

## O que é o aquecimento por indução?

O aquecimento por indução é um método rápido, eficiente, preciso, repetitivo e sem contacto para aquecer metais ou outros materiais condutores de electricidade. O sistema de aquecimento por indução consiste numa fonte de alimentação que converte a energia da rede numa corrente alternada, que é transmitida para um cabeçote e bobina de indução, criando um campo eletromagnético no interior da bobina. A peça de trabalho é colocada no interior da bobina. O campo magnético induz então uma corrente na peça de trabalho, que produz calor. A bobina, que é arrefecida a água e fria ao toque, é colocada à volta ou adjacente à peça de trabalho. Não toca na peça de trabalho, e o calor é gerado apenas pela corrente induzida que circula na peça de trabalho.

O material da peça de trabalho pode ser metal, como aço, cobre, alumínio ou bronze, ou um semiconductor, como carbono, grafite ou carboneto de silício. Para aquecer materiais não condutores, como plástico ou vidro, a indução pode aquecer um susceptor condutor, normalmente grafite, que transfere depois o calor para o material não condutor.

O aquecimento por indução é utilizado em processos com temperaturas tão baixas como 100 °C e tão altas como 3000 °C. Pode ser utilizado em processos de aquecimento curtos que duram menos de meio segundo e em processos de aquecimento que podem durar meses.

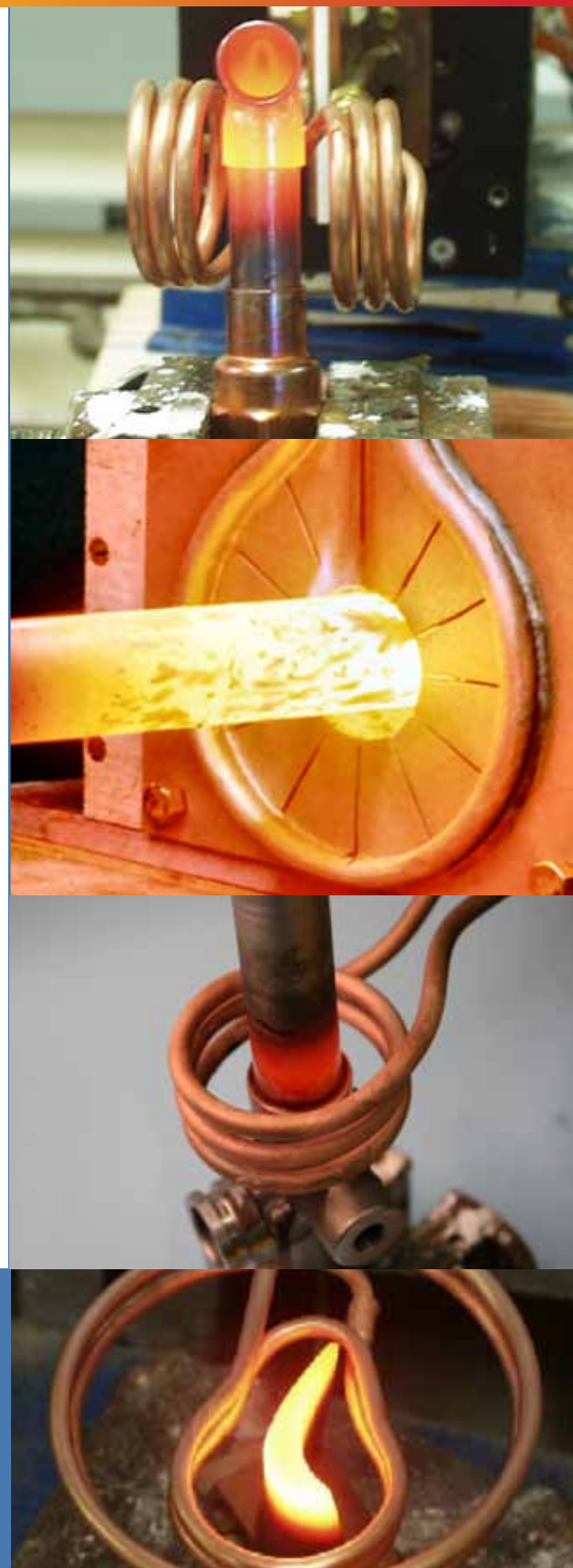
O aquecimento por indução é utilizado em cozinhas domésticas e industriais, e em várias aplicações, como fusão, tratamento térmico, pré-aquecimento para caldear, soldar, consolidar, selar, fixar por contração na indústria e em pesquisa e desenvolvimento.

## Como funciona o aquecimento por indução?

Algumas noções básicas poderão ajudar a compreender melhor este fenómeno eléctrico. A indução cria um campo eletromagnético numa bobina para transferir energia para a peça de trabalho a ser aquecida. Quando uma corrente eléctrica passa ao longo de um condutor, é criado um campo magnético à sua volta.

## Principais vantagens da indução:

- Aquecimento rápido
- Aquecimento preciso e repetível
- Aquecimento eficiente
- Aquecimento seguro, pois não existem chamas
- Prolongamento da vida útil da fixação, devido ao aquecimento preciso

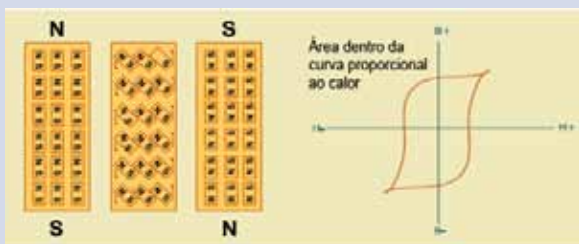


# Métodos de aquecimento por indução

Existem dois métodos de aquecimento por indução:

1. Aquecimento com corrente turbilhonar a partir das perdas de  $I^2R$  da resistividade do material da peça de trabalho.

2. Aquecimento por histerese, em que é produzida energia no interior da peça como resultado da alternância na polaridade magnética da peça, que é forçada pelo campo eletromagnético criado pela bobina. Este aquecimento ocorre na peça até à temperatura de Curie, quando a permeabilidade magnética do material é reduzida para 1 e o aquecimento por histerese é minimizado. O restante efeito de aquecimento por indução ocorre através de aquecimento por corrente turbilhonar.



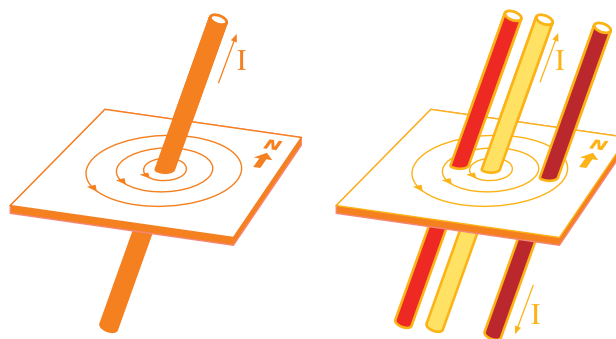
## Será que a indução vai funcionar para a minha aplicação?

Uma das características diferenciadas da experiência da Ambrell são os ensaios em laboratório gratuitos. Os engenheiros de projeto da Ambrell irão ensaiar as suas peças, determinar o sistema correto, com base nos seus requisitos, e também determinar o melhor modelo de bobina.

Não só temos todo o gosto em explicar-lhe o que é a indução, como iremos facilitar a implementação da indução.

Quando a corrente elétrica muda de direção (CA), o campo magnético acompanha a mudança de direção. Quando é colocado um segundo condutor nesse campo magnético alternado, é produzida nele uma corrente alternada. A corrente no segundo condutor é proporcional à corrente no primeiro e ao inverso do quadrado da distância entre eles.

Se substituirmos o condutor neste modelo por uma bobina, a corrente alternada que circula nesta cria um campo eletromagnético. Enquanto a peça de trabalho a ser aquecida estiver nesse campo, corresponderá ao segundo condutor, circulando nela uma corrente alternada. É produzido calor na peça de trabalho devido às perdas de  $I^2R$  da resistividade do material de que é feita. Chama-se a isto aquecimento por corrente turbilhonar.



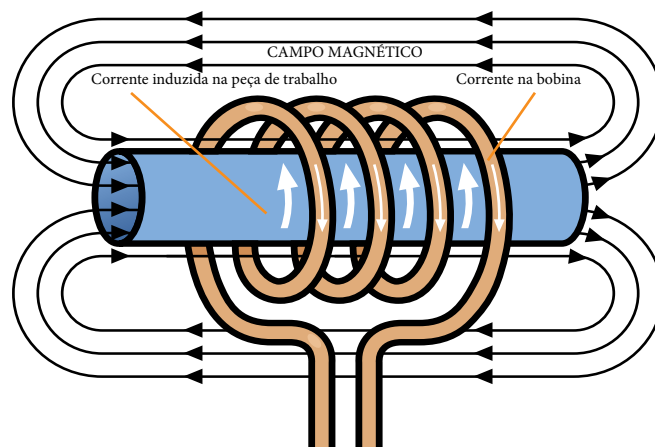
## Como funciona uma bobina de indução?

A bobina de indução é utilizada para transferir energia para a peça de trabalho, utilizando um campo eletromagnético alternado.

A corrente alternada que circula na bobina gera um campo eletromagnético, que induz uma corrente na peça de trabalho que é uma imagem espelhada da corrente que circula na bobina de indução.

A bobina de indução, também conhecida como indutor, é o componente do sistema de aquecimento por indução que define o grau de eficácia e eficiência do aquecimento da peça de trabalho.

As bobinas de indução variam em termos de complexidade, desde a bobina helicoidal simples (ou solenoide), que consiste num tubo de cobre enrolado à volta de um mandril, até a bobina fabricada com precisão a partir de cobre sólido usinado e soldado.



## O que é a frequência de funcionamento (ressonante)?

A frequência de funcionamento de um sistema de aquecimento por indução é determinada pela peça de trabalho a ser aquecida e pelo respectivo material. É importante utilizar um sistema de indução que transmita energia em todas as frequências adequadas à aplicação.

Para ajudar a compreender a necessidade de ter várias frequências de funcionamento diferentes, analisemos um fenómeno conhecido por "efeito pelicular". Quando o campo eletromagnético induz uma corrente na peça, a corrente circula, em primeiro lugar, à superfície da peça. Quanto mais elevada for a frequência de funcionamento, menor será a profundidade do efeito pelicular. Quanto mais baixa for a frequência de funcionamento, maior será a profundidade do efeito pelicular e a penetração do aquecimento.

A profundidade do efeito pelicular ou a profundidade de penetração depende da frequência de funcionamento, das propriedades do material e da temperatura da peça. Por exemplo, na tabela seguinte, consegue-se reduzir a tensão mecânica de uma barra de aço de 20 mm, aquecendo-a a 540 °C, utilizando um sistema de indução de 3 kHz. No entanto, será necessário um sistema de 10 kHz para temperar a mesma barra, aquecendo-a a 870 °C.

O aquecimento por indução a alta frequência tem um efeito pelicular pouco profundo, que é mais eficiente em peças pequenas.



O aquecimento por indução a baixa frequência tem um efeito pelicular mais profundo, que é mais eficiente em peças maiores.

		Diâmetro mais pequeno, aproximado, para aquecimento eficiente a diferentes frequências de indução			
Material	Temperatura	1 kHz	3 kHz	10 kHz	30 kHz
Aço abaixo da temp. de Curie	540 °C	8,89 mm	5,08 mm	2,79 mm	1,27 mm
Aço acima da temp. de Curie	870 °C	68,58 mm	38,10 mm	21,59 mm	9,65 mm

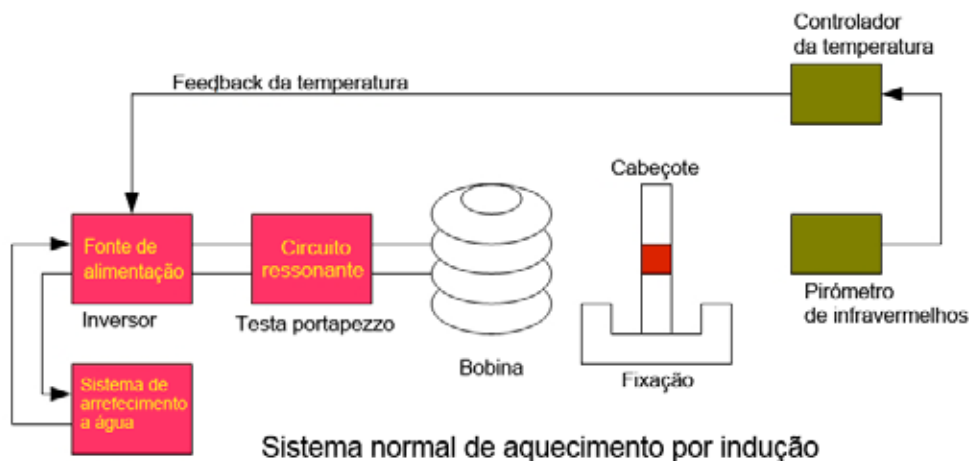
Regra geral, o aquecimento por indução de peças mais pequenas requer frequências de funcionamento mais altas (frequentemente superiores a 50 kHz). As peças maiores são aquecidas de forma mais eficiente com frequências de funcionamento mais baixas.

Com as modernas fontes de alimentação de estado sólido para indução com sistemas de controle por microprocessador embestado, é possível conseguir processos de aquecimento repetitivos e eficientes, desde que exista consistência na localização das peças no interior da bobina.

## O que constitui um sistema de aquecimento por indução?

Um sistema de aquecimento por indução consiste numa fonte de alimentação (ou inversor), num circuito ressonante (ou cabeçote) e numa bobina de indução. Em aplicações industriais, a corrente que circula na bobina é suficientemente alta para necessitar de arrefecimento. Este é conseguido através de um sistema de arrefecimento a água.

A fonte de alimentação converte a corrente alternada de alimentação da rede numa corrente alternada que ressoa com a combinação da capacidade do cabeçote, a indutância da bobina e a resistividade da peça.



## Fatores a considerar

- O material da peça de trabalho determina a taxa de aquecimento e potência necessárias. O aço e o ferro aquecem facilmente, pois têm maior resistividade, enquanto o cobre e o alumínio requerem mais potência para aquecer, devido à sua menor resistividade.
- Alguns aços são magnéticos, o que permite utilizar a resistividade e as propriedades histeréticas no aquecimento por indução. Acima da temperatura de Curie (500 a 600 °C), o aço perde as propriedades magnéticas, mas o aquecimento por corrente turbilhonar fornece o método de aquecimento para temperaturas mais elevadas.
- A potência necessária é determinada por:
  - o Tipo de material
  - o Tamanho da peça de trabalho
  - o Aumento da temperatura necessário
  - o Tempo para atingir a temperatura

A frequência de funcionamento do sistema de aquecimento por indução é um fator a considerar, com base no tamanho da peça de trabalho a ser aquecida. As peças de trabalho menores requerem uma frequência mais elevada (>50 kHz) para um aquecimento eficiente, e as peças de trabalho maiores beneficiam de uma frequência mais baixa (>10 kHz) e maior penetração do calor produzido.

À medida que a temperatura da peça de trabalho aquecida aumenta, também aumentam as perdas de calor da peça de trabalho. As perdas por radiação e convecção da peça de trabalho tornam-se um fator progressivamente mais importante com temperaturas mais elevadas. Normalmente, com temperaturas elevadas utilizam-se técnicas de isolamento térmico para minimizar as perdas de calor e reduzir a energia consumida pelo sistema de indução.

## Família de fontes de alimentação para aquecimento por indução da Ambrell



## Sobre a Ambrell

Pioneira na tecnologia de aquecimento por indução de estado sólido, com mais de 25 anos de inovação, a Ambrell fornece soluções de aquecimento líderes no setor. Temos orgulho em facilitar a implementação de um processo de aquecimento por indução eficiente, seguro e rápido, aplicando o nosso conhecimento da ciência e

arte da indução no desenvolvimento da sua aplicação de aquecimento. A Ambrell tem a sua sede nos Estados Unidos e opera a nível mundial através das filiais Ambrell Ltd., no Reino Unido, Ambrell SARL, em França, e Ambrell B.V., nos Países Baixos.



### Ambrell Corporate

39 Main Street  
Scottsville, NY 14546  
tel.: +1 585 889 9000  
fax: +1 585 889 4030  
sales@ambrell.com

### Ambrell, Ltd.

Phoenix Works, Saxon Way  
Battledown Industrial Estate  
Cheltenham, Gloucestershire  
GL52 6RU  
tel.: +44 (0)1242 514042  
fax: +44 (0)1242 224146  
salesuk@ambrell.com

### Ambrell B. V.

Holtersweg 1  
7556 BS Hengelo  
The Netherlands  
Tel.: +31 (0)880 150 100  
Fax: +31 (0)548 659 010  
saleseu@ambrell.com

### Ambrell Brasil

Tel: +55(19) 3816-1659  
vendas@ambrell.com