



## DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE UM AQUECEDOR INDUTIVO PARA CUTELARIA ARTESANAL

Gustavo Nunes Fortuna<sup>1</sup>

Mateus Milanez<sup>2</sup>

Magali da Rosa<sup>3</sup>

**Resumo:** Este artigo irá abordar o desenvolvimento de um aquecedor indutivo de pequeno porte, direcionado para a área da cutelaria artesanal, especificamente para a fabricação de pequenas facas e canivetes. Esta tecnologia pouco difundida para este tipo de aplicação surge como uma alternativa para substituição no processo de forjamento e conformação do metal, onde os equipamentos utilizados para esta aplicação até o momento possuem demasiado tamanho físico e de difícil mobilidade. O projeto contempla o uso de componentes eletrônicos e alguns periféricos em sua fabricação. Para a elaboração deste, foram necessários fundamentos de cutelaria artesanal, tecnologia de conformação do metal e eletromagnetismo, assuntos esses essenciais no desenvolvimento deste projeto. No decorrer deste artigo será apresentado o projeto inicial, os métodos utilizados para a montagem do equipamento e por fim as análises e resultados dos testes de funcionamento.

**Palavras-chave:** Forja. Cutelaria. Eletromagnetismo. Aquecimento por indução.

### 1 INTRODUÇÃO

“A confecção de instrumentos cortantes é uma das técnicas mais antigas da humanidade” [1]. “Ao se afastar da idade da pedra e iniciar o período de dominação do fogo, a humanidade aprendeu a manipular os metais. A evolução dessa arte para a construção de utensílios, ferramentas e armas foi definitiva para a sobrevivência e a evolução da espécie humana” [2].

Com o passar do tempo, ganhou status de arte: a cutelaria. Atualmente, no Brasil, a prática se organiza de forma profissional. Sandro Boeck, produtor artesanal de facas, afirma que nos últimos 10 anos a cutelaria evoluiu e se modernizou. “O que era coisa simples, artesanal, de fundo de quintal, hoje é muito. Temos cada vez mais colecionadores e cuteleiros com excelência” [1].

---

<sup>1</sup> Graduado em Tecnologia em Manutenção Industrial Faculdade Satc. E-mail: fortuna.gustavo@gmail.com

<sup>2</sup> Prof. Faculdade SATC. E-mail: mateus.milanez@satc.edu.br

<sup>3</sup> Prof. Faculdade SATC. E-mail: magali.rosa@satc.edu.br



“Em todos os países do mundo, atualmente, realizam-se periodicamente encontros em que mestres cuteleiros apresentam suas principais peças. No Brasil, o mais importante é a Mostra Internacional de Cutelaria, promovida atualmente em São Paulo [...]” [2].

Apesar do grande avanço da cutelaria, seus processos e equipamentos continuaram os mesmos, um deles é a forja, que ainda continua sendo de carvão ou gás de cozinha. As forjas a carvão, apesar de mais tradicionais, estão em desuso uma vez que não se encontra mais carvão de qualidade, com bom poder calorífico, e pela sujeira que provocam. Mesmo com o preço alto do gás de cozinha, esse tipo de forja tem sido preferido pela maioria dos cuteleiros.

“O forjamento de um metal consiste em deformá-lo por martelamento ou prensagem. É, possivelmente, a mais antiga operação de conformação mecânica, praticada pelos ferreiros com martelos e bigornas” [3].

O trabalho a quente caracteriza-se pela maior facilidade que o material tem em deformar plasticamente em resultado da diminuição da tensão limite de elasticidade e do aumento da ductilidade com a temperatura. Consequentemente, a força e a potência exigidas às máquinas ferramenta são significativamente inferiores aquelas que seriam necessárias caso o processo se realizasse a frio [4].

O presente artigo tem como objetivo desenvolver um aquecedor indutivo, com capacidade para aquecer pequenos metais ferrosos, a fim de substituir as forjas de carvão ou a gás de cozinha no processo de fabricação de facas e canivetes, utilizando-se apenas de energia elétrica e também reduzir seu tamanho físico, possibilitando a mobilidade do mesmo sem demasiado esforço físico.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

O estudo e desenvolvimento deste artigo demandou a necessidade de adquirir conhecimentos básicos e informações sobre cutelaria, forjamento e eletromagnetismo. Desta forma, foi possível obter melhor desenvoltura no desenvolvimento do projeto a fim de que o equipamento suprisse a necessidade solicitada pelo mercado.

## 2.1 A CUTELARIA

A cutelaria, é a produção de materiais de corte feitos por método artesanal ou industrial, são instrumentos e ferramentas simples, porém, com grande utilidade no cotidiano. “[...] A palavra cutelo significa instrumento cortante de ferro que vem do latim *cultellu* (“pequena faca”), de onde provém também a palavra *cutela*, faca larga para cortar carne” [5].

Desde muitos anos as facas já fazem parte da história da humanidade, no princípio as mesmas eram feitas com lascas de pedras ou conchas. Com essa invenção começaram então a desenvolver mais instrumentos para uso, como lanças de madeiras, utensílios para defesa e também utensílios para cortar couro e fazer roupas. A grande evolução veio com a descoberta e manuseamento dos metais no sudoeste asiático. Inicialmente as ferramentas eram feitas de cobre e posteriormente eram fabricadas em bronze. E mais tarde, na idade do ferro, que exibindo melhores propriedades de dureza e resistência mecânica, as ligas de cobre deixaram de ser utilizadas para esta aplicação [6].

Uma faca não basta apenas ser bonita e confortável. Também deve ser forte o suficiente, mas sem peso excessivo. O excesso de peso é uma das falhas mais notórias em muitas facas, especialmente aquelas que são projetadas para ser transportadas no bolso ou em uma bainha. O design da faca deve ser tal que o movimento, peso, força física do material e a agudeza da borda devem trabalhar juntos como um transmissor de energia, da mão do usuário para a ponta da faca [7].

Todas as facas, indiferente da sua aplicação ou fabricação possuem por padrão alguns itens básicos necessários em sua anatomia, listados conforme Fig.1.

Figura 1: Anatomia de uma faca [8].



Fonte: [8].



## 2.2 O FORJAMENTO

O termo forjamento utiliza-se para designar o processo de deformação plástica na massa, para os quais a alteração de formato é realizada através de forças de compressão exercidas por ferramentas como martelos de queda, marretas e prensas [9].

No final da Idade da pedra, no Oriente médio, foram descobertas as primeiras amostras da tecnologia da deformação plástica. Esses objetos eram fabricados pelo processo de martelagem. Eram produzidos por meio de peças forjadas em ouro, prata, cobre e que tinham finalidade artística, religiosa e a fabricação de instrumentos mais resistentes em comparação aqueles de pedra. Os materiais eram recolhidos da natureza e passavam pela transformação por meio de golpes aplicados sobre eles, sendo que as técnicas de transformação e processamentos dos minérios ainda eram desconhecidas neste período [4].

Nos anos de 5000 a.C. notou-se que aquecendo o cobre ao ponto de ter uma coloração avermelhada e deixando-o descansar de forma lenta conseguia-se forjá-lo mais fácil e com possibilidades menores de apresentarem fissuras no metal. Notou-se ainda que por intermédio da martelagem a resistência mecânica do metal podia ser aumentada de uma forma significativa, iniciando-se assim os primeiros processos de tratamento térmico e mecânico [4].

“É igualmente durante a Idade do Cobre que se aperfeiçoam as técnicas de forjamento a frio e a quente, utilizando-se martelos de hematite. Estes martelos eram erguidos manualmente e deixados cair por gravidade sobre as peças” [4]. A temperatura de forjamento atua diretamente na moldabilidade dos materiais metálicos.

### 2.2.1 Forjamento a frio

A deformação plástica a frio é um processo que pode ser vantajoso ou não em comparação a outras formas de trabalho.

De entre as principais vantagens destaca-se a capacidade de produzir peças com elevada resistência mecânica, com tolerâncias de fabrico apertadas e com excelente acabamento superficial. As desvantagens do trabalho a frio estão sobretudo relacionadas com o encruamento e com a redução de ductilidade que lhe está associada [4].

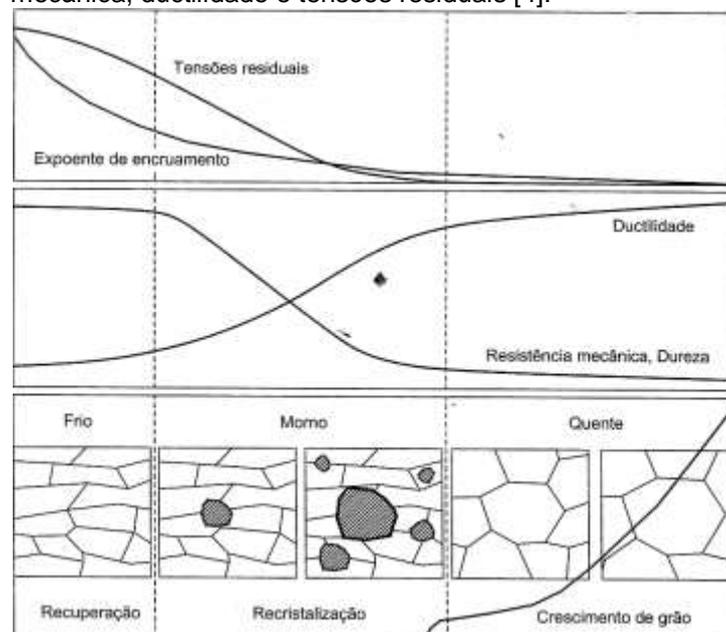
### 2.2.2 Forjamento a morno

O forjamento a morno é um processo que combina os métodos de forjamento a frio e a quente, utilizando as vantagens dos métodos e a combinação das temperaturas. “No caso do forjamento a morno dos aços, as temperaturas recomendadas variam entre os 450-850°C” [...] [9].

### 2.2.3 Forjamento a quente

No processo de forjamento a quente o material possui mais facilidade de deformar-se plasticamente em consequência da diminuição da tensão limite de elasticidade e a elevação da flexibilidade com a temperatura. “Consequentemente, a força e a potência exigida às máquinas ferramenta são significativamente inferiores àquelas que seriam necessárias no caso o processo se realizasse a frio.” [9]

Figura 2: Influência da temperatura no tamanho de grão, resistência mecânica, ductilidade e tensões residuais [4].



Fonte: [4].

### 2.2.4 Equipamentos utilizados no aquecimento

No aquecimento da matéria prima para o forjamento utiliza-se de diversos tipos de equipamentos. Os fornos a gás, carvão ou a energia elétrica por resistência são os mais comuns encontrados nas empresas de forjamento. Porém, os tempos de

aquecimento da matéria prima utilizando-se destes fornos são geralmente muito lentos, não conseguindo evitar-se a formação de óxidos na matéria prima [9].

Outro fator negativo em relação a estes fornos tem a ver com os baixos índices de produtividade, podendo causar até 30% na perda de produtividade. Nas questões energéticas e ambientais estes fornos também apresentam ineficiências, consumindo elevadas quantidades de energia de uma forma pouco eficiente considerando-se seu funcionamento ininterrupto durante o dia de trabalho devido ao longo tempo nas rampas de aquecimento e estabilização da temperatura [9].

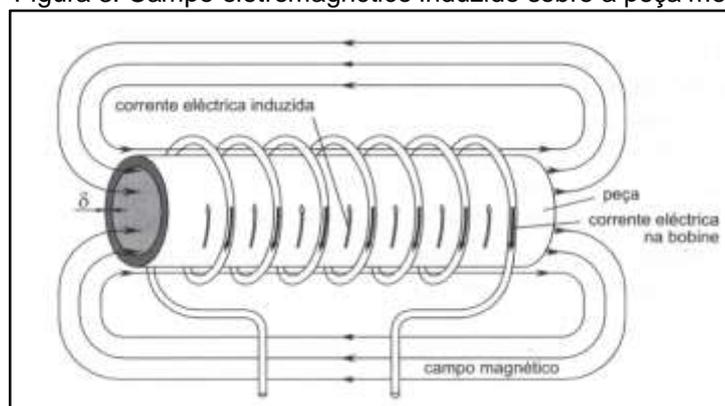
Uma forma mais eficiente de aquecer o metal, e que solucionaria muitos dos problemas ocasionados pelos fornos convencionais, seria a utilização de um aquecedor por indução eletromagnética, já existente no mercado, porém com demasiado tamanho físico e alta potência.

### 2.3 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Seu funcionamento se faz através de uma bobina, onde é gerado um campo eletromagnético e a matéria prima é inserida no interior desta bobina, sem que haja qualquer tipo de contato entre ambos. “O calor é gerado na peça através do efeito Joule, sendo resultado de uma corrente elétrica induzida pelo campo eletromagnético gerado pela bobina” [9].

Neste processo a formação de óxidos é basicamente inexistente, devido a alta taxa de aquecimento, proporcionando o aquecimento da matéria prima quase que imediato, aumentando consideravelmente as taxas de produção, consequentemente tendo um melhor aproveitamento da energia utilizada no processo [9].

Figura 3: Campo eletromagnético induzido sobre a peça metálica



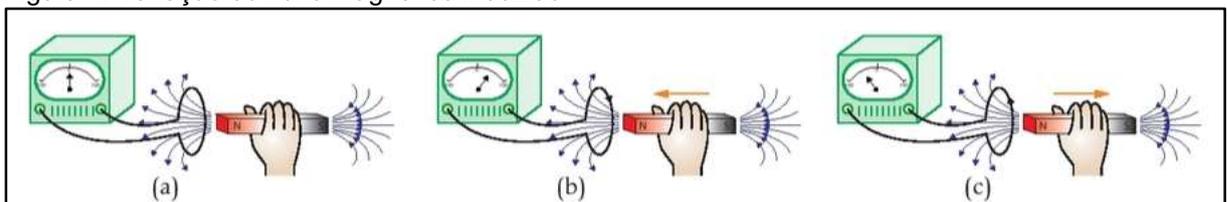
Fonte: [9].

A grande revolução nos estudos do magnetismo aconteceu em 1820, quando Hans Christian Oersted, físico e químico dinamarquês, descobriu que os fenômenos elétricos e magnéticos estavam interligados. Oersted aproximou uma bússola a um condutor elétrico e percebeu que a agulha imantada da bússola sofria movimentações quando existia corrente elétrica no condutor. Porém, quando não havia corrente elétrica no condutor, a agulha voltava à sua posição normal, orientando-se pelo magnetismo geográfico. A explicação para a movimentação sofrida pela agulha imantada era a presença de um campo magnético quando havia corrente elétrica. Então de acordo com suas observações Oersted concluiu que cargas elétricas em movimento criavam campo magnético [10].

### 2.3.1 Lei de Faraday

Após Hans Oersted, Michael Faraday executando na prática os estudos que haviam sido publicados sobre magnetismo o levou ao entendimento do fenômeno relatado por Oersted, embora houvesse pouca informação sobre o conceito de campo magnético gerado pela corrente elétrica. Faraday levantou a hipótese de que se uma corrente elétrica é capaz de gerar um campo magnético, um campo magnético será capaz de produzir uma corrente. Somente em 1831 Faraday conseguiu realizar seu experimento mais importante para a história da física, conseguindo induzir corrente elétrica em uma bobina variando o campo magnético. Criou-se ali o primeiro gerador, conhecido como dínamo, transformando a energia mecânica em energia elétrica [11][12].

Figura 4: Variação do fluxo magnético induzido



Fonte: [11].

Faraday demonstrou que não há corrente quando o ímã está em repouso em relação à espira, conforme indica o ponteiro do galvanômetro na Fig.4 (a). Fazendo o ímã movimentar-se na direção da espira, cruzando sua seção transversal, o



galvanômetro demonstrará uma corrente elétrica percorrendo a espira em um sentido Fig.4 (b). Já fazendo o ímã movimentar-se no sentido oposto à espira, o ponteiro do galvanômetro também inverterá o sentido de movimento Fig.4 (c), indicando que a corrente na espira foi também invertida [11].

### 2.3.2 Lei de Lenz

Segundo o físico russo Heinrich Lenz, através de estudos experimentais, a corrente induzida tem sentido oposto ao sentido da variação do campo magnético que a gera. Ou seja, se houver diminuição do fluxo magnético, a corrente induzida irá criar um campo magnético com o mesmo sentido do fluxo e se houver aumento do fluxo magnético, a corrente induzida irá criar um campo magnético com sentido oposto ao sentido do fluxo [13].

### 2.3.3 Corrente de Foucault

A partir das descobertas de Oersted, Faraday e Lenz, o físico francês Jean Bernard León Foucault percebeu que ao ser colocado um disco de cobre entre os polos de um ímã, precisava de mais força para rotacioná-lo do que quando não havia o ímã. Isto ocorria devido à origem de correntes parasitas no interior do metal a qual era feito o disco, e que eram produzidas pela variação do fluxo. Com esta descoberta, estas correntes foram nomeadas de correntes de Foucault [14].

As correntes de Foucault são correntes induzidas no corpo de um metal através de um campo magnético. Quando o metal entra em um campo magnético, há uma variação de fluxo capaz de gerar uma força eletromotriz. Esta força eletromotriz, por sua vez, permite o movimento dos elétrons livres no metal em circuitos fechados de correntes, onde a resistência do metal se opondo a esta corrente produz por efeito Joule um grande aumento de temperatura. O aumento desta temperatura permite, que estas correntes sejam utilizadas como aquecedores em um forno de indução [14].

O sistema de aquecimento por indução consiste em uma fonte de alimentação que converte a frequência de entrada da linha (50 ou 60 Hz) para um sinal de alta frequência, normalmente operando entre 10 e 400 kHz. Esse sinal de alta oscilação é então interligado a uma bobina de aquecimento por indução. O sinal de alta frequência gera um campo magnético dentro da bobina. O metal é colocado dentro desta bobina



de aquecimento por indução onde interage com o campo magnético de alta frequência e produz calor. As bobinas de aquecimento são feitas de tubo de cobre oco por onde a água flui como meio de refrigeração da mesma [15].

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Analisando as máquinas de aquecimento por indução existentes no mercado, identificou-se que o seu tamanho demasiado é devido a necessidade de utilização de transformadores, pois seu fluxo magnético é gerado diretamente pela corrente alternada da rede. Com base nesse cenário a opção foi por trabalhar com eletrônica de potência, a fim de reduzir consideravelmente seu tamanho físico, mas com potência suficiente para o aquecimento do metal com diâmetro de até 40mm.

#### **3.1 PROJETO ELETRÔNICO**

Utilizando o software Proteus Design Suite, foi projetado, simulado e desenvolvido as camadas da placa de circuito impresso, nas quais serão utilizadas na confecção da placa eletrônica responsável por transformar a corrente contínua de entrada em uma corrente alternada de alta frequência a qual é interligada a bobina.

#### **3.2 EXECUÇÃO DO PROJETO**

Neste momento do projeto foi elaborado todo o estudo, a fim de garantir o sucesso na montagem do equipamento.

##### **3.2.1 Placa Eletrônica**

Através do projeto e simulação foi identificado os componentes e ferramentas necessárias para o desenvolvimento da placa eletrônica, responsável pelo chaveamento na bobina.

Com base no levantamento dos componentes, foi realizada uma pesquisa orçamentaria no mercado, onde foi analisada a opção de fabricação da placa ou a aquisição da mesma totalmente pronta.



### **3.2.2 Bobina de cobre**

Para este projeto, foram produzidas duas bobinas de cobre responsáveis por transmitir a frequência de ressonância ao metal a ser aquecido, foram fabricadas utilizando-se de um tubo de cobre com secção de 1/4", onde uma delas foi envolta à um tubo de PVC com 40mm de diâmetro e a outra em tubo de 32mm de diâmetro, com o objetivo de criar cinco espiras em cada bobina e posteriormente foram envernizada para evitar fugas de corrente e futuras oxidações do cobre.

### **3.2.3 Refrigeração**

Para refrigerar a bobina de cobre quando em operação, foi instalada uma mini motobomba de 12VDC e um reservatório de 1L, onde interligados com a bobina tinham a função de circular a água por dentro do tubo de cobre, dissipando o calor gerado pelo aquecimento.

### **3.2.4 Fonte de alimentação**

Para o dimensionamento da fonte de alimentação levou-se em consideração os componentes inclusos no projeto eletrônico. A fonte deve ser capaz de suportar a potência dissipada pelo circuito eletrônico e seus periféricos.

## **3.3 DESENVOLVIMENTO DO DIAGRAMA ELÉTRICO**

Nesta etapa foi elaborado o diagrama de ligação do circuito elétrico entre os componentes e periféricos do projeto, além de dimensionado o dispositivo de manobra e proteção do equipamento, contra curto circuito.

## **3.4 MONTAGEM**

A montagem do equipamento foi executada com os itens listados na execução do projeto e através do diagrama elétrico elaborado, onde as placas e seus periféricos foram interligados eletricamente.



### 3.5 TESTE DE FUNCIONAMENTO

Para comprovar o funcionamento do equipamento foram instaladas duas bobinas. Inicialmente os testes foram realizados com a bobina de 40mm e posteriormente com a de 32mm, onde foram inseridos três tarugos de aço com diâmetros de 8,4mm, 15mm e 25mm. Com o auxílio de uma câmera termográfica FLIR, modelo: T62101 foi possível ler as temperaturas nos tarugos de aço e do equipamento num todo.

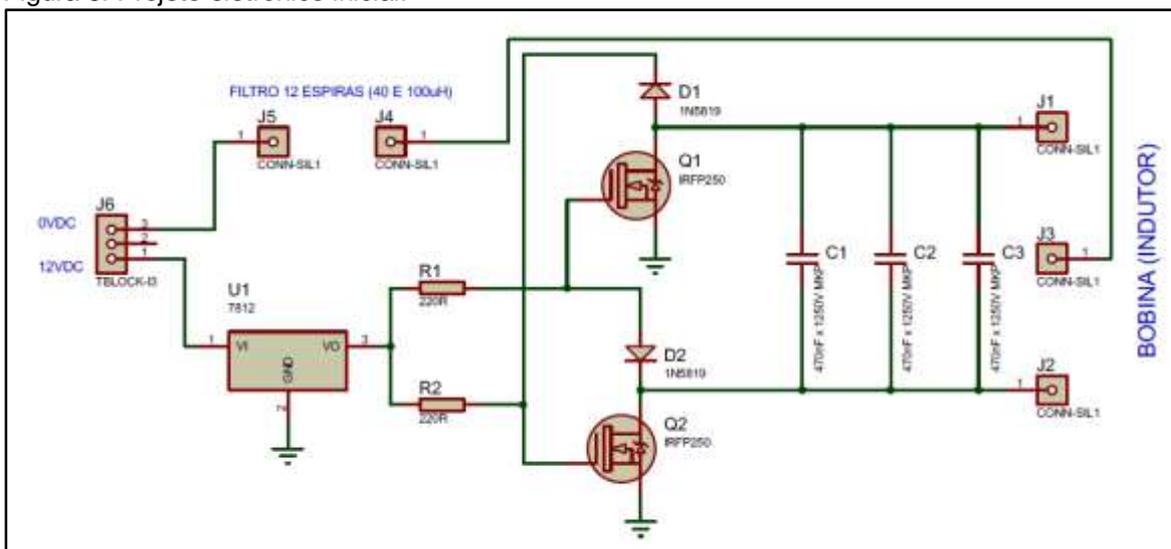
## 4 RESULTADOS

Com a intenção de utilizar-se da eletrônica para garantir a redução do tamanho físico do equipamento, iniciou-se o estudo com o projeto eletrônico do equipamento, que serviria como parâmetro para mensurar os próximos componentes e periféricos do projeto.

### 4.1 PROJETO ELETRÔNICO

Conforme o apresentado na Fig. 5, o projeto inicial partiu da utilização de dois transistores MOSFETS, onde cada transistor produzisse um semi ciclo da corrente alternada a qual estava proposto produzir, a fim de gerar o fluxo magnético na bobina. Este projeto foi criado com base em circuitos ressonadores LC, ao qual utiliza-se capacitores e indutores para gerar uma frequência desejada. Para evitar que a frequência gerada pelo circuito ressonador produzisse ruídos no restante da rede elétrica ou circuito eletrônico, foi utilizado um filtro toroidal com núcleo de ferrite invólucro com fio esmaltado de cobre.

Figura 5: Projeto eletrônico inicial.



Fonte: Do autor (2018)

## 4.2 EXECUÇÃO DO PROJETO

Nesta etapa já com o esboço do projeto eletrônico elaborado, foi possível buscar os componentes e periféricos para iniciar a execução do mesmo.

### 4.2.1 Placa Eletrônica

Após todo o projeto eletrônico ser elaborado, iniciou-se o processo de levantamento de materiais e ferramentas para a produção da placa eletrônica. Porém, neste ponto do projeto foi analisado a possibilidade de importação da placa totalmente pronta, conforme Fig. 6, e com potência superior ao que havia sido projetado inicialmente.

Os capacitores a serem utilizados no projeto deveriam ser MKP (Capacitor de Filme de Polipropileno Metalizado) devido à alta frequência de chaveamento do circuito, e este tipo de capacitor normalmente não são encontrados no mercado nacional, sendo necessária à sua importação, neste caso a placa adquirida já veio com os capacitores MKP.

Optou-se então pela importação da placa eletrônica pronta em função da viabilidade financeira e agilidade na execução do projeto, que ao chegar foi iniciado o processo de montagem da mesma.

Figura 6: Placa eletrônica adquirida pronta.



Fonte: Do autor (2018)

#### 4.2.2 Bobina de cobre

Outra necessidade identificada foi a de utilizar tubos de cobre para a fabricação da bobina conforme a Fig. 7, pois quando a mesma está em processo de aquecimento do metal o calor produzido é muito intenso devido as correntes parasitas, podendo danificar partes do circuito eletrônico. Com isto, utilizando tubos de cobre poderia circular água ou até um fluido refrigerante por dentro das espiras, sem que este tivesse contato com o metal a ser aquecido.

Figura 7: Placa eletrônica com a bobina produzida em tubo de cobre.



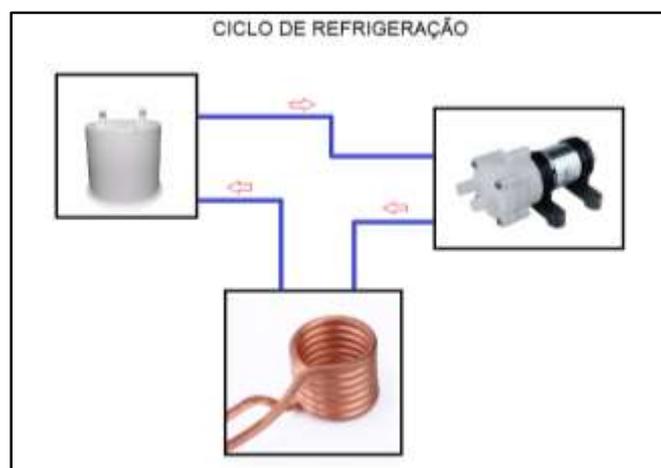
Fonte: Do autor (2018)

### 4.2.3 Refrigeração

Após a fabricação da bobina com tubos de cobre conforme Fig. 7, foi desenvolvido um circuito de refrigeração utilizando-se de uma mini motobomba de 12V com vazão de 2 l/min, para fazer o processo de circulação do fluido entre a bobina e um reservatório de 1L, que além de armazenar o fluido, tem a função de dissipar o calor absorvido pela água ao transitar por entre as espiras da bobina, conforme Fig. 8.

Na conexão das mangueiras do reservatório a mangueira que retorna ao reservatório já aquecida foi instalada na parte superior do reservatório e o reservatório abastecido apenas pela metade, deste modo a água teve uma performance melhor no resfriamento, pois com a queda da água em contato com a atmosfera sofreu o mesmo princípio de uma torre de resfriamento só que em uma escala muito menor. Outro fator contribuinte para isto foi a instalação da admissão da mini motobomba na parte inferior do reservatório, onde a água já estava mais fria, e também evita a entrada de ar na tubulação de sucção.

Figura 8: Ciclo do sistema de refrigeração da bobina.



Fonte: Do autor (2018)

### 4.2.4 Fonte de alimentação

Ao dimensionar a fonte eletrônica de alimentação do circuito identificou-se que esta deveria ser uma fonte eletrônica chaveada de 48VDC que suportasse uma corrente igual 50A devido à alta potência consumida pela placa eletrônica principal adquirida. Porém, ao analisar o mercado com estas especificações, não foram



encontrados recursos financeiros para atender esta necessidade, então a opção foi trabalhar com uma fonte de 24VDC de 30A que foi adquirida sem custo pois estava guardada de projetos anteriores. Esta necessidade comprometeu um demasiado espaço físico para o projeto, ocupando 40% do tamanho físico de todo o equipamento.

Na montagem inicial do projeto ao alimentar a fonte de potência, automaticamente a placa eletrônica de chaveamento também era alimentada instantaneamente, este processo fazia com que a corrente de pico inicial fosse muito alta a fim de acionar o sistema de proteção da fonte. Utilizando-se então de um interruptor por pedal e de um relé robusto que suportasse a corrente de 30A, foi desenvolvido um circuito de acionamento da placa principal, onde a placa só é energizada a partir do momento que o operador pressiona o pedal de acionamento. Com esta alteração foi solucionado as altas correntes de pico geradas ao ligar todo o equipamento instantaneamente, e também otimizado o sistema de refrigeração já que a mini motobomba se mantém acionada independente se o pedal de acionamento estivesse pressionado ou não.

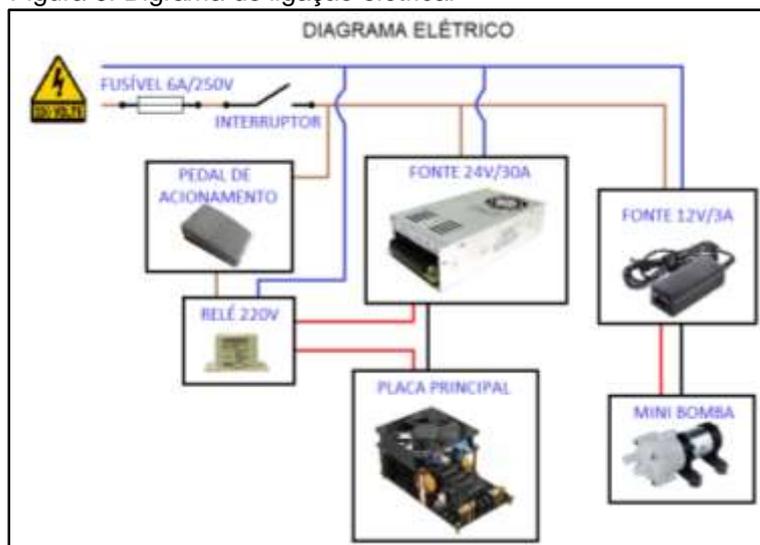
#### 4.3 DIAGRAMA DE LIGAÇÃO ELÉTRICA

Após a montagem de todo o equipamento, foi elaborado um diagrama elétrico conforme a Fig. 9, onde as linhas marrons e azuis indicam a tensão de 220VAC, marrom sendo o condutor fase e azul neutro e as linhas vermelhas e pretas que indicam a tensão de 12VDC e 24VDC, sendo vermelho o condutor positivo e preto o condutor negativo.

No projeto foram utilizadas duas tensões contínuas devido a potência real consumida pela placa principal e pelo fato de não encontrar a mini motobomba para o ciclo de refrigeração que operasse em 24VDC. Desta forma a mini motobomba foi alimentada com uma tensão de 12VDC, e a placa principal por uma fonte com tensão de 24VDC.

Como item de segurança tanto para o operador quanto para os componentes do equipamento foi inserido um fusível na alimentação do equipamento, no qual foi dimensionado de acordo com a corrente mensurada através de um alicate amperímetro no instante de total operação do equipamento.

Figura 9: Diagrama de ligação elétrica.

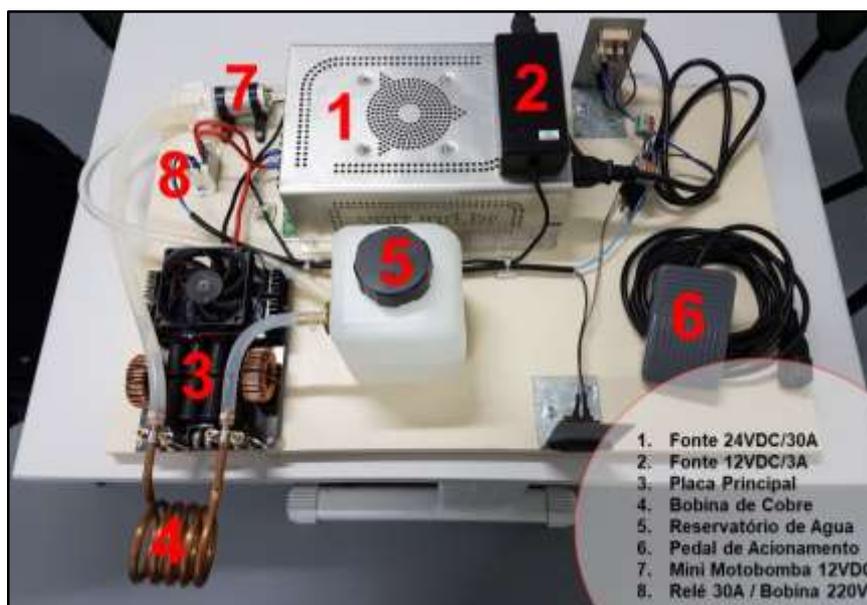


Fonte: Do autor (2018)

#### 4.4 MONTAGEM

Utilizando-se de uma base de madeira, foi montado sobre esta todos os componentes objetivando a redução de espaço físico, onde ocupou-se uma área de 0,3m<sup>2</sup> (50x60cm), em seguida foi utilizado do diagrama elétrico conforme Fig. 9, todos os componentes foram interligados por fios de cobre em seus respectivos bornes de ligação e ao final foram utilizadas mangueiras para instalar o sistema de refrigeração entre a bobina, a mini motobomba e o reservatório de água, conforme Fig. 10.

Figura 10: Projeto montado.

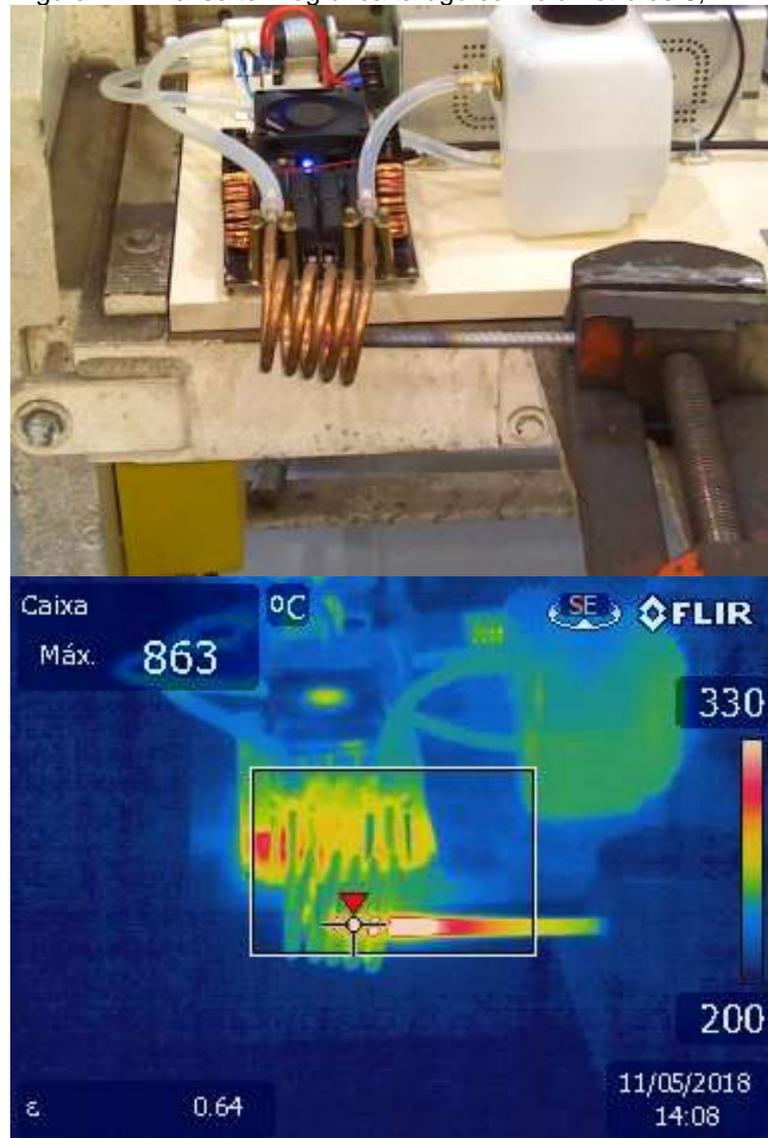


Fonte: Do autor (2018)

#### 4.5 TESTE DE FUNCIONAMENTO

Ao término da montagem do projeto e a fim de comprovar a eficácia do sistema no processo de aquecimento do metal, efetuou-se a análise termográfica através de uma câmera termográfica, aquecendo três tarugos de aço com diâmetros de 8,4mm, 15mm e 25mm, onde os resultados foram satisfatórios apenas no aço com diâmetro de 8,4mm apresentando a temperatura de 863°C, utilizando-se da bobina de 40mm de diâmetro sobre o metal a ser aquecido, conforme Fig. 11 na qual atingiu em 150s de exposição entre as espiras.

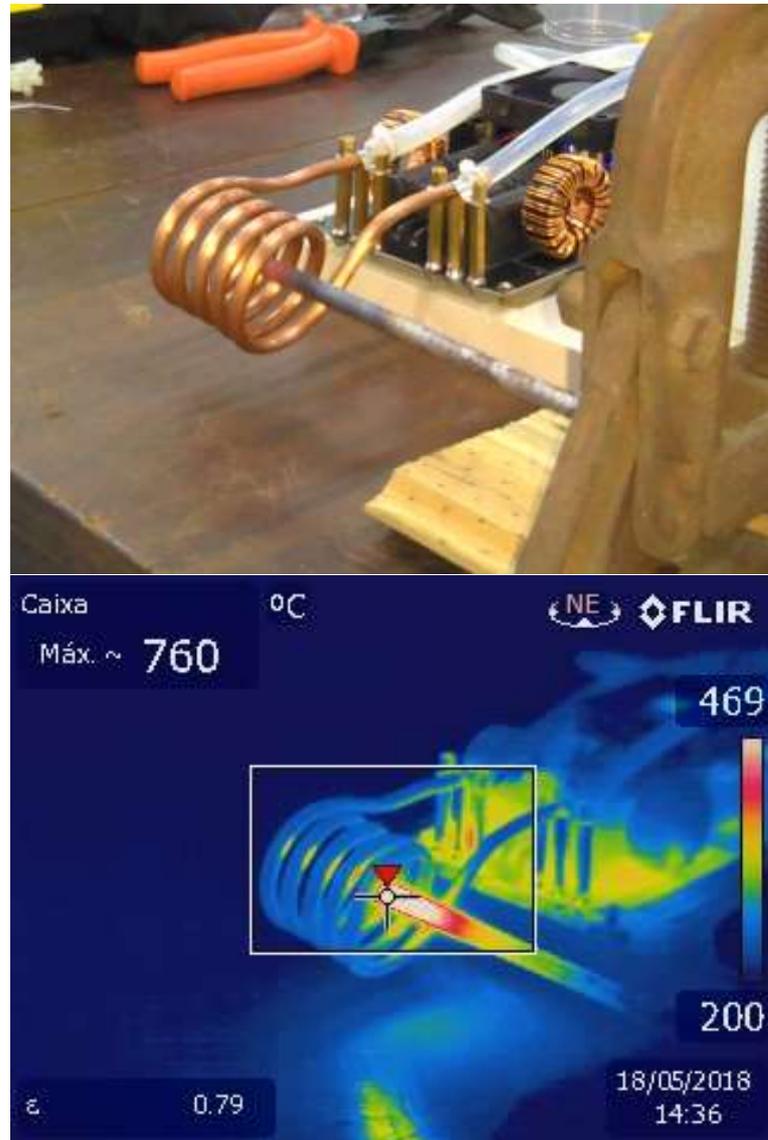
Figura 11: Análise termográfica tarugo com diâmetro de 8,4mm e espira de 40mm.



Fonte: Do autor (2018)

Sequencialmente foram efetuados os testes utilizando a bobina de 32mm de diâmetro, mantendo o tarugo de 8,4mm de diâmetro, onde foi possível atingir a temperatura de 760°C conforme Fig. 12.

Figura 12: Análise termográfica tarugo com diâmetro de 8,4mm e espira de 32mm.

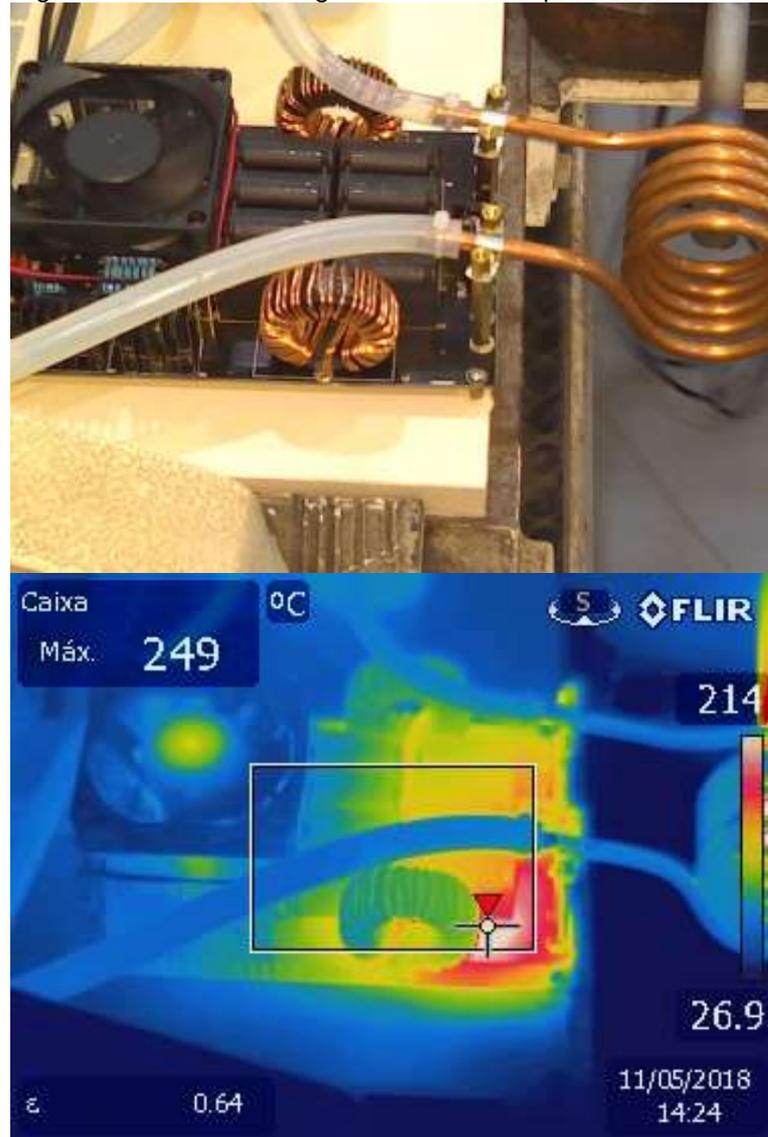


Fonte: Do autor (2018)

Nos testes com os diâmetros de 15mm e 25mm foi identificado um sobre aquecimento sobre a superfície da placa principal, atingindo 249°C conforme Fig. 13, seguido do desarme da fonte principal, através do sistema de proteção interno. Este fato se deu devido a fonte utilizada no projeto, não estar de acordo com as especificações levantadas no dimensionamento do projeto, conforme descrito no item 4.2.4.

Com a limitação de potência da fonte que utilizada para a execução do projeto não foi possível efetuar testes concretos com os tarugos de aço com diâmetros de 15mm e 25mm. E conseqüentemente não foi realizado os testes de conformação do metal e comparar a sua maleabilidade quando aquecido em relação ao metal a temperatura ambiente.

Figura 13: Análise Termográfica Placa Principal.



Fonte: Do autor (2018)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a conclusão na execução do projeto foi identificado que o fator limitante para o sucesso deste, foi a alta potência demandada da fonte de alimentação, que conseqüentemente resulta em um custo elevado em sua aquisição. Para a solução deste fator surgiram ideias para a utilização de uma máquina inversora de



solda, onde esta transmite uma alta potência em seus terminais, podendo assim o consumidor final que já tiver uma máquina inversora de solda apenas ligar o aquecedor indutivo à máquina. Porém, devido a limitação de tempo não foi possível contemplar estudos e testes a fim de comprovar esta possibilidade.

Quanto aos outros componentes utilizados para a execução do projeto demonstraram-se aptos para a aplicação e com baixo custo de aquisição. Limitando-se apenas a importação da placa principal.

Tratando-se do principal objetivo deste projeto, que seria a redução do tamanho físico e mobilidade para utilização em diversos ambientes, o mesmo se apresentou satisfatório podendo ainda ser otimizado caso ocorra a aplicação da máquina inversora de solda como fonte de alimentação, reduzindo assim grande volume em seu tamanho físico.

Com a continuação deste projeto, aplicando melhorias nas quais foram limitantes na obtenção dos resultados, é possível a aplicação deste equipamento para o setor de cutelaria artesanal, otimizando assim os processos de fabricação. Setor este que apresenta grande expansão com o auxílio da mídia televisiva apresentando programas de competição entre cuteleiros para a fabricação da melhor faca, onde muitas vezes a principal adversidade entre os competidores é o tempo.

## REFERÊNCIAS

[1] ARRUDA, Vinicius Galera de; BERBERT, Susana; JULIO, Rennan A. **Vida de cuteleiro**. 2015. Elaborada por Globo Rural. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Cultura/noticia/2015/04/vida-de-cuteleiro3.html>>. Acesso em: 11 set. 2017.

[2] NOGUEIRA NETO, Domingos de Souza. **A nobre arte da Cutelaria**. 2014. Disponível em: <<http://www.revistamais.com/materias/a-nobre-arte-da-cutelaria>>. Acesso em: 14 set. 2017.

[3] HELMAN, Horacio; CETLIN, Paulo Roberto. **Fundamentos da conformação: mecânica dos metais**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013 260 p. ISBN 8588098288

[4] RODRIGUES, Jorge; MARTINS, Paulo. **Tecnologia mecânica: tecnologia da deformação plástica: fundamentos teóricos**. 2. ed. Lisboa: Escolar editora, 2010. v. 1.



[5] HOFFMANN, Milton. **Curso de Introdução à Cutelaria**. Brasília: Sociedade Brasileira dos Cutedeiros, 2003. P&B.

[6] RIBEIRO, Fernando. **Estudo e desenvolvimento de um conjunto de facas direcionado para cozinha de autor**. 2013. 12 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013. Disponível em: <<https://web.fe.up.pt/~falves/A193555.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

[7] BOYE, David. **Step-by-Step Knifemaking: You Can Do It!** Arizona: Boye Knives Press, 1997

[8] RIGON, Alexandre Paredes. **Facas Para Cozinha**. Brasília: 2017.

[9] RODRIGUES, Jorge; MARTINS, Paulo. **Tecnologia mecânica: tecnologia da deformação plástica: aplicações industriais**. 2. ed. Lisboa: Escolar editora, 2010. v. 2.

[10] FERREIRA, Fabiana da Gama. **Princípios Básicos de Eletromagnetismo e Termodinâmica**. Curitiba: InterSaberes, 2017

[11] DA SILVA, Claudio Elias [et al.]. **Eletromagnetismo: Fundamentos e Simulações**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014

[12] BARROS, Vicente Pereira de. **Física geral: eletricidade – para além do dia a dia**. Curitiba: Intersaberes, 2017

[13] NOTAROS, Branislav M. **Eletromagnetismo**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012

[14] YOUNG, Hugh D; FREEDMAN, Roger A. **Física III: Eletromagnetismo**. São Paulo: Addison Wesley, 2004

[15] DAHAKE, Girish. **Nanoparticle Heating Using Induction in Hyperthermia**. 2014. Disponível em: <[https://cdn2.hubspot.net/hubfs/508263/Ambrell\\_PDFs/Nanoparticle\\_Heating.pdf?t=1507217927765&utm\\_campaign=BrochureRequest&utm\\_source=hs\\_automation&utm\\_medium=email&utm\\_content=27152517&\\_hsenc=p2ANqtz-9kM9FpiJ0vlq1OnP87nztnYHgfEc2tDRN0FuNqp2VkPiDz9jDS0WbmEXRMIeNi8VDuOsNSx0gxkQWMI8JRi\\_8OsU0Q&\\_hsmi=27152517](https://cdn2.hubspot.net/hubfs/508263/Ambrell_PDFs/Nanoparticle_Heating.pdf?t=1507217927765&utm_campaign=BrochureRequest&utm_source=hs_automation&utm_medium=email&utm_content=27152517&_hsenc=p2ANqtz-9kM9FpiJ0vlq1OnP87nztnYHgfEc2tDRN0FuNqp2VkPiDz9jDS0WbmEXRMIeNi8VDuOsNSx0gxkQWMI8JRi_8OsU0Q&_hsmi=27152517)>. Acesso em: 07 out. 2017.



## ABSTRACT

This article will address the development of a small inductive heater, directed to the area of handcrafted cutlery, specifically for the manufacture of small knives and pocket knives. This technology diffused little for this type of application appears as an alternative for substitution in the process of forging and conformation of the metal, where the equipment used for this application until the moment have over physical size and difficult mobility. The project contemplates the use of electronic components and some peripherals in its manufacture. For the elaboration of this, it was necessary fundamentals of handcrafted cutlery, metal conformation technology and electromagnetism, subjects that are essential in the development of this project. In the course of this article, the initial design, the methods used to assemble the equipment, and finally the analyzes and results of the functional tests will be presented.

**Key-words:** Forge. Cutlery. Electromagnetism. Induction Heating.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FACULDADE SATC, através do curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, por disponibilizar toda sua infraestrutura para o desenvolvimento do projeto e pesquisas relacionadas ao estudo. E as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste projeto.