará apenas a extensão do período de tempo em que se poderão realizar as medições de temperatura com alto contraste. Também é importante considerar a presença de água na superfície nos casos em que a temperatura ambiente é inferior a 0° C: a água nos poros pode congelar preenchendo-os completamente.
- Velocidade do vento: os ventos fortes têm um efeito de arrefecimento e, conseqüentemente, reduzem as temperaturas superficiais. As medições termográficas só devem ser realizadas com velocidades de vento inferiores a 25 km/h.

- Humidade da superfície: a humidade tende a dispersar o calor na superfície e a “esconder” os diferenciais térmicos. As medições não devem ser efectuadas quando o betão estiver sujeito à acção da chuva ou da neve.

Se as condições correctas para ensaio estiverem reunidas, cada anomalia do betão apresentará uma temperatura diferente. Por exemplo, se a inspecção for realizada à noite, a maior parte das anomalias apresentará valores entre 0,01 e 5° C abaixo da temperatura das superfícies sãs envolventes. Uma inspecção diurna irá reverter os resultados, ou seja, as superfícies correspondentes às anomalias estarão mais quentes que as superfícies correspondentes ao betão sem defeitos. Daqui se pode concluir que os conhecimentos na área da termografia infravermelha são de extrema importância, para que os resultados apresentados após o ensaio traduzam a realidade.

#### **2.4. Vantagens e limitações da TI**

A termografia por infravermelhos, para a determinação de vazios no interior do betão, humidade interna ou outras anomalias, apresenta vantagens significativas sobre os testes invasivos (tais como carotagem) bem como sobre outras técnicas de ensaios não destrutivos, como por exemplo técnicas radioactivas ou nucleares.

A vantagem evidente da termografia sobre testes invasivos é a não existência de destruição de nenhuma zona de betão durante o ensaio. Isto resulta em redução do tempo de inspecção, da quantidade de trabalho, do equipamento necessário, etc. Por outro lado, não provoca nenhuma perturbação da superfície do betão a ensaiar, pelo que não prejudica a estética. Não provoca pó nem origina detritos.

O equipamento de termografia por infravermelhos não emite qualquer tipo de radiação. Apenas regista a radiação emitida pelo material.



**Fig. 10 - Duas câmaras termográficas específicas para utilização em edifícios (B2 e B20)**

A última e mais importante vantagem da termografia por infravermelhos é que é uma técnica de teste de áreas, enquanto que os outros métodos de ensaio, quer não destrutivos, quer destrutivos, são técnicas de ensaios em pontos localizados ou em linhas. A termografia permite apresentar uma imagem da superfície analisada, mostrando a extensão das patologias interiores detectadas.

A termografia por infravermelhos apresenta uma limitação: a profundidade e a espessura da anomalia detectada não podem ser determinadas. No entanto, nos casos em que tal seja importante, pode utilizar-se a termografia para analisar a superfície e localizar os problemas e, seguidamente, utilizar ensaios por radar nas zonas específicas onde se determinaram os defeitos.



**Fig. 11 - Ensaios de betão armado com radar**

A combinação destas duas técnicas permitirá uma excepcional precisão, eficiência, economia e segurança.

### 3. Conclusões

---

A termografia por infravermelhos é utilizada na inspecção de betão há mais de 30 anos. Ao longo deste período ficou demonstrado tratar-se da tecnologia de ensaio não destrutivo que apresenta maior precisão, economia e eficácia.

Apesar da simplicidade da recolha de dados, este ensaio requer alguma experiência para a análise dos resultados. Assim, não deve ser realizado (e muito menos os dados analisados) por pessoas sem formação específica em termografia infravermelha e sem conhecimentos na área da engenharia. Uma interpretação incorrecta dos resultados pode subverter toda a realidade.

A TI é o único método de ensaio não destrutivo que abrange áreas em vez de pontos ou linhas. Esta técnica apresenta apenas uma limitação: não permite determinar a que profundidade se encontra o defeito, nem medir a sua espessura. No entanto, quando o valor de algum desses parâmetros for necessário, a termografia infravermelha pode ser complementada por outras tecnologias, tais como ensaios por radar.

## Bibliografia

ITC (2005). "Applications of Infrared Thermography for the Inspection of Commercial and Residential Buildings". Infrared Training Centre & Building Science Institute. Boston. USA.

Malhotra, V. and Carino, N. (2004). "Nondestructive Testing of Concrete". CRC Press. New York

ACI 228.2R-98. (1998). "Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures", American Concrete Institute, U.S.A.