

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

KARIN CRISTINE GRANDE

ANÁLISE DA ENERGIA UTILIZADA POR BISTURI ELÉTRICO NA
ABLAÇÃO DE TECIDO ORGÂNICO

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2014

KARIN CRISTINE GRANDE

**ANÁLISE DA ENERGIA UTILIZADA POR BISTURI ELÉTRICO NA
ABLAÇÃO DE TECIDO ORGÂNICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Biomédica, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: Engenharia Biomédica, Linha de Pesquisa: Instrumentação Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Rubens Alexandre de Faria

Co-orientador: Prof. Dr. Bertoldo Schneider Jr.

Banca examinadora: Prof. Dr. Dalton Tadeu Reynaud dos Santos, Centro Universitário Campos de Andrade, e Prof. Dr. Gustavo Theodoro Laskoski, Instituto Federal do Paraná.

CURITIBA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G751a Grande, Karin Cristine
2014 Análise da energia utilizada por bisturi elétrico na
ablação de tecido orgânico / Karin Cristine Grande.--
2014.
58 f.: il.; 30 cm

Texto em português, com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Biomédica, Curitiba, 2014.
Bibliografia: f. 45-47.

1. Eletrocirurgia. 2. Faíscas elétricas. 3. Descargas
elétricas - Medição. 4. Correntes contínuas. 5. Queimaduras
- Prevenção. 6. Instrumentos e aparelhos cirúrgicos.
7. Métodos de simulação. 8. Engenharia biomédica -
Dissertações. I. Faria, Rubens Alexandre de, orient. II.
Schneider Junior, Bertoldo, coorient. III. Universidade
Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação
em Engenharia Biomédica. IV. Título.

CDD 22 -- 610.28

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que fizeram e fazem parte da minha vida. Aos meus pais, irmãos, namorado, amigos e em especial meu orientador e grande amigo Rubão.

AGRADECIMENTOS

Agradecer é essencial. Em nossa vida nada acontece sem querer e como diria Ronaldo Wrobel, o propósito tem seus acasos.

Pessoas fazem parte de nossa vida e nossa relação pode determinar nossas ações. Por conta disso, agradecerei as pessoas, pois Deus está em meu coração e minhas cachorras são minha alegria.

Agradeço aos meus pais, não tenho como descrever tudo o que fizeram por mim ao longo desses anos, mas sem dúvidas vocês são meus pilares de sustentação.

Agradeço aos meus irmãos, somos diferentes, somos parceiros, somos amigos... Vocês são meu coração e meu apoio.

Agradeço aos meus amigos, em especial a Alessandra Fontoura Pires Falcão, Ligia Avellar e Dennis Nogarolli Patrocínio, o acaso nos uniu, e nunca irá nos separar, amigos eternos que sempre estiveram comigo apesar da distância e do tempo.

Agradeço a uma grande amiga *in memoriam*, Viviane Lorenzi Carniel, sinto muita saudade de você, não existe tempo que cure isso. Muito obrigada por ter me ensinado tanto, principalmente a amar ser bióloga.

Agradeço ao meu querido namorado, pessoa incrível, amável, que amo tanto, e que tem me ensinado a ser melhor. Me ensinado a crescer, você é meu maior exemplo e minha alma gêmea.

Agradeço ao meu querido orientador e amigo, Rubão, sem dúvida o melhor presente que ganhei em 2011. Você tem me apoiado e me ajudado incondicionalmente, obrigada por todas as oportunidades que me deu, obrigada por ter me feito persistir e que nossos resultados cheguem e nossa amizade seja eterna.

Agradeço a UTFPR pela oportunidade, aos professores, coordenação e colegas do PPGEB, pelos conhecimentos e apoios necessários para a realização desta pesquisa e deste mestrado. Agradeço aos professores Pedro e Joaquim pelo empréstimo de alguns equipamentos para a realização dos experimentos.

Agradeço aos meus companheiros e amigos do grupo de Eletrocirurgia, que me ajudaram com essa pesquisa, em especial aos doutorandos André Luiz Monteiro, pela ajuda nos cálculos de potência e tensão, e ao Elton Dias Jr, pelas dicas de pesquisa e referências.

EPÍGRAFE

“A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo.”

Nelson Mandela

"Nosso grande medo não é o de que sejamos incapazes. Nosso maior medo é que sejamos poderosos além da medida. É nossa luz, não nossa escuridão, que mais nos amedronta. Nos perguntamos: “Quem sou eu para ser brilhante, atraente, talentoso e incrível”?. Na verdade, quem é você para não ser tudo isso?..."

Bancar o pequeno não ajuda o mundo. Não há nada de brilhante em encolher-se para que as outras pessoas não se sintam inseguras em torno de você. E à medida que deixamos nossa própria luz brilhar, inconscientemente damos às outras pessoas permissão para fazer o mesmo".

(Discurso de posse, em 1994).

Nelson Mandela

RESUMO

GRANDE, Karin Cristine. Análise da energia utilizada por bisturi elétrico na ablação de tecido orgânico. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

A eletrocirurgia é uma técnica cirúrgica que utiliza o bisturi elétrico para a realização do corte, dessecação e coagulação do tecido orgânico, diminuindo dessa forma os riscos de hemorragia. O bisturi elétrico usa o processo da faiscância para a realização do trabalho. Esse processo provoca, entre outras coisas, o aquecimento da água intracelular e, conseqüentemente, o rompimento da célula do tecido. Embora se saiba a quantidade de energia entregue pelo bisturi elétrico, pouco se sabe sobre as parcelas de energia envolvidas nos vários fenômenos do processo eletrocirúrgico, principalmente no corte, onde as células sofrem ablação por vaporização. Com base neste problema, foi desenvolvida esta pesquisa, que teve o objetivo de determinar a energia necessária para o corte eletrocirúrgico, através dos parâmetros elétricos envolvidos e da energia utilizada para a vaporização da água do tecido orgânico. O método desenvolvido foi testado em três experimentos, com várias séries de cortes específicos em cada. Demonstrou-se que da energia total que é entregue pelo bisturi, menos de 10% é utilizada para o corte, ou especificamente, para a vaporização da água do tecido. O restante da energia acaba sendo utilizada em outros processos que começarão a ser analisados em outros trabalhos.

Palavras-chave: bisturi elétrico, descargas elétricas, eletrocirurgia e energia;

ANALYSIS OF ELECTROSURGICAL DEVICE ENERGY USED TO ORGANIC TISSUE ABLATION

ABSTRACT

GRANDE, Karin Cristine. Analysis of electrosurgical device energy used to organic tissue ablation. 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

Electrosurgery is a surgical technique that uses an electrosurgical device for cutting, drying (desiccation), and coagulation of organic tissue, thereby reducing the risk of bleeding. Electrosurgical device uses sparking phenomena for this purpose. This process causes heating of intracellular water and, consequently, the rupture of the cell in the organic tissue. Although the amount of energy delivered by the electrosurgical device is easy to know, little is known about the exactly amount of energy involved in the various phenomena of electrosurgical procedure, especially in cutting, where cells suffer ablation by vaporization. Based on this was developed this research, which objective is to determine the energy required for the electrosurgical cutting through the electrical parameters involved and the energy used for the vaporization of water of organic tissue. The method developed was corted in three experiments, with a series of specific tests in each. It has been show that only about 10% of total energy is used for cutting, or specifically, for the vaporization of water of organic tissue. The rest of the energy is used in other processes that need more investigation to be understood.

Keywords: Ablation, Electrosurgical Devices, Electrosurgery, Energy, Electric Discharges;

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição média de moléculas da célula humana.	12
Tabela 2: Potências ativas do experimento 1, ensaio 1, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome <i>print</i> , ver anexo 2.....	27
Tabela 3: Potências ativas do experimento 1, ensaio 2, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome <i>print</i>	29
Tabela 4: Potências ativas do experimento 2, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome <i>print</i>	32
Tabela 5: Potências ativas do experimento 3, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome <i>print</i>	34
Tabela 6: Potências ativas do experimento 3, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome <i>print</i>	37
Tabela 7: Potências ativas do experimento 3, ensaio 2, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome <i>print</i>	38
Tabela 8: Resultados obtidos em todos os experimentos realizados, vaporização da água, potência média usada pelo bisturi elétrico, ablação realizada no tecido e percentual de energia entregue pelo bisturi elétrico.	43
Tabela 9: Dados puros do experimento piloto (EP), ensaio 1 e 2, realizados com chuchu, com faísca e sem carbonização.	49
Tabela 10: dados processados do experimento piloto (EP) ensaio 1.....	50
Tabela 11: dados processados do experimento piloto, ensaio 2.....	50
Tabela 12: Dados puros do experimento 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (valor inicial: massa da placa e do chuchu juntos).	52
Tabela 13: Dados processados do experimento 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização.	53
Tabela 14: Dados puros do experimento 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (valor inicial: massa da placa e do chuchu juntos).	53

Tabela 15: Dados processados do experimento 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com fásca e sem carbonização (valor inicial: massa da placa e do chuchu juntos).....	54
Tabela 16: Dados puros do experimento 2, ensaio 1, realizados com o Chuchu sem carbonização e com faíscas.....	55
Tabela 17: Dados processados do experimento 2, ensaio 1, realizados com o Chuchu sem carbonização e com faíscas.....	55
Tabela 18: Dados puros, experimento 3, ensaio 1A, 1B e 2, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.....	56
Tabela 19: Dados processados, experimento 3, Ensaio 1A, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.....	57
Tabela 20: Dados processados, experimento 3, ensaio 1B, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.....	57
Tabela 21: Dados processados, experimento 3, ensaio 2, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.....	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Percentual de massa presente nas organelas celulares.....	12
Gráfico 2: Dados processados do experimento piloto 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (Anexo 1);.....	23
Gráfico 3: Dados processados do experimento piloto 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (Anexo 1);.....	24
Gráfico 4: Dados processados do experimento 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização.	25
Gráfico 5: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 1, ensaio 1, corte 10, <i>off set</i> de tensão de aproximadamente 150 volts [V].	26
Gráfico 6: Dados processados do experimento 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização.	28
Gráfico 7: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 1, ensaio 2, corte 3 <i>off set</i> de tensão de aproximadamente 170 V.	29
Gráfico 8: Dados processados do experimento 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (Anexo 3).	31
Gráfico 9: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 2, corte 2, <i>off set</i> de tensão de aproximadamente 125 V.	31
Gráfico 10: Dados processados do experimento 3, corte 1A, realizado com carne de porco, com faísca e com carbonização (Anexo 4).	33
Gráfico 11: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 3, ensaio 1 ^a , <i>off set</i> de tensão de aproximadamente 150 V.	34
Gráfico 12: Dados processados do experimento 3, ensaio 1B, realizado com carne de porco, com faísca e com carbonização.	36
Gráfico 13: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 3, ensaio 1B, <i>off set</i> de tensão não observado.	36
Gráfico 14: Dados processados do experimento 3, ensaio 2, realizado com carne de porco, com faísca e com carbonização.	38
Gráfico 15: sinais de corrente e tensão aproximadamente senoidais, referente ao <i>print</i> 64, experimento 3, ensaio 1B, corte 5.	40

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1: Osciloscópio utilizado para a gravação dos dados dos canais 1, 2 e 3, via USB.....	15
Fotografia 2: Balança de precisão modelo Explorer OHAUS Corporation® utilizada nos experimentos para medição da pesagem.....	16
Fotografia 3: Material orgânico (chuchu) e placa sendo pesados na balança de precisão.....	18
Fotografia 4: Sistemas de equipamentos utilizados para os experimentos. 1 gerador de funções, 2 circuito simulador, 3 placa e bisturi elétrico monopolar e 4 osciloscópio.	20
Fotografia 5: Corte feito em chuchu.....	24
Fotografia 6: Exemplo de corte em tecido suíno.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Bisturi monopolar e bipolar.	9
Figura 2: Demonstração dos processos realizados antes, durante e depois do corte do tecido orgânico, no tempo de cinco segundos (s).....	19
Figura 3: Potências de várias amostras realizadas, os pontos marcados representam erros durante o processo de gravação do dado (erro humano), os valores negativos se referem às amostras que foram gravadas de forma errada e foram desconsiderados na análise dos experimentos.	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 HIPÓTESE	4
3 OBJETIVOS	5
3.1 Objetivo geral	5
3.2 Objetivos Específicos	5
4 JUSTIFICATIVA	6
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
5.1 Eletricidade básica	7
5.2 Eletrocirurgia	8
5.3 Bisturi Elétrico	9
5.4 Energia	10
5.4 Riscos em Eletrocirurgia	10
5.5 Dados Biológicos	11
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	14
6.1 Circuito simulador de sinal eletrocirúrgico	14
6.2. Gerador de Funções	14
6.3 Osciloscópio	15
6.4 Balança de Precisão	16
6.5 Tecidos Orgânicos	16
6.6 Método desenvolvido	17
6.6.1 Limpeza do equipamento	17
6.6.2 Corte do tecido orgânico	17
6.6.3 Calibração	17
6.6.4 Pesagem	18
6.6.5 Temperatura	18
6.6.7 Escala temporal do experimento	19

6.6.8	Medições e gravações de dados	20
6.6.9	Comprovação do método.....	20
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
7.1	DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS	22
7.1.1	Experimento Piloto	22
7.1.2	EXPERIMENTO 1	25
7.1.2.	Experimento 2	30
7.1.4	Experimento 3	32
7.2	DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS.....	39
8	CONCLUSÃO	42
9	REFERÊNCIAS	45
	ANEXOS	48
	ANEXO 1.....	49
	ANEXO 2.....	52
	ANEXO 3.....	55
	ANEXO 4.....	56

1 INTRODUÇÃO

A eletrocirurgia é uma técnica cirúrgica que utiliza a descarga elétrica e a passagem de corrente elétrica para a realização de efeitos cirúrgicos no tecido orgânico, quais sejam o corte/ablação, a dessecção e a coagulação do tecido. Para sua aplicação é utilizado o bisturi elétrico, possuindo eletrodos em seus terminais, que podem ser trocados de acordo com a operação desejada. Segundo Cabral (2008), o bisturi elétrico é um equipamento que utiliza altas densidades de corrente elétrica em alta frequência.

Afonso *et al.* (2010) coloca que:

“O equipamento eletrocirúrgico baseia-se na passagem de uma corrente elétrica de alta frequência pelos tecidos-alvo. A corrente elétrica, que é produzida por um gerador e liberada através de um eletrodo ativo, percorre todo o corpo do paciente e sai através de um eletrodo neutro ou dispersivo (placa de dispersão). Ao encontrar a resistência do tecido humano, essa corrente elétrica é transformada em calor. Tais efeitos dependem da resistência dos tecidos, do tempo da exposição, da superfície exposta e da densidade da corrente elétrica.”

O princípio norteador para a realização do trabalho do bisturi elétrico é o aquecimento da água, que se encontra presente no meio intracelular. O aquecimento da água, causado pelas faíscas do bisturi elétrico, provoca o aumento da temperatura, causando a evaporação e a vaporização da mesma. Deste modo, as células explodem deixando um rastro de tecido desnaturado, aberto e termicamente com certo grau de cauterização¹, evitando sangramento excessivo. Este equipamento usa da transformação da energia elétrica em calor. Calor é a energia térmica que pode ser transferida de um objeto para outro, quando há diferença de temperatura entre eles. A energia produzida por uma faísca com potência, por exemplo, 30 watts, tende a se dispersar e aquecer um tecido vivo. Segundo Hinrichs e Kleinbach, 2004, o calor é medido em joules (J), a unidade do sistema internacional para energia.

¹ Cauterização: queima de tecido através de produto cáustico “ácidos, bases e outros elementos irritantes” ou temperatura.

Geralmente, define-se uma caloria (1 cal) como a quantidade de calor que se deve fornecer a um grama de água para elevar a temperatura de 14,5 °C a 15,5 °C. O calor específico (c) de uma substância representa a quantidade de calor necessário para elevar em 1 °C a temperatura de 1 g dessa substância (HINRICHS e KLEINBACH, 2004). O calor específico é característico de cada substância e pode mudar com a temperatura, razão pela qual serão adotados neste trabalho valores médios para a fase líquida da água.

Existem relatos descritos na literatura sobre riscos associados ao uso da eletrocirurgia, entre os principais estão o choque elétrico, queimaduras, incêndios, explosões por causa dos gases anestésicos e intestinais, estimulação de tecidos excitáveis e interferências causadas em instrumentos, como marca-passos e equipamentos nos arredores do sítio cirúrgico (AFONSO *et al.*, 2010; ALMEIDA, *et al.*, 2012; CABRAL, 2008; MACIEL e RODRIGUES, 1998).

Segundo Vasconcelos *et al.* (2003) esses bisturis elétricos surgiram por volta de 1925, e os avanços têm provocado melhoras tecnológicas substanciais nas novas gerações de equipamentos.

Os equipamentos são aprimorados ao longo dos anos, mas os estudos sobre seu funcionamento e a energia necessária para o uso não estão presentes na literatura atual. Vale ressaltar que os avanços na eletrocirurgia foram tecnológicos e não científicos.

Como a eletrocirurgia depende do uso da energia elétrica para a realização do trabalho, foi desenvolvida esta pesquisa com o objetivo principal de analisar a quantidade de energia necessária para a realização do corte em tecido orgânico. Para isto, foi desenvolvida uma metodologia testada em um experimento piloto, e posteriormente, aplicada aos experimentos de corte para a obtenção de dados para a análise e determinação da energia.

Foram definidos para os cortes dois tipos de tecidos orgânicos, o chuchu (*Secchium edule* SW) e a carne suína (*Sus domesticus*, Erxleben, 1777), que teve como corte utilizado o lombo. Esses dois tecidos foram homologados cientificamente como tecidos verossimilhantes aos do ser humano no que diz respeito à eletrocirurgia. A carne suína foi descrita por Bowman, Cravallho e Woods (1975) e o chuchu por Schneider Jr e Abatti (2008).

O grupo de pesquisa em Eletrocirurgia, da Universidade Tecnológica do Paraná, existente desde 2005, investiga cientificamente os fenômenos envolvidos na

eletrocirurgia. Havia tempo que uma questão estava pendente: qual a quantidade de energética realmente necessária para executar cada um dos efeitos eletrocirúrgicos (corte, dessecção, fulguração)? Obviamente havia algumas indicações na literatura e em manuais de fabricantes diziam respeito somente aos valores entregues pelo equipamento eletrocirúrgico. Mas havia uma desconfiança de que a quantidade de energia necessária para efetuar o corte, por exemplo, era algo seis vezes menor do que o comumente aceito. De fato, este trabalho demonstrou que a energia necessária para efetuar o corte eletrocirúrgico não era somente seis vezes menor, mas mais de dez vezes menor, como se demonstrará ao longo deste trabalho.

Uma hipótese inicial foi estabelecida ao longo deste trabalho para investigar esta questão. A hipótese era que se fosse possível executar o corte em condições bem controladas, onde os sinais de tensão e corrente elétricas pudessem ser registrados, juntamente com o tempo do processo e a massa do material vaporizado eletrocirurgicamente, poder-se-ia inferir a quantidade de energia necessária para este processo.

O chuchu e a carne suína foram escolhidos por dois motivos: ambos são referendados na literatura como carga de estudo em eletrocirurgia e o chuchu tem quase sua totalidade composta por água (aproximadamente 95% de água). A determinação para a vaporização de água poderia ser feita facilmente se uma metodologia fosse estabelecida para testar a hipótese.

2 HIPÓTESE

Hipótese inicial: Se for possível executar o corte em condições controladas, onde os sinais de tensão e corrente elétricas possam ser registrados, juntamente com o tempo do processo e a massa do material vaporizado eletrocirurgicamente, a quantidade de energia necessária para este processo pode ser determinada através de relações físicas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Determinar a energia necessária para realização do corte eletrocirúrgico.

3.2 Objetivos Específicos

1. Entender o processo eletrocirúrgico;
2. Compreender o processo da ablação do tecido durante o corte eletrocirúrgico;
3. Definir um experimento para o teste da hipótese;
4. Determinar a energia necessária para a realização do corte eletrocirúrgico em chuchu (*Sechium edule*, SW) e em carne suína (*Sus domesticus*, Erleben, 1777).

4 JUSTIFICATIVA

A principal complicação cirúrgica que levou ao desenvolvimento da eletrocirurgia foi o sangramento durante a cirurgia. As hemorragias eram causa de transfusões de sangue e óbito no pós e intraoperatório (RIBEIRO, 2009).

A eletrocirurgia utiliza da energia elétrica para a realização do trabalho de corte, coagulação e dessecção dos tecidos. Entre os estudos publicados atualmente os principais riscos descritos são o choque elétrico, incêndio, explosões por misturas de combustíveis como anestésicos e gases intestinais, estimulação de tecidos excitáveis e interferência com instrumentos, tais como marcapassos (AFONSO *et al.*, 2010; ALMEIDA *et al.*, 2012; CABRAL, 2008; MACIEL e RODRIGUES, 1998).

Aorn, 1995 (Apud Piccoli *et al.*, 2005) descreve que:

“A recomendação da *Association of Operating Room Nurses* é de que seja utilizada a unidade de eletrocirurgia o menor tempo possível e o estabelecimento da quantidade de energia deve ser tão baixo quanto possível para cada procedimento, sendo recomendado pelo cirurgião em conjunto com o fabricante e confirmado verbalmente pelo enfermeiro antes da sua utilização.”

Afonso *et al.* (2010) coloca que a potência do eletrocautério deve ser confirmada antes da ativação, e deve ser a mais baixa potência efetiva possível. A energia aplicada pode ser um dos determinantes para a qualidade da cirurgia e para evitar riscos e danos ao paciente. Para isso são necessários estudos específicos que busquem compreender corretamente o universo da faísca envolvida e o processo da energização do tecido durante o corte.

No mercado não existem equipamentos eletrocirúrgicos capazes de tomar decisões automáticas eficientes visando à eficiência e segurança do paciente quanto à energia entregue para o mesmo. O conhecimento mais aprofundado de como a energia do bisturi elétrico é realmente utilizada pode mudar este panorama.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Eletricidade básica

Gussow (1985) coloca que a eletricidade corresponde a um termo geral utilizado para explicar uma variedade de fenômenos ligados aos fluxos e campos de energia elétrica. A eletricidade pode ter origem natural, como ocorre com um raio, ou artificial, como no caso das usinas geradoras de energia e no caso das baterias.

A corrente elétrica é o fluxo de cargas elétricas. A corrente elétrica está associada com a capacidade de uma determinada carga elétrica produzir trabalho. Sua unidade de medida é o ampère (A) e pode estar nas formas contínua ou alternada. A corrente que flui continuamente na mesma direção é chamada corrente unidirecional. Corrente contínua (CC) é uma corrente unidirecional constante. A corrente que periodicamente inverte o sentido é denominada corrente alternada (CA) (BARTKOWIAK, 1994), como no caso das tomadas residenciais, cuja frequência é de 60 Hz (hertz).

A eletricidade depende de materiais para ser conduzida. Os materiais que permitem circular a corrente com pouca oposição à mesma são chamados condutores, como por exemplo, os fios elétricos de cobre e alumínio.

A resistência é a oposição que um material (ou circuito) oferece à circulação de corrente elétrica (i), dada em ampères [A], é simbolizada pela letra R , tendo como unidade o ohm [Ω] (BARTKOWIAK, 1994). A resistência de um componente é gerada por um resistor, que pode ser feito de materiais como carbono, fio, semicondutores, entre outros, depende não somente do material utilizado, mas também do comprimento do material, da temperatura do condutor, da área da seção reta e da resistividade do condutor.

Os materiais que a despeito de grandes tensões aplicadas não deixam passar a corrente são conhecidos por isolantes ou dielétricos, como no caso do encapsamento dos fios elétricos (SCHNEIDER, 2005). Existe outra classe de materiais cuja passagem de corrente elétrica depende de condições muito específicas, são os chamados semicondutores, são materiais isolantes que se tornam semicondutores por processos de manipulação molecular, dos quais todos os equipamentos eletrônicos são feitos.

De acordo com Trindade e Grazziotin (1998) a potência (P) é medida em unidades de watts (W). O produto entre a corrente e a tensão elétrica determina a quantidade de watts de uma corrente elétrica ($P = V.I$), esta é a forma de energia elétrica empregada sobre o tecido orgânico.

5.2 Eletrocirurgia

A eletrocirurgia consiste de um método cirúrgico que utiliza de energia elétrica para produzir faíscas num bisturi elétrico, que, por sua vez, realiza o corte, a coagulação e a dessecção do tecido, diminuindo a chance de hemorragia no paciente.

Na eletrocirurgia, a corrente elétrica é produzida por um gerador, e é entregue ao paciente por um eletrodo ativo, agindo no tecido orgânico, e saindo através de eletrodo neutro, em forma de placa (grande área condutiva). Esta corrente elétrica, ao encontrar a resistência do tecido humano, é transformada em calor (efeito Joule). O calor produzido determina os efeitos eletrocirúrgicos, principalmente os de coagulação e dessecção. O corte parece envolver mais processos do que os citados na literatura. Avançar no conhecimento de como o corte acontece é o objetivo principal deste trabalho.

Conforme Afonso, *et al.* (2010) a densidade da corrente, definida como a quantidade de eletricidade que flui através de uma área do tecido, é o mais importante conceito na compreensão da eletrocirurgia, uma vez que o tecido exposto à maior densidade de corrente sofrerá maiores efeitos.

A causa das queimaduras CC e eletroestimulações eram desconhecidas durante todo o século XX e pode ser explicada pela tensão elétrica gerada pela assimetria de tensão que existe no processo de faiscância (SCHNEIDER JR, DIAS e ABATTI, 2010; SCHNEIDER JR, BERNARDI, ABATTI, 2007).

De acordo com Vasconcelos, *et al.* (2003) existem várias vantagens para o uso da eletrocirurgia, mas o principal são incisões sem hemorragia, ou com mínima hemorragia, proporcionando um campo operatório exangue. Ainda, os fatores controláveis durante a eletrocirurgia, pela equipe médica, são a forma de onda, a força e profundidade da incisão, as condições da superfície do tecido, a espessura e forma do eletrodo ativo.

5.3 Bisturi Elétrico

O aparelho oferece corte de tecidos de forma pura, tendo baixa tensão e alta frequência e coagulação pura com alta e baixa frequência. A função corte requer geração de faíscas de curta duração entre o eletrodo e o tecido operado. Como o bisturi elétrico atinge altas temperaturas ($> 400^{\circ}\text{C}$) seu efeito de coagulação se explica pela ebulição da água tecidual com explosão celular e carbonização do material celular. A coagulação ocorre por efeito obliterativo (KAKOS, 1970, Apud RIBEIRO, 2009). Dessa forma, a água evapora, secando o tecido, e gerando a coagulação quase instantânea do tecido, reduzindo a chance de hemorragia do paciente.

O Bisturi Elétrico (BE) é composto dos seguintes componentes: eletrodo ativo (caneta), eletrodo dispersivo (eletrodo passivo ou placa neutra), fonte geradora de energia, cabos e pedais (BRITO, 2006, Apud CABRAL, 2008).

Segundo Kakos & James, 1970, Apud Ribeiro (2009), as publicações têm mostrado que o uso do bisturi elétrico colabora para a diminuição do tempo de cirurgia, do sangramento intraoperatório e conseqüentemente da redução das indicações de transfusões sanguíneas.

Existem duas modalidades de eletrocirurgia: o sistema monopolar e o bipolar (Figura 1). Na técnica monopolar, é utilizado um eletrodo ativo, de forma pontiaguda, para aplicar a energia no ponto de incisão e um eletrodo de dispersão, em forma de placa com grande área, para a saída da corrente. Na técnica bipolar, o eletrodo ativo contém também um eletrodo de retorno da corrente e a descarga elétrica se dá entre os eletrodos separados de 1 mm a 3 mm, sem atravessar o paciente, indicada para neurocirurgia. Podem ainda serem semelhantes a uma pinça ou a uma tesoura, para fechamento de vasos (AFONSO *et al.*, 2010).

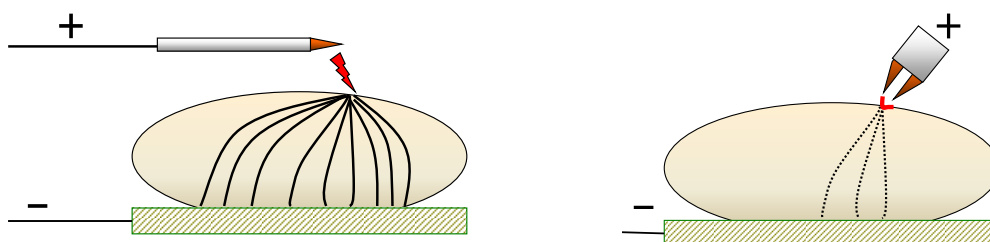


Figura 1: Bisturi monopolar e bipolar.

Fonte: SCHNEIDER, 2005.

5.4 Energia

Desde 3000 a.C., os povos já se utilizavam do calor para estancar sangramentos, empregando ferramentas aquecidas ao fogo a fim de parar hemorragias de lesões acidentais (BRASIL/MS, 2002, APUD CABRAL, 2008).

O trabalho realizado pelas cargas elétricas, em um determinado intervalo de tempo, gera uma energia que é transformada em calor por efeito joule e é definida como potência elétrica (CAPUANO e MARINO, 2007).

A água é uma das matérias estudadas, sabe-se que o gelo se funde a 0 °C e que a água entra em ebulição a 100 °C deve-se especificar que a pressão exercida sobre eles é 1 atm (RIBEIRO, 2007).

5.4 Riscos em Eletrocirurgia

Dentre os estudos publicados recentemente os principais riscos descritos são o choque elétrico, incêndio, explosões, por misturas de combustíveis como anestésicos e gases intestinais, estimulação de tecidos excitáveis e interferência com instrumentos como os marcapassos (AFONSO *et al.*, 2010; ALMEIDA, *et al.* 2012; CABRAL, 2008; MACIEL e RODRIGUES, 1998).

Esses acidentes podem acometer o paciente, que também pode ficar sujeito a queimaduras e paradas cardíacas (se portador de marcapasso cardíaco, à colocação da placa neutra, instalações elétricas deficientes) (ANS, 2004, Apud CABRAL, 2008).

As queimaduras são as principais complicações relacionadas ao uso da eletrocirurgia basicamente originárias de três causas. A primeira é o trauma térmico não intencional ou por uso inadequado do eletrodo ativo. A segunda é a ocorrência de um trauma térmico indesejável na região da placa, também chamado de dano tecidual de retorno, quando não ocorre bom contato entre a placa e a pele, a energia é dispersa em menor área, o que aumenta o aquecimento no local e causa dano. Uma terceira causa de queimaduras pode ocorrer quando a corrente elétrica assume um caminho indesejável através do corpo do paciente que não o eletrodo de dispersão (placa). Materiais e adornos metálicos podem funcionar como um "fio-terra", ou seja, são criadas vias alternativas para a passagem da corrente elétrica, e aumentam o risco de lesão nesses locais (AFONSO *et al.*, 2010).

Segundo Almeida *et al.*, 2012, em estudos realizados nos Estados Unidos, estima-se que ocorram 100 casos de incêndio em salas cirúrgicas a cada ano. Muitos desses casos estão relacionados a fontes combustíveis encontradas em ambiente operatório, como gases anestésicos. A maioria dos relatos de incêndio em sala cirúrgica relaciona-se com procedimentos sob acompanhamentos de anestésicos com uso de sistemas abertos para fornecimento de oxigênio, como cateter nasal ou máscaras faciais.

Estas queimaduras envolvem elevado risco de necrose tecidual e de formação de abscessos podendo conduzir à perfuração de órgãos internos, tais como intestinos, tendo como resultado contaminação bacteriana da cavidade abdominal (peritonite fecal), necessitando de tratamento imediato e agressivo (MELO, 2005).

A necessidade de proteção do paciente, do operador, do usuário e do meio ambiente contra os riscos inerentes à utilização de equipamentos eletromédicos, exige a combinação de medidas que visem garantir a qualidade e a segurança, principalmente, no que diz respeito ao grau de proteção elétrica destes equipamentos. A consolidação destas medidas abrange um conceito integrado de segurança, incluindo, sobretudo, a solução dos problemas crônicos de nossas organizações hospitalares, que são: a qualificação dos profissionais, e a gestão e manutenção dos equipamentos médico-hospitalares (MACIEL e RODRIGUES, 1998).

5.5 Dados Biológicos

As células animais e vegetais têm um diâmetro entre 10 e 100 micrometros e uma massa típica de 1 ng (PALANKER, VANKOV e HUIE, 2008). 1 cm³ de água tem exatamente 1 g, o que significa que esse cm³ equivale a massa de um bilhão de células.

A Tabela 1 apresenta a composição média da célula humana. Nota-se que embora o percentual de massa de água seja de 65%, o percentual de moléculas de água é de 98,73%.

Tabela 1: Composição média de moléculas da célula humana.

Molécula	Massa %	Quantidade de Moléculas	% Moléculas
Água	65%	1.74×10^{14}	98.73%
Proteína	20%	1.9×10^{10}	0.011%
Lipídios	12%	8.4×10^{11}	0.475%
Outros inorgânicos	1.5%	1.31×10^{12}	0.74%
RNA	1.0%	5×10^7	$3 \times 10^{-5}\%$
Outros orgânicos	0.4%	7.7×10^{10}	0.044%
DNA	0.1%	46	$3 \times 10^{-11}\%$
Total	100%	1.76×10^{14}	100%

Fonte: Adaptado de FREITAS (2006).

O Gráfico 1 apresenta o percentual de massa presente nas organelas intracelulares e sua distribuição, por exemplo, o RNA intracelular possui 1% do total da massa de uma célula.

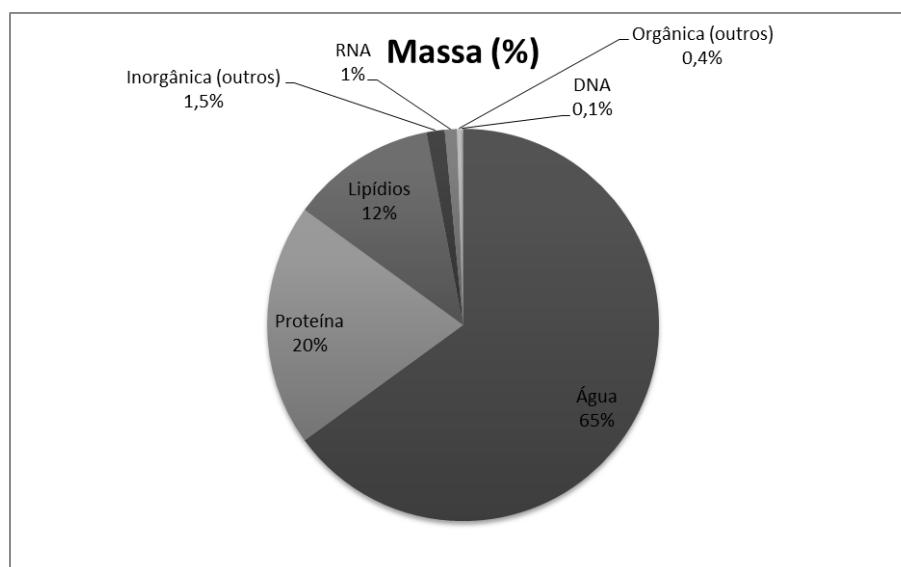


Gráfico 1: Percentual de massa presente nas organelas celulares.

Fonte: Adaptado de FREITAS (2006).

Existem várias definições ligeiramente diferentes para caloria. De acordo com Palanker, Vankov e Huie, 2008, a definição aceita cientificamente é a quantidade de energia necessária para aquecer em 1 °C a água, especificadamente entre 14,5 °C e 15,5 °C (chamada por isso de cal 15 °C). Curiosamente a caloria mais conhecida,

usada em nutrição e assuntos de emagrecimento, equivale a uma quilocaloria (1000 calorias) e é às vezes representada como Cal com C maiúsculo. O calor específico de uma substância é diferente conforme a temperatura. Por exemplo, para aquecer a água de 3,5 °C para 4,5 °C são necessários 4,204 joules [J], enquanto para fazê-lo de 14,5 °C para 15,5 °C são necessárias 4,1855 J. Neste trabalho será usado o valor da caloria média, que é a média para aquecer a água de 0 °C até 100 °C. A caloria média equivale a 4,19 J. Deste modo, são necessários, para aquecer 1 cm³ de água da temperatura ambiente de 25 °C até 100 °C, $(100-25) \times (4,19)$ joules, ou seja, 314,25 joules. Para referência, considerando que uma célula média possui uma massa de 1 nanograma, 1 cm³ de água representa a massa de 1 bilhão de células médias e a quantidade de água intracelular de aproximadamente 1 bilhão e meio de células médias. Este é o princípio que será utilizado para a determinação da energia utilizada na ablação da água.

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Biotelemetria (BIOTA) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, durante o ano de 2014.

Foram realizados experimentos piloto e experimentos válidos para comprovação da hipótese sugerida, e do método criado, para a determinação da quantidade de água que é vaporizada pelo bisturi elétrico na realização do corte, onde seria determinada a energia real necessária para o corte eletrocirúrgico, em tecido orgânico.

Os experimentos serão descritos de acordo com a sequência realizada. A metodologia foi aperfeiçoada a partir do experimento piloto, que serviu de corte inicial para o método proposto. Em todos os experimentos foram utilizadas luvas cirúrgicas que eram trocadas a cada mudança de atividade.

6.1 Circuito simulador de sinal eletrocirúrgico

O circuito foi desenvolvido anteriormente (BERNARDI, 2008) para simular o sinal eletrocirúrgico, com o mínimo possível de ruído eletromagnético. Esse ruído, quando não controlado, pode provocar interferências que resultariam na perda de dados e medições, prejudicando a pesquisa.

Este circuito produz a tensão e a corrente necessárias para produzir os efeitos eletrocirúrgicos controlados em frequência, intensidade e forma de onda por um gerador de funções.

A finalidade deste circuito é simular o funcionamento de um bisturi elétrico, minimizando os altos ruídos eletromagnéticos inerentes a estes tipos de equipamentos.

6.2. Gerador de Funções

É um equipamento capaz de gerar sinais alternados (senoidais, triangulares e quadrados) com controle de frequência, amplitude e modulação.

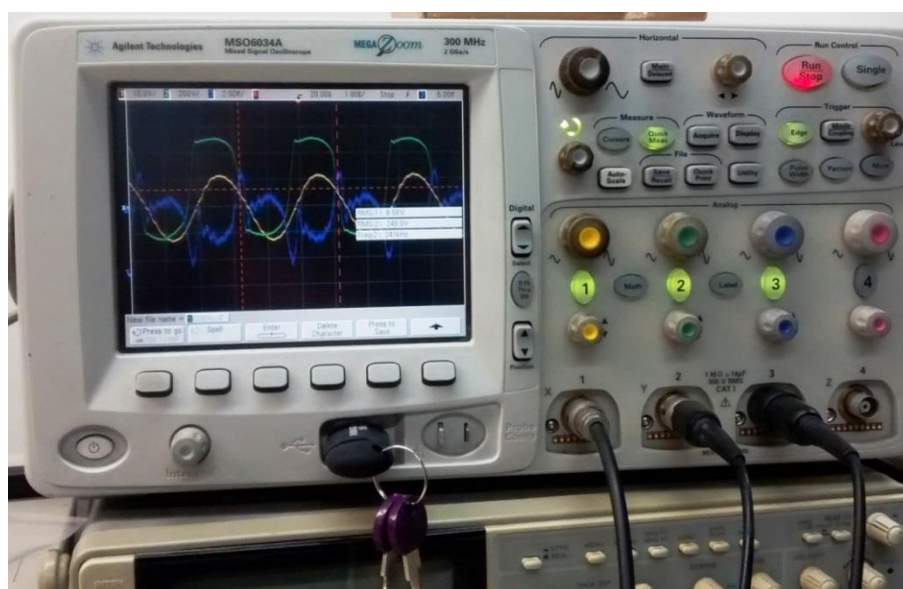
Neste trabalho foi utilizado o equipamento da marca tektronix ® para aplicar um sinal senoidal com frequência de aproximadamente 400 kHz e intensidade dependendo do efeito da faísca desejada.

6.3 Osciloscópio

Este equipamento é capaz de medir as tensões elétricas em relação ao tempo. Foi usado o equipamento modelo Agilent Technologies® MSO6034A, com 4 canais sincronizados entre si. Todos possuem o mesmo índice de tempo, 200 Ms (Mega Samples, isto é milhões de amostras por segundo). E com capacidade de memorização e gravação das formas de onda via USB.

Neste equipamento foi usado o canal 1 para a aquisição do sinal do gerador de funções, o canal 2 para a medição da tensão sobre o tecido orgânico e o canal 3 para a medição da tensão sobre o resistor *Shunt*, para determinação da corrente do circuito.

O osciloscópio (Fotografia 1), como mede a saída do equipamento que deve estar em referencial flutuante, por normatização, também deve estar alimentado com o referencial flutuante.

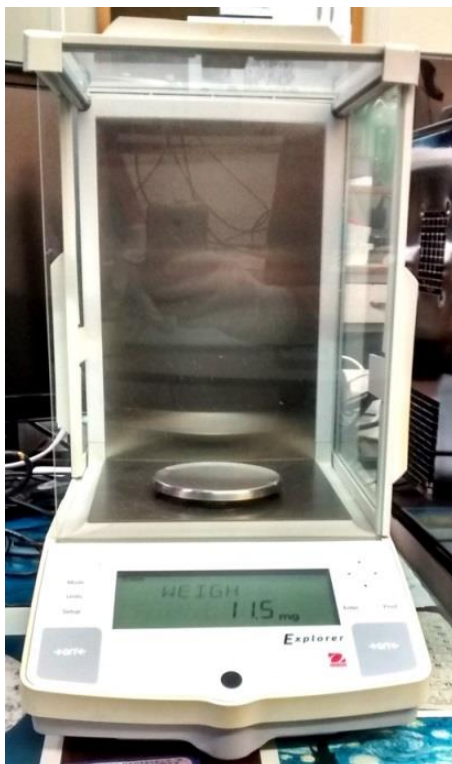


Fotografia 1: Osciloscópio utilizado para a gravação dos dados dos canais 1, 2 e 3, via USB.

Fonte: Autoria própria.

6.4 Balança de Precisão

Foi utilizada uma balança de precisão modelo Explorer OHAUS Corporation (Fotografia 2) com precisão em décimos de miligrama para a medição do tecido, antes, durante e após cada experimento de vaporização do tecido orgânico. A massa máxima suportada pela balança é de 110 mg, com precisão de 0,1 mg.



Fotografia 2: Balança de precisão modelo Explorer OHAUS Corporation® utilizada nos experimentos para medição da pesagem.

Fonte: Autoria própria.

6.5 Tecidos Orgânicos

Nos experimentos foram utilizados pedaços de até 30 miligramas, em cortes longitudinais e transversais, de tecidos de chuchu (*Secchium edule*, SW) de fruto jovem, maduro e frescos, adquiridos em feira livre e de carne de porco *Sus domesticus*, Erxleben, 1777, adquiridos em frigorífico, o tecido usado foi o lombo *ex vivo* (fresco logo após o abate).

6.6 Método desenvolvido

O método desenvolvido foi testado em um experimento piloto. Neste experimento foi utilizado um circuito monopolar simulador de saída eletrocirúrgica, construído pelo grupo de pesquisa em Eletrocirurgia. O método consiste de uma série de procedimentos que estão descritos a seguir.

6.6.1 Limpeza do equipamento

A placa simuladora do sinal eletrocirúrgico era lavada com sabão neutro e secada com papel toalha. A ponta do bisturi elétrico era limpa utilizando uma esponja de aço, para retirar resíduos e depois com papel toalha, evitando dessa forma a introdução de materiais, que não eram os tecidos orgânicos estudados.

6.6.2 Corte do tecido orgânico

Depois de limpo o equipamento, era feito o corte do tecido orgânico, no sentido longitudinal, tanto na suína quanto no chuchu, e sua massa não podia ultrapassar 30 miligramas, pois a placa pesava em torno de 75 miligramas e a capacidade de suporte da balança de precisão era de 110 miligramas, após a tara da balança.

6.6.3 Calibração

A balança de precisão era inicialmente equilibrada na horizontal através de parafusos especiais nos pés do equipamento até que a bolha de ar ficasse centrada no mostrador do equipamento. A balança era calibrada automaticamente e sua diferença de peso² (*off set*) era anotada para posterior análise.

² Embora a unidade do fenômeno medido por uma balança seja unidade de massa, o que uma balança realmente mede diretamente é o peso do objeto.

6.6.4 Pesagem

Inicialmente era pesada a placa sem o tecido na balança de precisão (Fotografia 3), o valor era anotado, posteriormente era pesado o tecido com a placa na balança de precisão, o valor era anotado e era de aproximadamente 76 gramas.

Durante cada corte era feita a pesagem do material que fornecia um valor de massa diferente, que era anotado para posterior análise.



Fotografia 3: Material orgânico (chuchu) e placa sendo pesados na balança de precisão.

Fonte: Autoria própria.

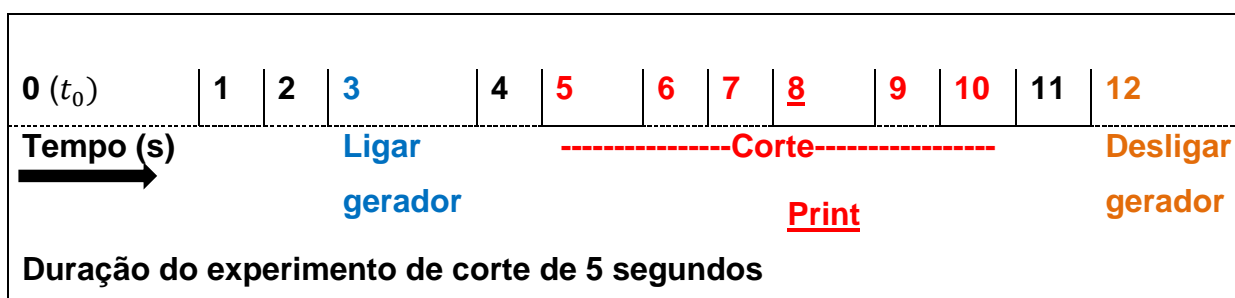
6.6.5 Temperatura

Outra medição realizada era a da temperatura do interior do laboratório, que sempre ficava fechado e vazio durante os experimentos. Era medida no início e no término de cada experimento, utilizando o termômetro modelo Minipa MT240.

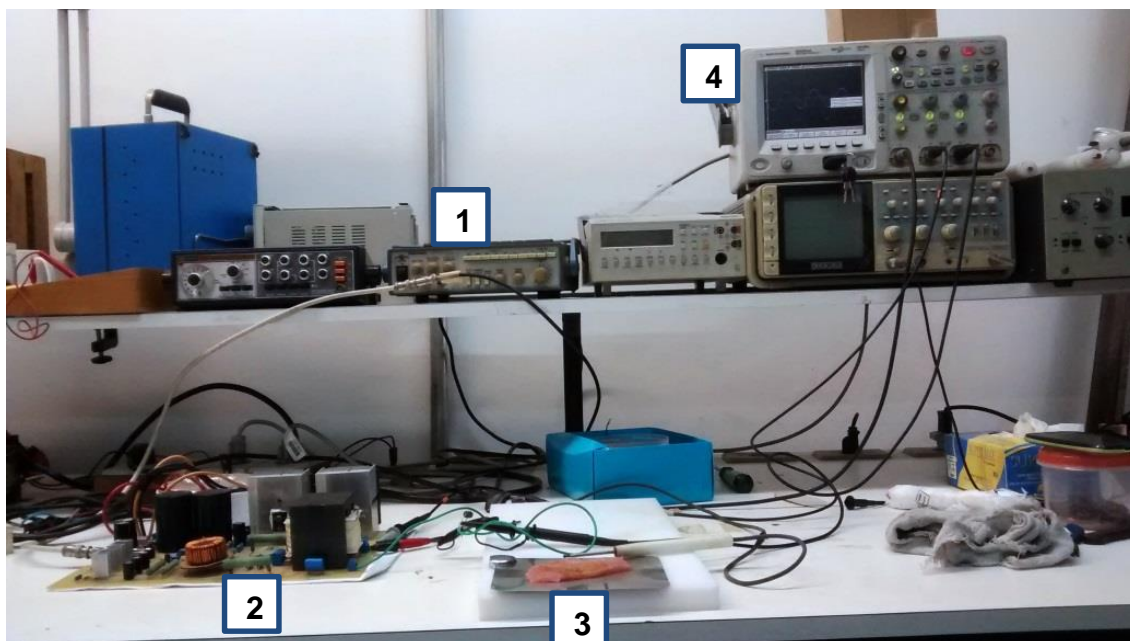
6.6.7 Escala temporal do experimento

O corte dos experimentos durava 5, 15 ou 20 segundos (s). O experimento iniciava a contagem em t_0 , passados três segundos era ligado o gerador de funções. No quinto segundo iniciava-se o corte. No oitavo segundo era feita a gravação do canal 1 para a captação do sinal do gerador de funções, do canal 2 para a medição da tensão sobre o tecido orgânico e do canal 3 para a medição da tensão sobre o resistor *Shunt*, para determinação da corrente do circuito. No décimo segundo era encerrado o corte, e por último, no décimo segundo segundo era desligado o gerador de funções, como demonstrado na Figura 1 e demonstrado na Fotografia 4. O circuito simulador de sinal eletrocirúrgico era ligado 10 minutos antes dos experimentos e desligado 10 minutos depois. No caso do corte de 15 segundos o experimento era encerrado no vigésimo segundo, e no caso do corte de 20 segundos, o experimento era encerrado no vigésimo quinto segundo. Alguns experimentos tiveram 2 e 3 ensaios, para comparação dos dados. Convencionou-se utilizar a escala temporal para a homogeneização dos cortes.

Figura 2: Demonstração dos processos realizados antes, durante e depois do corte do tecido orgânico, no tempo de cinco segundos (s).



Fonte: Autoria própria.



Fotografia 4: Sistemas de equipamentos utilizados para os experimentos. 1 gerador de funções, 2 circuito simulador, 3 placa e bisturi elétrico monopolar e 4 osciloscópio.

Fonte: Autoria própria.

6.6.8 Medições e gravações de dados

A medição das correntes e tensões foi feita por um osciloscópio modelo Agilent Technologies MSO6034A, neste, o canal 1 mediu o sinal de excitação, o canal 2 mediu a tensão sobre o tecido (ponta x100) e o canal 3 mediu a tensão sobre o resistor *Shunt*, para determinar a corrente.

Este osciloscópio detinha a capacidade de armazenamento via USB em memória *flash* e quase todos os cortes dos experimentos foram gravados os dados captados no tempo de oito segundos (ver Anexo 1, 2, 3 e 4).

Outro dado anotado foi se no experimento era utilizada faísca e se ocorria visualmente à carbonização do tecido.

6.6.9 Comprovação do método

Para a análise e comprovação da metodologia criada foi realizado o experimento piloto 1, com o ensaio 1 e 2 (Anexo 1). O experimento foi feito de acordo com a seguinte sequência:

1. Era ligado o circuito simulador de sinal eletrocirúrgico dez minutos antes do início dos experimentos;
2. Durante esse tempo, era feita a limpeza do material, lavando a placa com água fria e sabão neutro, limpando a ponta do eletrodo com escova de aço. A secagem era feita com papel toalha.
3. Era calibrada a balança de precisão;
4. Era realizado o corte dos tecidos, o chuchu, no caso do experimento piloto;
5. Em t_0 , era iniciada a sequência do experimento, no segundo 3 era ligado o gerador de funções, no tempo 5 iniciava-se o corte, que no tempo de cinco segundos parava no tempo 10. No tempo 8 era feita a gravação do sinal no osciloscópio (*print*), e no tempo 12 era desligado o gerador de funções.

Eram anotados os dados da massa da placa, com e sem o tecido, a temperatura inicial do ambiente e a final (quando se encerravam os cortes), a diferença da balança de precisão (*off set*), se no experimento era utilizada faísca e/ou carbonização, o valor da impedância do cabo do bisturi elétrico, o corte realizado, e o tecido orgânico usado naquele experimento. Os dados obtidos no osciloscópio, durante a gravação do tempo 8, eram armazenados em memória *flash* e transferidos para o computador. Os dados realizados nos experimentos foram anotados em caderno de protocolo, numerado e encontram-se à disposição da comunidade científica e em forma tabular nos anexos deste trabalho.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram realizados três experimentos válidos e um experimento piloto. O experimento piloto teve dois ensaios válidos, que demonstraram a eficácia do método. Todos os dados dos experimentos puros e processados encontram-se nos Anexos 1, 2, 3 e 4. O arranjo da metodologia criada e aplicada é descrita no Capítulo 6, que apresenta a forma como foram criados e conduzidos os experimentos.

Para cada processo de queima dos tecidos orgânicos, foi feita a gravação das formas de onda e da corrente, pelo osciloscópio, para análise posterior. Os arquivos brutos, das gravações de tensão e corrente foram repassados para o grupo de

pesquisa em eletrocirurgia da UTFPR e foram analisados pelo doutorando André Luiz Regis Monteiro, que desenvolveu um sistema de medição de potência ativa (útil ou real) a partir desse tipo de sinal. A análise realizada foi baseada num novo método em vias de ser publicado, testado entre os membros do grupo de pesquisa, Flávio Dums, Bertoldo Schneider Jr, Elton Dias Jr e pelo André Luiz Regis Monteiro. Uma comparação com um método simples e aproximado de determinação da potência é feito adiante.

7.1 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

7.1.1 Experimento Piloto

O experimento piloto (Anexo 1) foi feito para verificação do método criado. Neste experimento foi utilizado um bisturi monopolar, uma placa eletrônica desenvolvida no laboratório para simular o sinal eletrocirúrgico. No experimento piloto foram realizados 2 ensaios.

7.1.1.1 Experimento Piloto, Ensaio 1

O ensaio 1 foi realizado com o tecido do chuchu, em corte longitudinal, com faísca, sem carbonização. A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 21,3° C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 21,3° C. Foram realizados 15 cortes, destes 8 foram com tempo de 5 segundos e 7 com tempo de 15 segundos. O Gráfico 2 apresenta os pontos medidos de massa durante o tempo de faiscância utilizado, a reta de ajuste do experimento, o coeficiente de determinação (R^2 , varia de 0 a 1), e a curva de decréscimo de massa. Todos os gráficos de dados processados dos experimentos possuem o valor inicial do tecido e depois os valores de corte, por isso o número de dados dos gráficos será sempre o n dos experimentos mais 1.

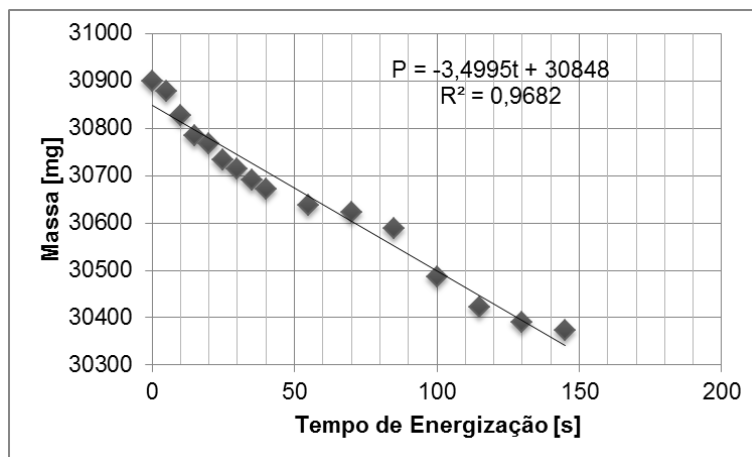


Gráfico 2: Dados processados do experimento piloto 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (Anexo 1);

Fonte: Autoria própria.

7.1.1.2 Experimento piloto, Ensaio 2

O ensaio 2, do experimento piloto, foi realizado com o chuchu, em corte longitudinal, com faísca, sem carbonização. A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 21,3° C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 21,3° C. Foram realizados 21 cortes, destes 16 foram com tempo de 5 segundos e 5 com tempo de 15 segundos. O Gráfico 3 apresenta os pontos medidos de massa durante o tempo de faiscância utilizado, a reta de ajuste do experimento e o coeficiente de determinação (R^2), e a curva de decréscimo de massa. O coeficiente de correlação é a raiz quadrada do coeficiente de determinação.

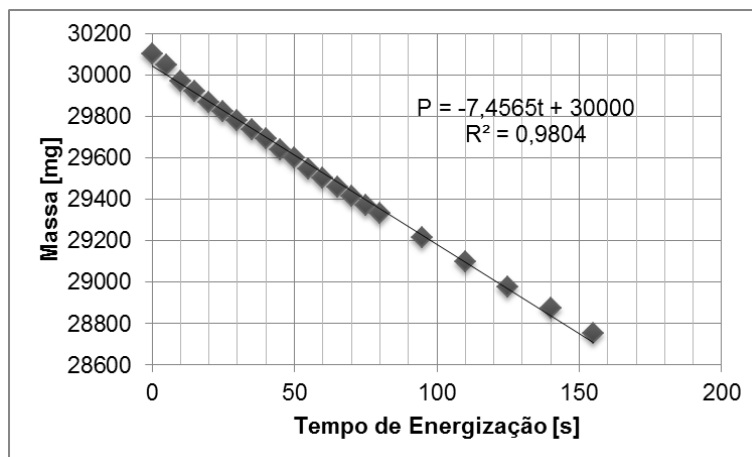


Gráfico 3: Dados processados do experimento piloto 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (Anexo 1);

Fonte: A autoria própria.

Depois de realizado o experimento piloto, foi observada uma forte correlação entre a massa e a energização do tecido, observou-se que o método respondia ao questionamento, e foram desenvolvidos três experimentos (1, 2 e 3) para coleta de dados, mantendo a velocidade do eletrodo ativo constante durante os experimentos, visando uma uniformidade maior. A Fotografia 5 mostra o resultado dos cortes feitos no chuchu durante o experimento piloto.



Fotografia 5: Corte feito em chuchu.

Fonte: A autoria própria.

7.1.2 EXPERIMENTO 1

No experimento 1 foram feitos 2 ensaios.

7.1.2.1 Experimento 1, ensaio 1

O experimento 1, ensaio 1 (Anexo 2), foi realizado com o tecido do chuchu, em corte longitudinal, com faísca, sem carbonização. A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 27,1° C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 27,1° C. Foram realizados 21 cortes, destes 15 foram com tempo de 5 segundos e 6 com tempo de 15 segundos. O Gráfico 4 apresenta os pontos medidos de massa durante o tempo de faiscância utilizado, a reta de regressão do experimento e o coeficiente de determinação (R^2), e a curva de decréscimo de massa, na verdade é uma reta, pois a regressão foi de 1 grau, i.e., houve ajuste para uma equação de reta. Neste caso o coeficiente de determinação foi de 0,98 aproximadamente, e o R, coeficiente de correlação, de 0,99. Isso significa que a variação de massa está 99% relacionada com a variável de tempo de energização, i.e., o decréscimo de massa está quase que totalmente associado à energia entregue pelo bisturi.

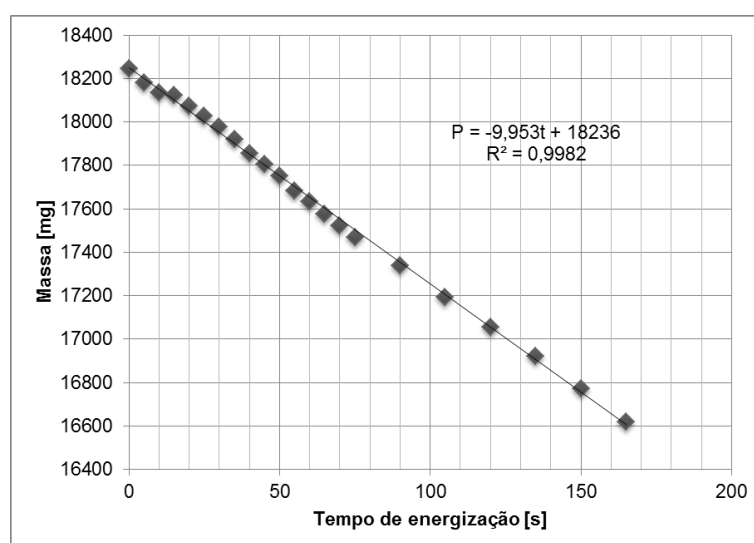


Gráfico 4: Dados processados do experimento 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 5 são apresentadas as formas de tensão e corrente do corte 10 (*print* 30), do experimento 1. Esses dados foram obtidos através do processo de gravação dos canais do osciloscópio, no instante do 8^o segundo.

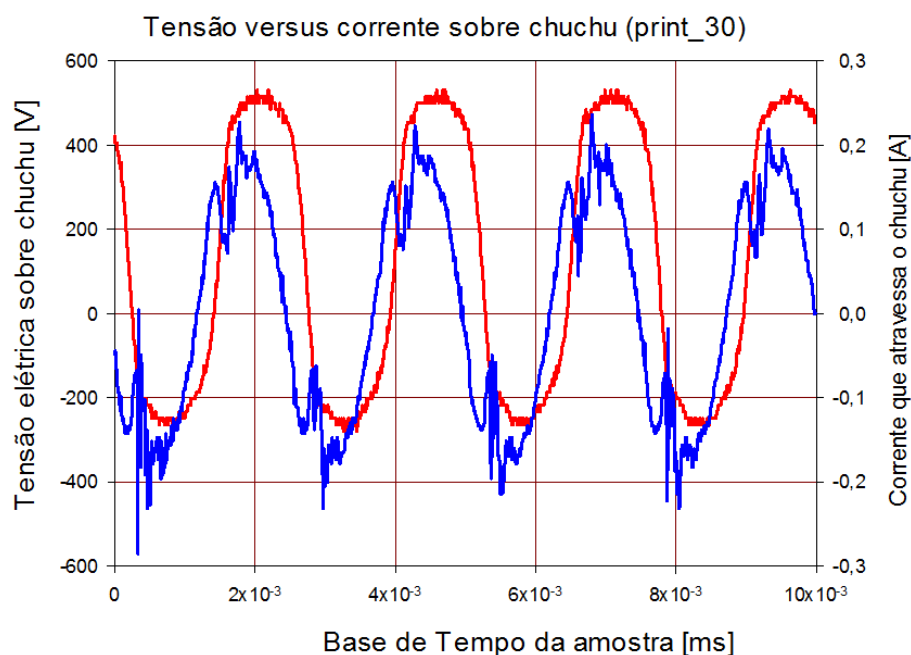


Gráfico 5: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 1, ensaio 1, corte 10, *off set* de tensão de aproximadamente 150 volts [V].

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 2 contém a solução das potências ativas (sinais), do experimento 1, ensaio 1. Estão descritas as gravações que foram realizadas com o osciloscópio (arquivo TXT do tipo. csv, ou “valores separados por vírgulas”, no caso, os dados do *print*), a potência ativa (sinais) no caso das gravações que foram mal sucedidas (falha humana ao pressionar o botão de gravação). Os erros foram descartados nas medidas das potências e estão anotados na coluna 3, não comprometendo o experimento. Os dados brutos que deram origem a esta tabela encontram-se no Anexo 2, experimento 1, ensaio 1.

Tabela 2: Potências ativas do experimento 1, ensaio 1, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome *print*, ver anexo 2.

Arquivo (TXT)	Potência (W)	Erro de Gravação
22	-13,629	SIM
23	30,4588	Não
24	30,536	Não
25	-13,7023	SIM
26	30,1528	Não
27	30,1721	Não
28	30,611	Não
29	29,9922	Não
30	30,3998	Não
31	30,1831	Não
32	30,3954	Não
33	30,0445	Não
34	30,0417	Não
35	29,1122	Não
36	29,5878	Não
37	29,5577	Não
38	-13,0895	SIM
39	28,9886	Não
40	28,9886	Não
41	29,9118	Não

Fonte: Autoria própria.

Resultados do experimento 1, ensaio 1:

A potência média utilizada nos experimentos é de 29,95 W. As formas de ondas típicas de tensão e corrente elétricas são mostradas na Figura 4. No Gráfico 4, pode-se perceber que foram vaporizadas 1,626 gramas de água. Considerando que na pressão atmosférica média de Curitiba a água entra em ebulição a 96 °C (SCHNEIDER, 1994) e que a temperatura do laboratório estava em 27,1 °C, à energia necessária para a realização desta vaporização é:

$$1,626 \text{ g} \times 4,19 \text{ J/g. } ^\circ\text{C} \times (96-27,1) = 469,411 \text{ J}$$

Como J é W.s, divide-se esta quantidade por 165 segundos, para obter uma potência de 2,84 W.

Este valor diz que para a ablação da água do tecido foram necessários somente 2,84 W dos 29,95 W liberados pelo bisturi, ou seja, 9,5% da energia entregue pelo bisturi são utilizados para o efeito da ablação. Este é um resultado surpreendente, pois gera as seguintes perguntas: Para onde vai toda a energia restante? E quais outros fenômenos relacionados com a eletrocirurgia que estão absorvendo energia?

7.1.2.2 Experimento 1, ensaio 2

O experimento 1, ensaio 2 (Anexo 2), foi realizado com o tecido do chuchu, em corte longitudinal, com faísca, sem carbonização. A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 27,1° C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 27,1° C. Foram realizados 9 cortes, com 20 segundos cada. O Gráfico 6 apresenta os pontos medidos de massa durante o tempo de faiscância utilizado, a reta de regressão linear do experimento e o coeficiente de determinação (R^2), e a curva de decréscimo de massa.

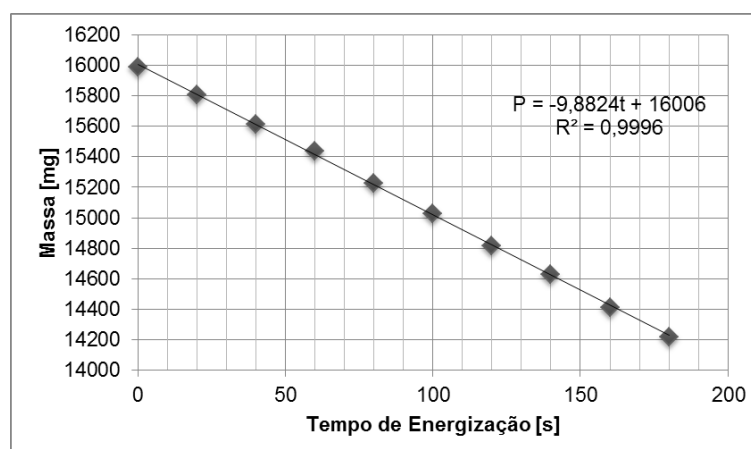


Gráfico 6: Dados processados do experimento 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 7 são apresentadas as formas de tensão e corrente do corte 3 (*print* 30), do experimento 1, ensaio 2.

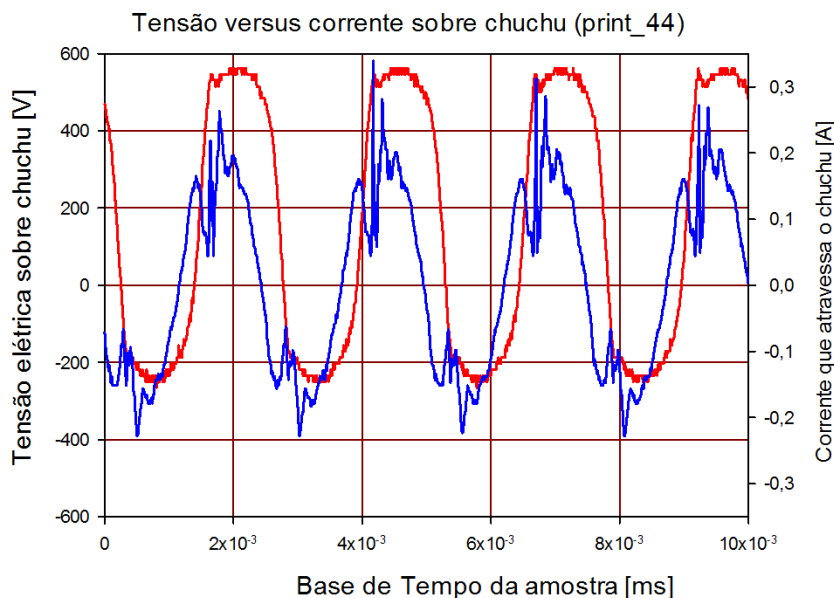


Gráfico 7: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 1, ensaio 2, corte 3 off set de tensão de aproximadamente 170 V.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 3 contém a solução das potências ativas (sinais), do experimento 1, ensaio 2.

Tabela 3: Potências ativas do experimento 1, ensaio 2, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome *print*.

Arquivo (TXT)	Potência (W)	Erro de Gravação
42	33,3843	Não
43	32,2237	Não
44	32,5801	Não
45	32,4586	Não
46	33,2691	Não
47	32,9587	Não
48	32,4757	Não
49	32,8965	Não
50	-0,0269	SIM

Fonte: Autoria própria.

Resultados do experimento 1, ensaio 2:

A média de potência utilizada nos experimentos é de 32,79 W (média dos valores válidos da Tabela 3). As formas de ondas típicas de tensão e corrente elétricas são as vistas no Gráfico 7. No Gráfico 6, pode-se perceber que foram vaporizadas 1,8 gramas de água. A temperatura do laboratório estava em 27,1 °C.

$$1,8 \text{ g} \times 4,19 \text{ J/(g. } ^\circ\text{C)} \times (96-27,1)^\circ\text{C} = 519,64 \text{ J}$$

Como J é W.s, divide-se esta quantidade pelo tempo do experimento, que foi de 180 segundos, para obter uma potência de 2,89 W.

Este valor demonstra que para a ablação da água do tecido foram necessários em média somente 2,89 W dos 29,95 W liberados pelo bisturi, ou seja, 8,8% da energia (ou potência) entregue pelo bisturi são utilizados para o efeito da ablação.

7.1.2. Experimento 2

No experimento 2, foi realizado somente 1 ensaio com o tecido do chuchu, em corte longitudinal, com faísca, sem carbonização (Anexo 3). A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 27,2° C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 27,2° C. Foram realizados 5 cortes, com tempo de 20 segundos cada. O Gráfico 8 apresenta os pontos medidos de massa durante o tempo de faiscância utilizado, a reta de ajuste do experimento e o coeficiente de determinação (R²).

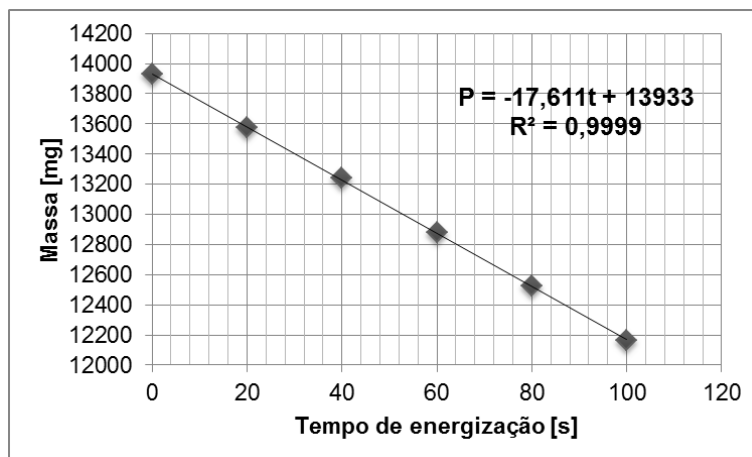


Gráfico 8: Dados processados do experimento 2, realizado com chuchu, com fâsca e sem carbonização (Anexo 3).

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 9 são apresentadas as formas de tensão e corrente do corte 2 (*print 52*), do experimento 2, com tempo de corte de 20 segundos.

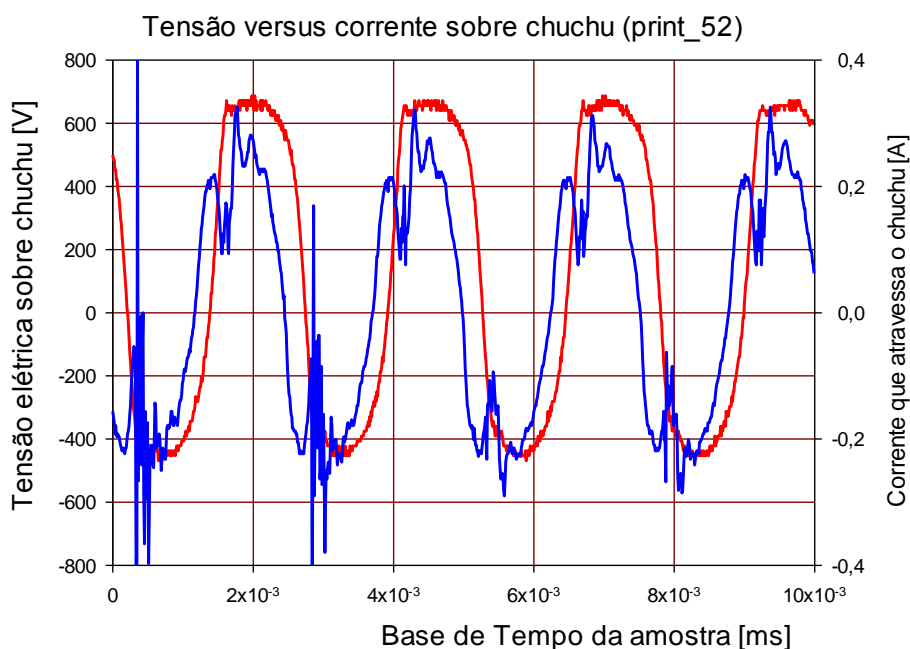


Gráfico 9: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 2, corte 2, *off set* de tensão de aproximadamente 125 V.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 4 contém a solução das potências ativas (sinais), do experimento 2.

Tabela 4: Potências ativas do experimento 2, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome *print*.

Arquivo (TXT)	Potência (W)	Erro de Gravação
51	63,9617	Não
52	64,2243	Não
53	61,4671	Não
54	63,1098	Não
55	60,459	Não

Fonte: Autoria própria.

Resultados do experimento 2:

A média de potência utilizada nos experimentos é de 62,64 W (média dos valores válidos da Tabela 4). As formas de ondas típicas de tensão e corrente elétricas são as vistas no Gráfico 8, pode-se perceber que foram vaporizadas 1,76 gramas de água. A temperatura do laboratório estava em 27,2 °C.

$$1,76 \text{ g} \times 4,19 \text{ J/(g. } ^\circ\text{C)} \times (96-27,2)^\circ\text{C} = 507,36 \text{ J}$$

Como J é W.s, divide-se esta quantidade pelo tempo do experimento, que foi de 100 segundos, para obter uma potência de 5,07 W.

Este valor diz que para a ablação da água do tecido foram necessários em média somente 5,07 W dos 62,64 W liberados pelo bisturi, ou seja, 8,09% da energia (ou potência) entregue pelo bisturi são utilizados para o efeito da ablação.

7.1.4 Experimento 3

O experimento 3 (Anexo 4) foi dividido em 2 ensaios, sendo que o primeiro foi subdividido em 1A e 1B, pois foram necessários dois cortes diferentes para a realização do ensaio. No 1A a massa inicial do tecido do porco com a placa foi de 94068 mg, e no 1B 90175 mg.

7.1.4.1 Experimento 3, Ensaio 1A

O experimento 3, ensaio 1A, foi realizado com o tecido da carne de porco, em corte longitudinal, com faísca, com carbonização. A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 27,3^o C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 27,3^o C. Foram realizados 5 cortes, com tempo de 5 segundos cada.

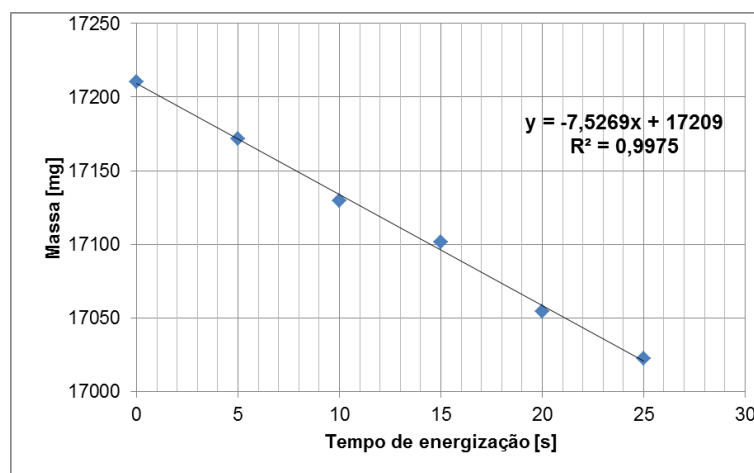


Gráfico 10: Dados processados do experimento 3, corte 1A, realizado com carne de porco, com faísca e com carbonização (Anexo 4).

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 11 são apresentadas as formas de tensão e corrente do corte 1A (*print* 56), do experimento 3, com tempo de corte de 5 segundos.

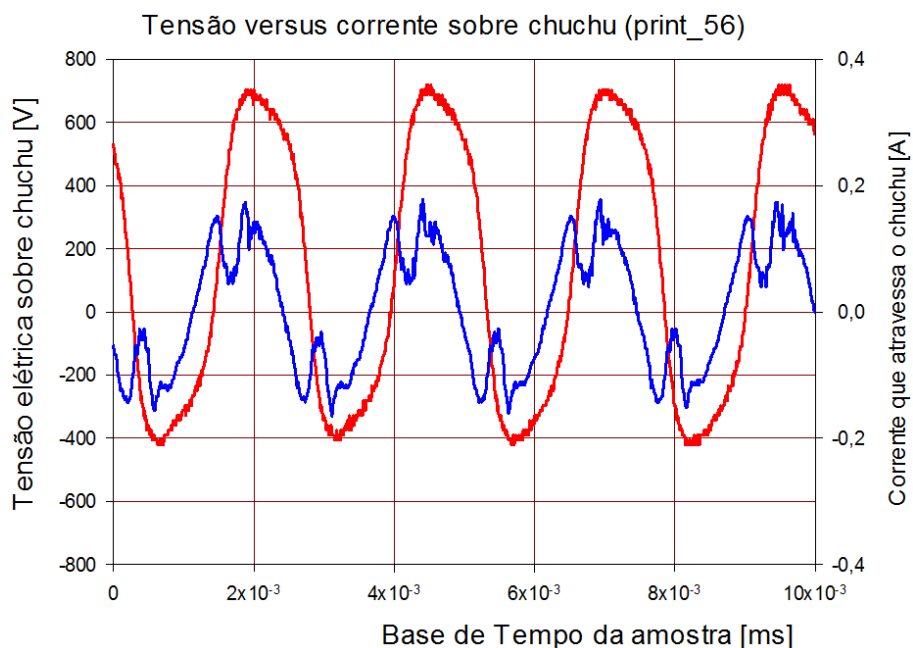


Gráfico 11: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 3, ensaio 1^a, off set de tensão de aproximadamente 150 V.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 5 contém a solução das potências ativas (sinais), do experimento 3 ensaio 1A. Estão descritas as gravações que foram realizadas com o osciloscópio (arquivo TXT, no caso, os dados do *print*), a potência ativa (sinais).

Tabela 5: Potências ativas do experimento 3, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome *print*.

Arquivo (TXT)	Potência (W)	Erro de Gravação
56	26,1715	Não
57	25,4618	Não
58	24,6677	Não
59	29,4167	Não

Fonte: Autoria própria.

Resultados do Experimento3, Ensaio 1A

A média de potência utilizada nos experimentos é de 26,43 W (média dos valores válidos da Tabela 5). As formas de ondas típicas de tensão e corrente elétricas são as vistas no Gráfico 11, pode-se perceber que foram vaporizadas 0,19 gramas de água. A temperatura do laboratório estava em 27,3 °C.

$$0,19 \text{ g} \times 4,19 \text{ J/(g. } ^\circ\text{C)} \times (96-27,3)^\circ\text{C} = 54,69 \text{ J}$$

Como J é W.s, divide-se esta quantidade pelo tempo do experimento, que foi de 25 segundos, para obter uma potência de 2,19 W.

Este valor diz que para a ablação da água do tecido foram necessários em média somente 2,19 W dos 26,43 W liberados pelo bisturi, ou seja, 8,29% da energia (ou potência) entregue pelo bisturi são utilizados para o efeito da ablação.

7.1.4.2 Experimento 3, Ensaio 1B

O experimento 3, ensaio 1B, foi realizado com o tecido do chuchu, em corte longitudinal, com faísca, com carbonização. A temperatura inicial no laboratório antes do início do experimento era de 27,1° C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do término do experimento foi de 27,1° C. Foram realizados 5 cortes, com tempo de 20 segundos cada (Gráfico 12).

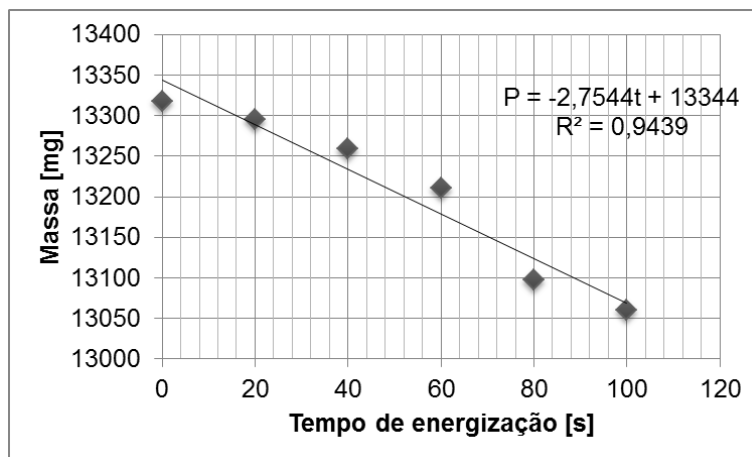


Gráfico 12: Dados processados do experimento 3, ensaio 1B, realizado com carne de porco, com faísca e com carbonização.

Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 13 são apresentadas as formas de tensão e corrente do corte 5B (*print 64*), do experimento 3, com tempo de corte de 20 segundos.

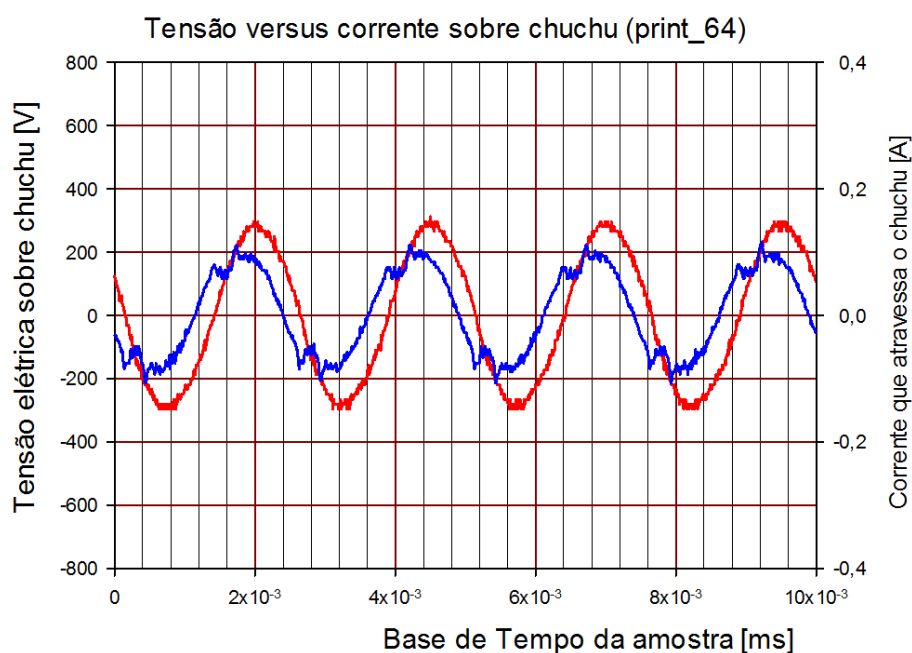


Gráfico 13: Tensão e corrente elétricas típicas sobre o chuchu. Gravadas no experimento 3, ensaio 1B, *off set* de tensão não observado.

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 6 contém a solução das potências ativas (sinais), do experimento 3 ensaio 1B. Estão descritas as gravações que foram realizadas com o osciloscópio (arquivo TXT, no caso, os dados do *print*), a potência ativa (sinais), no caso das gravações que foram mal sucedidas, estão anotados na coluna 3 o erro, que foi humano, e não compromete o experimento.

Tabela 6: Potências ativas do experimento 3, os arquivos (TXT) referem-se à gravação feita pelo osciloscópio, que foi dado o nome *print*.

Arquivo (TXT)	Potência (W)	Erro de Gravação
60	10,0373	Não
61	10,5439	Não
62	9,9545	Não
63	-0,0132	SIM
64	10,8177	Não

Fonte: Autoria própria.

Resultados do experimento 3, ensaio 1B

A média de potência utilizada nos experimentos é de 10,34 W (média dos valores válidos da tabela 6). As formas de ondas típicas de tensão e corrente elétricas são as vistas no Gráfico 13, pode-se perceber que foram vaporizadas 0,24 gramas de água. A temperatura do laboratório estava em 27,3 °C.

$$0,26 \text{ g} \times 4,19 \text{ J/(g. } ^\circ\text{C)} \times (96-27,3)^\circ\text{C} = 74,84 \text{ J}$$

Como J é W.s, divide-se esta quantidade pelo tempo do experimento, que foi de 100 segundos, para obter uma potência de 0,75 W.

Este valor diz que para a ablação da água do tecido foram necessários em média somente 0,75 W dos 10,34 W liberados pelo bisturi, ou seja, 7,25% da energia (ou potência) entregue pelo bisturi são utilizados para o efeito da ablação.

7.1.4.3 Experimento 3, Ensaio 2

O experimento 3, ensaio 2, foi realizado com carne de porco, em corte longitudinal, com fálscia, com carbonização. A temperatura inicial no laborat3rio antes do in3cio do experimento era de 27,3^o C e a temperatura final, medida cinco minutos depois do t3rmino do experimento foi de 27,3^o C. Foram realizados 5 cortes, com tempo de 20 segundos cada (Gráfico 14).

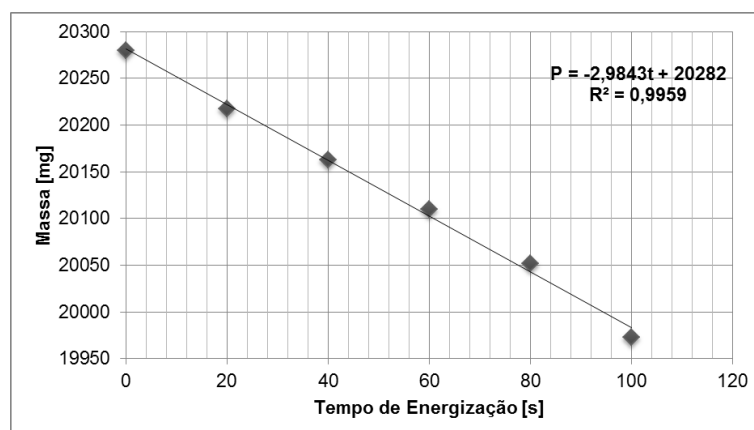


Gráfico 14: Dados processados do experimento 3, ensaio 2, realizado com carne de porco, com fálscia e com carboniza3o.

Fonte: Aatoria pr3pria.

A tabela 7 cont3m a solu3o das pot3ncias ativas (sinais), do experimento 3 ensaio 2.

Tabela 7: Pot3ncias ativas do experimento 3, ensaio 2, os arquivos (TXT) referem-se 3 gravaa3o feita pelo oscilosc3pio, que foi dado o nome *print*.

Arquivo (TXT)	Pot3ncia (W)	Erro de Grava3o
65	13,5011	N3o
66	11,9492	N3o
67	4,9226	N3o
68	9,638	N3o
69	11,328	N3o

Fonte: Aatoria pr3pria.

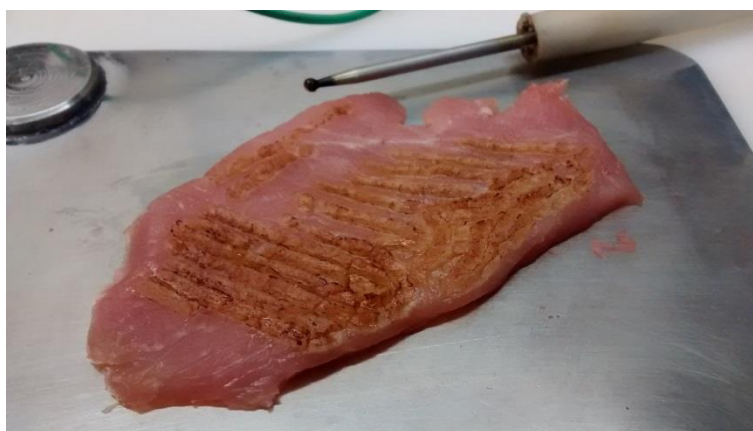
Resultados do experimento 3, ensaio 2

A média de potência utilizada nos experimentos é de 10,27 W (média dos valores válidos da tabela 7). No Gráfico 14 pode-se perceber que foram vaporizadas 0,31 gramas de água. A temperatura do laboratório estava em 27,3 °C.

$$0,31 \text{ g} \times 4,19 \text{ J/(g. } ^\circ\text{C)} \times (96-27,3)^\circ\text{C} = 89,23 \text{ J}$$

Como J é W.s, divide-se esta quantidade pelo tempo do experimento, que foi de 100 segundos, para obter uma potência de 0,89 W.

Este valor diz que para a ablação da água do tecido foram necessários em média somente 0,89 W dos 10,27 W liberados pelo bisturi, ou seja, 8,67% da energia (ou potência) entregue pelo bisturi são utilizados para o efeito da ablação. O experimento 3 foi realizado com tecido suíno (Fotografia 6).



Fotografia 6: Exemplo de corte em tecido suíno.

Fonte: Autoria própria.

7.2 DISCUSSÃO DOS EXPERIMENTOS

No experimento 3 (ensaio 1, corte 5B no anexo 4) nota-se que os sinais de corrente e tensão são tão aproximadamente senoidais (Gráfico 15), que pode-se através de uma análise simples, comparar o método utilizado. A Equação 1 da tensão ajustada no Gráfico 15 é:

$$V = 300 \cdot \cos(360^\circ \cdot f \cdot t + 68^\circ) \quad (1)$$

A Equação 2 da corrente ajustada no gráfico 15 é:

$$I = 0,09 \cdot \cos(360^\circ \cdot f \cdot t + 107^\circ) \quad (2)$$

Ambas, tensão e corrente, ajustadas podem ser vistas no Gráfico 15 em linhas tracejadas enquanto os pontos amostrados são mostrados no fundo da figura.

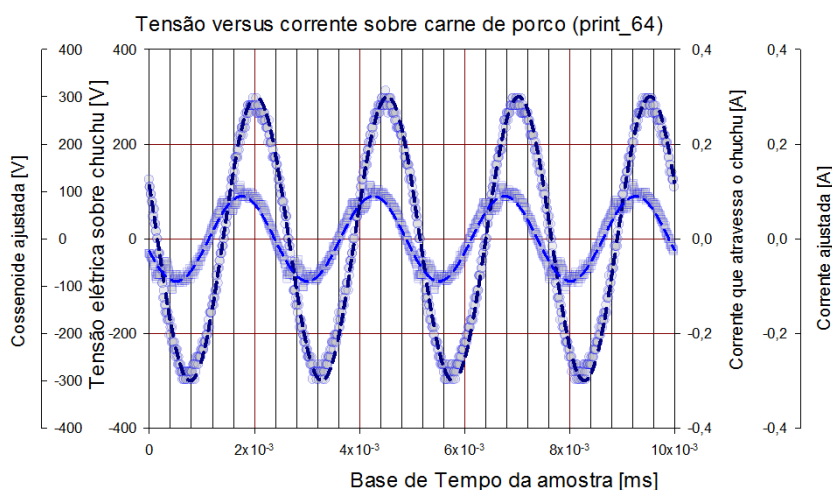


Gráfico 15: sinais de corrente e tensão aproximadamente senoidais, referente ao *print 64*, experimento 3, ensaio 1B, corte 5.

Fonte: Autoria própria.

Sabendo-se que a potência é o produto da tensão pela corrente, $P = V \cdot I$, e que a tensão e a corrente eficazes possuem os valores máximos (300 e 0,09 respectivamente) divididos por raiz de 2, para o caso senoidal, tem-se que o produto da tensão eficaz pela corrente eficaz $(300 \times 0,09/2) = 13,5$. Como existe defasagem entre corrente e tensão, este valor deve ser multiplicado pelo fator de potência, que é o cosseno da diferença entre os ângulos da tensão e da corrente, $\cos(68-107)$, que é igual a 0,7777 e $13,5 \times 0,7777 = 10,49$, valor muito próximo a 10,82, fornecido pelo processo de medição criado pelo grupo de pesquisa em eletrocirurgia da UTFPR, o que dá um respaldo mútuo às duas pesquisas.

A Figura 3 resume as potências ativas das várias amostras realizadas de tensões e correntes, contendo inclusive os registros com defeito, que não prejudicam o experimento, uma vez que ainda é possível perceber a média de potências para cada experimento.

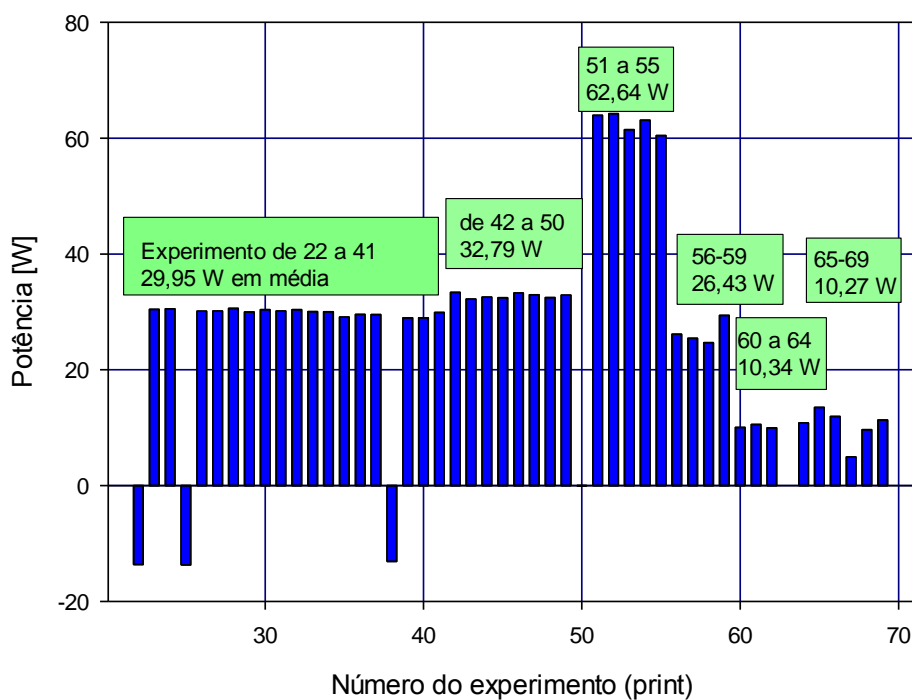


Figura 3: Potências de várias amostras realizadas, os pontos marcados representam erros durante o processo de gravação do dado (erro humano), os valores negativos se referem às amostras que foram gravadas de forma errada e foram desconsiderados na análise dos experimentos.

Fonte: Autoria própria.

8 CONCLUSÃO

A ablação é um fenômeno que envolve o uso de energia. Para a realização desse efeito é necessário o uso de equipamento eletrocirúrgico, no caso deste trabalho, o bisturi elétrico monopolar. O efeito do corte ocorre porque na ponta ativa do bisturi elétrico libera faíscas que aquecem o tecido. Com o aquecimento da água, presente nos meios intra e extracelular, acontece o rompimento da célula através da vaporização da água. Esse efeito diminui as chances de hemorragia aos pacientes, pois provoca a cauterização dos vasos durante a realização do corte.

Para análise deste efeito foi desenvolvida uma metodologia que respondesse à hipótese sugerida. A metodologia, como explicada no capítulo 6, foi testada em um experimento piloto, para correções e ajustes, e depois aplicada em três experimentos válidos, que utilizaram os tecidos do chuchu (*Sechium edule* SW) e da carne suína (*Sus domesticus*, Erxleben 1777), ambos homologados para testes em eletrocirurgia, por serem verossimilhantes ao tecido humano (SCHNEIDER, 2008; BOWMAN, CRAVALHO e WOODS, 2009).

A hipótese inicial sugeria “se for possível executar o corte em condições bem controladas, onde os sinais de tensão e corrente elétricas possam ser registrados, juntamente com o tempo do processo e a massa do material vaporizado eletrocirurgicamente, a quantidade de energia necessária para este processo pode ser determinada através de relações físicas.”

Através dos experimentos relatados (capítulo 6), conseguiu-se comprovar a hipótese sugerida. Todos os experimentos realizados, incluindo o experimento piloto, demonstraram que a energia necessária para a ablação dos tecidos era menor que 10% da energia liberada durante o processo, por exemplo, no experimento 3, ensaio 2, o bisturi elétrico liberou 10,27 W, mas o processo de ablação do tecido suíno utilizou 0,89 W para realizar o corte. A desconfiança inicial era de que fossem usadas seis vezes menos energia e descobriu-se que o valor real é de dez vezes menos.

Ambos os tecidos utilizaram uma quantidade de energia semelhante, Tabela 8, abaixo de 10 % da energia total liberada pelo bisturi elétrico. Para análise da diferença existente entre esses tecidos será necessária uma grande quantidade de testes, que o grupo de eletrocirurgia pretende realizar.

Tabela 8: Resultados obtidos em todos os experimentos realizados, vaporização da água, potência média usada pelo bisturi elétrico, ablação realizada no tecido e percentual de energia entregue pelo bisturi elétrico.

EXPERIMENTO (EX)	VAPORIZAÇÃO DA ÁGUA (g)	POTÊNCIA MÉDIA USADA PELO BISTURI ELÉTRICO (W)	ABLAÇÃO REALIZADA NO TECIDO ORGÂNICO (W)	PERCENTUAL DE ENERGIA ENTREGUE PELO BISTURI (%)	TECIDO
EX 1 – ENSAIO 1	1,626	29,95	2,84	9,5	Chuchu
EX 1 – ENSAIO 2	1,8	32,79	2,89	8,8	Chuchu
EX 2	1,76	62,64	5,07	8,09	Chuchu
EX 3 – ENSAIO 1A	0,19	26,43	2,19	8,29	Suíno
EX 3- ENSAIO 1B	0,24	10,34	0,75	7,25	Suíno
EX 3 – ENSAIO 2	0,31	10,27	0,89	8,67	Suíno

Fonte: Autoria própria.

Demonstrou-se neste trabalho que a parcela de potência (e também de energia) usada na ablação de tecido orgânico, para os casos de chuchu e carne suína está ligeiramente abaixo dos 10%. Esse resultado era desconhecido na literatura. Tendo este resultado em vista, e de que este trabalho foi realizado com esmerada metodologia nos experimentos, fundamentados em conhecimentos da física, biologia, e matemática. Não há dúvidas de que representa uma contribuição de valor para as áreas médica, biológica, física e outras relacionadas à engenharia biomédica.

Os resultados ainda levantam questões muito importantes como quais são os fenômenos que estão absorvendo o restante dessa energia. Possivelmente, SÃO o aquecimento do tecido, a ionização da água vaporizada (PALANKER, VANKOV e HUIE, 2008), o aquecimento do sítio eletrocirúrgico, a irradiação para o ambiente e possivelmente outros fenômenos desconhecidos.

É necessária a realização de trabalhos futuros para a verificação desses fenômenos, pois podem influenciar diretamente na qualidade do trabalho realizado pelo bisturi elétrico e também evitar possíveis riscos ao paciente. Uma pequena relação de trabalhos futuros pode ser resumida em:

- Determinação da energia utilizada para a ionização da água vaporizada no sítio eletrocirúrgico (sabe-se que a mesma deve ser ionizada para manter a faiscância, mas se desconhece os mecanismos e a parte quantitativa do fenômeno). Tal assunto está sendo estudado pelo doutorando Elton Dias, do grupo de eletrocirurgia da UTFPR.
- Determinação da potência em tempo *quasi*-instantâneo para uso de realimentação inteligente em equipamentos eletrocirúrgicos (estudado pelos doutorandos André Monteiro e Flávio Dums, do grupo de eletrocirurgia da UTFPR).
- Determinação de um experimento para medir a energia de aquecimento do eletrodo.
- Determinação física do fenômeno de aquecimento das várias partes do sítio eletrocirúrgico.
- Determinação da parcela de energia irradiada do sítio eletrocirúrgico.

Esses fenômenos estão sendo analisados pelo grupo de eletrocirurgia da UTFPR para responder esses questionamentos e buscar soluções, visando sempre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia, aliado a busca pela melhoria da qualidade do trabalho e da vida.

A ciência deve atuar justamente em problemas como esses apontados anteriormente, que ainda carecem de ciência objetiva, visando melhorar a qualidade dos equipamentos eletrocirúrgicos, que são usados no mundo inteiro, e, muitas vezes, sem o devido conhecimento técnico.

9 REFERÊNCIAS

AFONSO, C. T., SILVA, A. L., FABRINI, D. S., AFONSO, C. T., CÔRTEZ, M. G. W. E SANT'ANNA, L. L. Risco do uso do eletrocautério em pacientes portadores de adornos metálicos. **ABCD - Arquivo Brasileiro Cirurgia Digital** Vol.23, p. 183-186, 2010. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-67202010000300010>>, Acesso em 10/10/2014.

ALMEIDA, C. E. D. DE, CURI, E. F., BREZINSCKI, R. E FREITAS, R. C. Incêndio no Centro Cirúrgico. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 62, n. 3, p.435- 438, 2012. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-70942012000300015> Acesso em 15/08/2014.

BARTKOWIAK, R. A. **Circuitos elétricos**. Tradução Moema Sant'Anna Belo; revisão técnica Antônio Pertence Júnior. São Paulo: Makron Books, 1994.

BERNARDI, R. **Desenvolvimento de um equipamento para estudo de eletrocirurgia com controle de potência ativa**. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, UTFPR, Paraná, Curitiba, 2008.

BOWMAN, H.F., CRAVALHO, E.G. e WOODS, M. Theory, measurement, and application of thermal properties of biomaterials. **Annu. Ver. Biophys. Bioeng.** V4: 43-80, 1975.

BRITO, M. DE F. P. **Eletrocirurgia: evidências para o cuidado de enfermagem**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

BRITO, M. F. P. e GALVÃO, C. M. Os cuidados de enfermagem no uso da eletrocirurgia. **Revista Gaúcha de Enfermagem**. v. 30, n. 2, 319- 327. Porto Alegre, 2009. Disponível em:< <http://seer.ufrgs.br/RevistaGauchadeEnfermagem/article/view/5733>> Acesso em 10/09/2014.

CABRAL, L. A. L. **Avaliação de acidentes com bisturi elétrico no centro cirúrgico de um estabelecimento assistencial de saúde pública no município de Fortaleza** (Monografia de Graduação). Escola de saúde pública do Ceará. Ceará, Fortaleza, 2008.

CAPUANO, F. G. e MARINO, A. M. **Laboratório de eletricidade e eletrônica**. 24ª edição. São Paulo: Érica, 2007.

DIAS JR., E. **Caracterização da Deflagração da Descarga Eletrocirurgica**. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, UTFPR, Paraná, Curitiba, 2009.

FREITAS, R.A. JR. **Nanomedicine**. 2006. Disponível em:< <http://www.foresight.org/Nanomedicine/index.html>> Acesso em 13/12/2014.

GOMIDE, L.C, SANTOS, C. E. R., PEREIRA, C. J., CARVALHO, L. C. C., QUEIROZ, S. A. S., LUCIANO, R. C., PEREIRA, D. B. E. e LEOCÁDIO, L. P. Queimadura de terceiro grau na região da placa eletrocirúrgica durante artroscopia de ombro: relato DE caso. **Rev. Bras. Ortop.**, v. 46, n. 1, p. 91-3, 2011.

GUSSOW, M. **Eletricidade básica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985.

HINRICHS, R.A. e KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo: Thomson, 2004.

MACIEL, J. C. C. e RODRIGUES, C. L. P. **Riscos de choques elétricos em equipamentos eletromédicos**. ENEGEP, Anais de congresso em CD ROM. Sem citação de página, 1998. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART375.pdf. Acesso em 10/11/2014 às 18:31 horas.

MELO, M. A. C. Eletrocirurgia na Videolaparoscopia -Riscos e Aspectos Éticos. **Revista brasileira de videocirurgia**. 226-232. 2005.

PALANKER, D. V., VANKOV, A. e HUIE, P. Electrosurgery With Cellular Precision. **IEEE transactions on biomedical engineering**. v. 55, n. 2. 2008.

PICCOLI, M. BERTÉ, S. G., CARVALHO, A. R. S., ALVES, D. C. I. e SILVA E G.G. DA. Risco de lesão na utilização da unidade de eletrocirurgia no período trans-operatório1. **Anais do seminário nacional estado e políticas sociais no Brasil**. Cascavel, 2005. Sem número de página. Disponível em: <http://cac.php.unioeste.br/projetos/gpps/midia/seminario2/poster/saude/psau44.pdf>. Acesso em 20/10/2014.

RIBEIRO, G. H. F. P. **Utilização do bisturi harmônico em mastectomias radicais para câncer de mama com comparação com o bisturi elétrico convencional**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Faculdade de Medicina, 2009.

RIBEIRO, L. A. M. **Física**: volume único / Antônio Máximo Ribeiro da Luz, Beatriz Alvarenga. São Paulo: Scipione, 2007.

SCHNEIDER JR, B. e ABATTI, P. J. Electrical characteristics of the sparks produced by electrosurgical devices. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 55, p. 589-593, 2008.

SCHNEIDER JR, B. **Sistema de medição de Temperatura, utilizando um novo método de sensoriamento por circuitos em ponte e uma nova técnica de comunicação por sobreacoplamento magnético, aplicáveis em Biotelemetria**. Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, UTFPR, Paraná, Curitiba, 1994.

SCHNEIDER JR., B. (2005). **Estudo Teórico-prático de Parâmetros Técnicos e Fisiológicos Utilizados em Eletrocirurgia, Visando a Otimização do Desenvolvimento e Performance de um Bisturi Eletrônico**. Tese de Doutorado.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da UTFPR. Paraná, Curitiba, 2005.

SCHNEIDER JR., B.; BERNARDI, R. e ABATTI, P. J. A Faísca Eletrocirúrgica como causa da Eletroestimulação e da Queimadura DC. **IV Latin American Congress on Biomedical Engineering**. Margarita Island. v. 18. p. 881-885, 2007.

SCHNEIDER JR., B.; DIAS JR., e. ; ABATTI, P. J. How can Electrosurgical Sparks generate Undesirable Effects?. **IEEE**. Latin America Symposium on Circuits and Systems. Foz do Iguaçu. v. 1. 112-115, 2010.

TOMASI, D. LI. **Eletrocirurgia virtual baseada em física**. Graduação em Ciência da Computação da UFRGS. Porto Alegre, 2013.

TRINDADE, M. R. M.; GRAZZIOTIN, R. U. e GRAZZIOTIN, R. U. Eletrocirurgia: sistemas mono e bipolar em cirurgia videolaparoscópica. **Acta Cir. Bras.**, São Paulo, v. 13, n. 3, ju, p. 194-203. 1998. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/37982?locale=pt_BR>. Acesso em 21 nov. 2014.

VASCONCELOS, B. C. E., FROTA, R. PEREIRA, J. R. D., FREITAS, H. M. SANTOS e L. K. M. O uso da eletrocirurgia em procedimentos bucais. **Revista de cirurgia e traumatologia buco-maxilo-facial**. v.3, n.3. p. 35-42. 2003. Disponível em:<<http://www.revistacirurgiabmf.com/2003/v3n3/V3N3-artigo%205.pdf>> Acesso em 08/10/2014.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabela 9: Dados puros do experimento piloto (EP), ensaio 1 e 2, realizados com chuchu, com fásca e sem carbonização.

Continua

Ensaio 1 – EP – CORTE	Valor	Print	Tempo	Experimento piloto 1
1	107965	Erro	5	Massa da Placa: 77080 Massa da Placa com chuchu: 107987 Temperatura inicial: 21,3 °C Temperatura final: 21,3 °C Experimento com Fásca Off set: 7,7
2	107915	6	5	
3	107872	7	5	
4	107856	8	5	
5	107820	9	5	
6	107801	10	5	
7	107779	11	5	
8	107760	12	5	
9	107725	13	15	
10	107710	14	15	
11	107677	15	15	
12	107573	18	15	
13	107510	19	15	
14	107479	20	15	
15	107460	Erro	15	
Ensaio piloto 2 – CORTE	Valor	Print	Tempo	Experimento piloto 2
1	107136	21	5	Massa da placa: 77080 Massa da placa com chuchu: 107187 Temperatura inicial: 21,3 °C Temperatura final: 21,3 °C Off set: 7,7 Experimento com fásca
2	107058	22	5	
3	107007 (erro)	23	5	
4	106957	24	5	
5	106911	25	5	
6	106870	26	5	
7	106822	27	5	
8	106778	28	5	
9	106726	29	5	
10	106688	30	5	
11	106633	31	5	
12	106588	32	5	
13	106546	33	5	
14	106503	34	5	
15	106461	35	5	
16	106422	36	5	
17	106303	37	15	
18	106186	38	15	

19	106066	39	15
20	105960	40	15
21	105840	41	15

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10: dados processados do experimento piloto (EP) ensaio 1.

Ensaio 1 – EP – CORTES	Valor inicial	Tempo	Massa	Experimento 1 (EX1) – Ensaio 1
1	107987	0	30899,3	Material: Chuchu Massa da Placa com chuchu: 107987 Temperatura inicial: 21,3 °C Temperatura final: 21,3 °C Experimento com Faísca Off set: 7,7
2	107965	5	30877,3	
3	107915	10	30827,3	
4	107872	15	30784,3	
5	107856	20	30768,3	
6	107820	25	30732,3	
7	107801	30	30713,3	
8	107779	35	30691,3	
9	107760	40	30672,3	
10	107725	55	30637,3	
11	107710	70	30622,3	
12	107677	85	30589,3	
13	107573	100	30485,3	
14	107510	115	30422,3	
15	107479	130	30391,3	
16	107460	145	30372,3	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11: dados processados do experimento piloto, ensaio 2.

Continua

Ensaio 2 – EP – CORTES	Valor inicial	Tempo	Massa	Experimento piloto 2 – Ensaio 2
0	107187	0	30099,3	Massa da placa: 77080 Massa da placa com chuchu: 107187 Temperatura inicial: 21,3 °C Temperatura final: 21,3 °C Off set: 7,7 Experimento com faísca
1	107136	5	30048,3	
2	107058	10	29970,3	
3	107007	15	29919,3	
4	106957	20	29869,3	
5	106911	25	29823,3	
6	106870	30	29782,3	

7	106822	35	29734,3
8	106778	40	29690,3
9	106726	45	29638,3
10	106688	50	29600,3
11	106633	55	29545,3
12	106588	60	29500,3
13	106546	65	29458,3
14	106503	70	29415,3
15	106461	75	29373,3
16	106422	80	29334,3
17	106303	95	29215,3
18	106186	110	29098,3
19	106066	125	28978,3
20	105960	140	28872,3
21	105840	155	28752,3

Fonte: Autoria própria.

ANEXO 2

Tabela 12: Dados puros do experimento 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com fásca e sem carbonização (valor inicial: massa da placa e do chuchu juntos).

Ensaio 1 - EX1	Valor Inicial	Print	Tempo	Offset	Experimento 1 (EX1) – Ensaio 1
CORTES					
1	95037	ERRO	5	10,6	Material: Chuchu Temperatura inicial: 27,1 °C Temperatura final: 27,1 °C Com fásca Sem carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com o chuchu: 95102 Corte longitudinal
2	94992	23	5	12,3	
3	94979	ERRO	5	11,6	
4	94930	24	5	11,2	
5	94883	25	5	11	
6	93835	26	5	10,5	
7	94777	27	5	11,8	
8	94713	28	5	11,4	
9	94663	29	5	11,5	
10	94608	30	5	10,1	
11	94539	31	5	12	
12	94490	32	5	11,2	
13	94434	33	5	11,7	
14	94379	34	5	10,9	
15	94327	35	5	10,5	
16	94195	36	15	10,9	
17	94051	37	15	11,8	
18	93914	38	15	11,9	
19	93778	39	15	11,6	
20	93629	40	15	11,3	
21	93476	41	15	9,1	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13: Dados processados do experimento 1, ensaio 1, realizado com chuchu, com fâisca e sem carbonização.

Ensaio 1 - EX1 CORTES	Valor Inicial	Tempo	Massa do Chuchu	Experimento 1 (EX1) – Ensaio 1
1	95037	5	18168,6	Material: Chuchu Temperatura inicial: 27,1 °C Temperatura final: 27,1 °C Com fâisca Sem carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com o chuchu: 95102 Corte longitudinal
2	94992	10	18121,9	
3	94979	15	18109,6	
4	94930	20	18061	
5	94883	25	18014,2	
6	94835	30	17966,7	
7	94777	35	17907,4	
8	94713	40	17843,8	
9	94663	45	17793,7	
10	94608	50	17740,1	
11	94539	55	17669,2	
12	94490	60	17621	
13	94434	65	17564,5	
14	94379	70	17510,3	
15	94327	75	17458,7	
16	94195	90	17326,3	
17	94051	105	17181,4	
18	93914	120	17044,3	
19	93778	135	16908,6	
20	93629	150	16759,9	
21	93476	165	16609,1	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14: Dados puros do experimento 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com fâisca e sem carbonização (valor inicial: massa da placa e do chuchu juntos).

Continua

Ensaio 2 - EX1 CORTES	Valor	Print	Tempo	Off Set	Experimento 1 (EX1) - Ensaio 2
1	92673	42	20	11,9	Material: Chuchu Temperatura inicial: 27,1 °C Temperatura final: 27,1 °C Com fâisca Sem carbonização Massa da Placa: 76857,8
2	92481	43	20	11,2	
3	92306	44	20	10,8	
4	92095	45	20	11,3	
5	91894	46	20	10,7	
6	91687	47	20	10,9	

7	91495	48	20	11,2	Massa da placa com o chuchu: 92844 Corte longitudinal
8	91282	49	20	11,2	
9	91088	50 - erro	20	9,8	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15: Dados processados do experimento 1, ensaio 2, realizado com chuchu, com faísca e sem carbonização (valor inicial: massa da placa e do chuchu juntos).

Ensaio 2 EX1 CORTES	Valor	Tempo	Massa	Experimento 1 (EX1) - Ensaio 2
0	92844	0	15986	Material: Chuchu Temperatura inicial: 27,1 °C Temperatura final: 27,1 °C Com faísca Sem carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com o chuchu: 92844 Corte longitudinal
1	92673	20	15803	
2	92481	40	15612	
3	92306	60	15437	
4	92095	80	15226	
5	91894	100	15026	
6	91687	120	14818	
7	91495	140	14626	
8	91282	160	14413	
Tes9te 291	91088	180	14220	

Fonte: Autoria própria.

ANEXO 3

Tabela 16: Dados puros do experimento 2, ensaio 1, realizados com o Chuchu sem carbonização e com faíscas.

Ensaio 2 - EX2 CORTES	Valor	Print	Tempo	Off Set	Experimento 2 (EX2) - Ensaio 2
1	90446	51	20	10,7	Material: Chuchu Temperatura inicial: 27,2 °C Temperatura final: 27,2 °C Com faísca Sem carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com o chuchu: 90785 Corte longitudinal Maior energia aplicada pelo gerador de funções
2	90110	52	20	11,3	
3	89745	53	20	10,8	
4	89394	54	20	11,2	
5	89035	55	20	11,2	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17: Dados processados do experimento 2, ensaio 1, realizados com o Chuchu sem carbonização e com faíscas.

Ensaio 2 - EX2 CORTES	Valor inicial	Tempo	Massa chuchu	Experimento 2 (EX2) - Ensaio 2
0	90785	0	13927,2	Material: Chuchu Temperatura inicial: 27,2 °C Temperatura final: 27,2 °C Com faísca Sem carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com o chuchu: 90785 Corte longitudinal Maior energia aplicada pelo gerador de funções
1	90446	20	13577,5	
2	90110	40	13240,9	
3	89745	60	12876,4	
4	89394	80	12525	
5	89035	100	12166	

Fonte: Autoria própria.

ANEXO 4

Tabela 18: Dados puros, experimento 3, ensaio 1A, 1B e 2, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.

Ensaio 1 – EX3					Experimento 3 (EX3) - Ensaio 1A e B
CORTES	Valor	Print	Tempo	Off Set	
1A	94040	56	5	10,7	Material: Carne de porco Temperatura inicial: 27,3 °C Temperatura final: 27,3 °C Com faísca Com carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com a carne de porco: 94068 (1A); Massa da placa com a carne de porco 90175 (1B) Corte longitudinal
2A	93988	57	5	0,4	
3A	93958	58	5	-1,3	
4A	93912	59	5	-0,5	
5A	93880	Não gravado	5	-0,3	
1B	90153	60	20	-0,3	
2B	90116	61	20	-0,6	
3B	90068	62	20	-0,6	
4B	89955	63 - erro	20	-0,6	
5B	89917	64	20	-0,6	

Ensaio 2 – EX3					Experimento 3 (EX3) - Ensaio 2
CORTES	Valor	Print	Tempo	Off Set	
1	97075	65	20	-0,4	Material: Carne de porco Temperatura inicial: 27,3 °C Temperatura final: 27,3 °C Com faísca Com carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com a carne de porco: 97138 Corte longitudinal
2	97020	66	20	-0,4	
3	96967	67	20	-0,4	
4	96909	68	20	-0,4	
5	96830	69	20	-0,4	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19: Dados processados, experimento 3, Ensaio 1A, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.

Ensaio 1 EX3 CORTES	Valor inicial	Tempo	Massa carne	Experimento 3 (EX3) - Ensaio 1ª
0	94068	0	17210,2	Material: Carne de porco Temperatura inicial: 27,3 °C Temperatura final: 27,3 °C Com faísca Com carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com a carne de porco: 94068 Corte longitudinal
1A	94040	5	17171,5	
2A	93988	10	17129,8	
3A	93958	15	17101,5	
4A	93912	20	17054,7	
5A	93880	25	17022,5	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 20: Dados processados, experimento 3, ensaio 1B, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.

Ensaio 1B - EX3 CORTES	Valor inicial	Tempo	Massa carne	Experimento 3 (EX3) – Ensaio 1B
1B	90153	20	13295,5	Material: Carne de porco Temperatura inicial: 27,3 °C Temperatura final: 27,3 °C Com faísca Com carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com a carne de porco: 94068 Corte longitudinal
2B	90116	40	13258,8	
3B	90068	60	13210,8	
4B	89955	80	13097,8	
5B	89917	100	13059,8	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21: Dados processados, experimento 3, ensaio 2, realizados com carne de porco, com carbonização e com faíscas.

Ensaio 2 EX3 CORTES	Valor inicial	Tempo	Massa carne	Experimento 3 (EX3) - Ensaio 2
0	97138	0	20280,2	Material: Carne de porco Temperatura inicial: 27,3 °C Temperatura final: 27,3 °C Com faísca Com carbonização Massa da Placa: 76857,8 Massa da placa com a carne de porco: 97138 Corte longitudinal
1	97075	20	20217,6	
2	97020	40	20162,6	
3	96967	60	20109,6	
4	96909	80	20051,6	
5	96830	100	19972,6	

Fonte: Autoria própria.