



Desenvolvimento de um Protótipo de LEDs de Alto Brilho Alimentados por Conversores Eletrônicos Utilizados na Cicatrização de Tecidos e Rejuvenescimento Celular

Development of a Prototype of High-Brightness Leds Powered by Electronic Converters For Use in Tissue Healing and Cellular Rejuvenation

Mauro Ceretta Moreira

URL *lattes*: <http://lattes.cnpq.br/3047735650329073>.

Edegar dos Reis Carvalho

URL *lattes*: <http://lattes.cnpq.br/1133590374656780>.

Vitória Maria Mendes

URL *Lattes*: <https://lattes.cnpq.br/4478564962402043>.

João Emiliano Helrighel Freitas

URL *lattes*: <http://lattes.cnpq.br/6629305422586875>.

Gabrieli Felipon DieI

URL *lattes*: <http://lattes.cnpq.br/2209004453397055>.

Resumo: A LED Terapia é uma ciência que utiliza a ação de luzes aplicada a vários tipos de tecidos orgânicos, tais como pele, músculos e ossos, pode-se utilizar LEDs e LASER. Projeto será desenvolvido um protótipo para ser utilizado futuramente em seres humanos, para auxiliar na cicatrização tecidual e no rejuvenescimento celular é dirigido para o tipo de luzes que são emitidas por LEDs de alto brilho, com aplicação das cores, sua ação e a interação junto ao tecido que se deseja aplicar a também os conversores eletrônicos que apresentam melhor resposta de controle de corrente e potência de saída para uma melhor resposta terapêutica através LEDs. A interface do arranjo de LEDs alimentados por conversores eletrônicos aplicado no paciente é grande importância para este estudo, para que se obtenha tratamento. A proposta deste projeto é desenvolver um protótipo para este tipo de terapia.

Palavras-chave: LED terapia; conversores eletrônicos; LEDs de alto brilho; interface.

Abstract: LED therapy is a field that uses the action of light applied to various types of organic tissues, such as skin, muscles, and bones, both LEDs and lasers can be used. In this project, a prototype will be developed for future use in humans, aiming to assist in tissue healing and cellular rejuvenation. The study focuses on the types of light emitted by high-brightness LEDs, including their colors, effects, and interaction with the target tissue. It also addresses electronic converters that provide improved control of current and output power, enabling a more effective therapeutic response through LEDs. The interface of the LED array powered by electronic converters, as applied to the patient, is of great importance for this study in order to achieve effective treatment. The proposal of this project is to develop a prototype for this type of therapy.

Keywords: LED therapy; electronic converters; high-brightness LEDs; interface.

INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento de diodos emissores de luz (LEDs) de alto brilho torna viável o uso de LEDs, entre outras fontes de luz (como laser, luz intensa pulsada e outras fontes de sistemas incoerentes de luz, para tratamento médico e fototerápico. Este capítulo fornece uma visão geral da aplicação do LED na saúde humana e os resultados na cura e rejuvenescimento celular (Moreira; Prado; Campos, 2011).

A técnica de LEDs utilizada nos tratamentos teciduais é chamada de LED Terapia e a partir de agora iremos tratá-la desta forma. Com a utilização de conversores eletrônicos que alimentam os LEDs de alto brilho é possível controlar a composição espectral, permitindo obter os comprimentos de onda desejados para aplicação no tecido humano para obter eficácia em fototerapia. LEDs de alto brilho pode ser facilmente integrados em sistemas de controle digital com a finalidade de fornecer uma variação na composição espectral ao longo de uma etapa de tratamento de fototerapia. As cores emitidas pelos LEDs de alto brilho operam de forma diferente, ou seja, dependendo de qual camada do tecido humano será aplicada à luz emitida por esses dispositivos e qual tipo de doença irá combater. Na pele, a luz vermelha tem ação restauradora, cicatrizante e analgésica, enquanto a azul tem ação bactericida. A intensidade dos feixes de luz emitidos pelos LEDs na pele é menor, pois suas células mantêm uma boa interação com a luz (Elder *et al.*, 2001). Os LEDs de alto brilho respondem de forma eficaz na aplicação terapêutica e podem ser utilizados uma variedade de conversores eletrônicos que controlam a corrente de saída, potência de saída, ciclo de trabalho e outros parâmetros que interferem diretamente na eficiência luminosa e comprimento de onda oferecendo resposta positiva em tratamentos de fototerapia.

A LED Terapia vem ganhando espaço a cada dia em diversas áreas, inclusive na medicina, odontologia, fisioterapia e estética (Moreira; Prado; Campos, 2009). A engenharia biomédica tem feito grandes avanços em suas pesquisas sobre a aplicação de LEDs no tratamento de lesões pré-malignas e malignas, no tratamento de rejuvenescimento e acne, lesões de pele, cicatrização de feridas e de em incisões pós-operatórias, auxiliando na recuperação psicológica do paciente. Na odontologia, o desenvolvimento de materiais fotopolimerizáveis modernos representa um grande avanço para a odontologia restauradora porque permitem excelente estética, facilidade no manuseio e controle do tempo clínico (Bala; Ölmez; Kalayci, 2005). Os avanços na medicina são animadores e as pesquisas na área crescem a cada dia, a intenção deste capítulo é apresentar um estudo e resultados na cura e no rejuvenescimento celular, através das ações das luzes emitidas por LEDs.

METODOLOGIA

A metodologia a ser aplicada é a construção dos conversores eletrônicos para gerarem energia aos arranjos de LEDs que serão montados e, posteriormente,

serem aplicados nos pacientes, respeitando qual tipo de luz e terapia de aplicação será realizada em função do tecido e lesão, comprimento de onda, distância entre o equipamento e a região a ser aplicada e o tempo de aplicação.

Será realizado um estudo inicial sobre o efeito das cores das luzes no ser humano, a penetração da luz gerada por LEDs em tecido humano, suas características e ações. Os tipos de conversores eletrônicos que são utilizados para alimentar os arranjos dos LEDs, a interface do sistema de aplicação da terapia com o paciente e as respostas obtidas nos tratamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa, são apresentadas todas as fases da terapia proposta. Apresentando seus resultados obtidos e o futuro da LED Terapia aplicada através da fotobioestimulação celular nos tecidos. A ação das luzes emitidas nos tecidos humanos está sendo foco de inúmeros estudos há muitos anos e, neste estudo, são apresentadas as fontes eletrônicas que alimentam os arranjos de LEDs que demonstraram melhor desempenho e eficácia. Os resultados atingidos são mostrados através das sessões aplicadas em pacientes que obtiveram sucesso utilizando a LED Terapia.

Ação da LED Terapia nos Tecidos Humanos

As aplicações dos LEDs na saúde começam a despertar muito interesse na comunidade científica devido às suas vantagens, baixo custo e longa vida útil destes dispositivos. A terapia com LEDs é conhecida por suas propriedades curativas e anti-inflamatórias e é usada principalmente na prática clínica como complemento de outros tratamentos, como tecnologias térmicas não ablativas (Moreira; Prado; Campos, 2011). Diferentes aplicações de LEDs podem agora ser subdivididas de acordo com o comprimento de onda ou combinação de comprimentos de onda utilizados, como mostra a Figura 5. A LED Terapia pode ser utilizada como um procedimento independente para muitas indicações, conforme será descrito aqui. Ao revisar a literatura, é preciso ter em mente que os resultados de diferentes estudos podem ser difíceis de comparar porque os efeitos potenciais da variação dos parâmetros de tratamento (por exemplo, comprimento de onda, fluência, densidade de potência, modo pulso/contínuo e tempo de tratamento) podem variar de um estudo para outro. Além disso, existe a possibilidade de que os efeitos fotobiomoduladores sejam diferentes entre diferentes linhas celulares, espécies e tipos de pacientes.

Penetração da luz nos tecidos humanos gerados por arranjos de LEDs

O processo de refração e reflexão é intenso em substratos orgânicos. Este processo é responsável pela dispersão da luz conforme mostra a Figura 5. Uma avaliação detalhada deste processo é muito peculiar, pois a composição dos substratos varia de pessoa para pessoa. Apesar da elevada propagação, o grau

de penetração é considerável, com aproximadamente 50% de toda a radiação incidente atingindo os substratos imediatamente abaixo da pele (HTM Indústria de Equipamentos Eletro-Eletrônicos Ltda, 2007). Ao submeter a pele à luz LED na emissão vermelha (luz visível) ou infravermelha próxima (Arsenieto de Gálio), uma pequena porção é absorvida pela derme e epiderme. Isso se deve à presença dessas camadas de fotorreceptores. Como exemplo de fotorreceptores presentes nessas camadas, podemos citar os aminoácidos, a melanina e outros tipos de ácidos. Normalmente cada tipo de fotorreceptor é sensível a um comprimento de onda específico. Assim, a luz pode ser absorvida, dependendo da cor e do comprimento de onda, de forma seletiva ou não, dependendo da necessidade a que se aplica. Por exemplo, a luz vermelha, próxima do infravermelho, penetra facilmente no tecido porque não é bloqueada por sangue, água e fluídos como em outros comprimentos de onda (Moreira; Prado; Campos, 2011).

Comprimentos de onda inferiores a 630nm, como amarelo, azul e verde, são consideravelmente bloqueados pela hemoglobina no sangue, por isso não penetram profundamente. Pode-se verificar isso, por exemplo, como uma luz brilhante passando por seus dedos (o comprimento de onda em vermelho pode cruzar). Comprimentos de onda superiores a 900nm são bloqueados por lípidos da pele e tecidos conjuntivos. Muitos comprimentos de onda possíveis nesta faixa emitem uma grande quantidade de energia longe do infravermelho que não pode ser vista pelo olho humano, esse tipo de radiação também passa a produzir uma certa quantidade de calor ao interagir com a pele humana (Heelspurs, 2007).

Ação da Cor e Profundidade de Penetração no Tecido Humano

A cor azul está na faixa de 430 a 485nm. O verde está na faixa de 510 a 565nm. O amarelo está entre 570 a 590nm. O vermelho fica na faixa de 620nm a 700nm até o ponto que não fica mais visível, na faixa de 740nm. Algumas empresas que fabricam LEDs afirmam que a luz amarela ajuda a remover rugas. Existem também algumas pesquisas interessantes, que enfatizam que a aplicação da luz azul auxilia na eliminação de bactérias causadoras de algumas formas de acne. A fototerapia com luz azul de faixa estreita parece ser um tratamento seguro e uma terapia adicional eficaz para tratamento de acnes leves e moderadas. Alguns pesquisadores sugerem que a luz LED verde pode ajudar no combate ao câncer, mas essa cor não consegue penetrar mais do que a pele (Moreira; Prado; Campos, 2011). As Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram protótipos que emitem luz nas cores vermelha, azul, verde e âmbar.

Arranjo de LEDs emitindo luz vermelha

Estimula a regeneração do colágeno e da elastina, gerando atividade dos fibroblastos na pele (o aumento da atividade dos fibroblastos é responsável pela formação de colágeno e por uma tez mais firme e com aparência mais jovem). Também ajuda a aumentar o fluxo sanguíneo e de oxigênio para a pele e capilares, aumentando assim o metabolismo celular e fortalecendo as paredes capilares, é eficiente para tratamentos antienvhecimento pelos seus benefícios tensores. A

luz vermelha emitida pelos LEDs apresenta ótima resposta no tratamento para cicatrizes, pós-inflamatórias (cirurgias) e condições inflamatórias em todos os tipos de doenças da pele, acne, hiperpigmentação e rosácea.

Figura 1 – Arranjo de LEDs que emitem luz vermelha.



Fonte: A autoria própria (2015).

Arranjo de LEDs emitindo luz azul

É aprovado pelo FDA (Federal Drug Administration) dos Estados Unidos, para aplicação em acnes, pois destrói bactérias na pele e evita a formação de bactérias, reduzindo assim cicatrizes futuras, inspirando confiança na pele da pessoa, o que por sua vez proporciona uma autoestima saudável e um futuro mais brilhante. É muito útil na redução e eliminação de estrias e celulites.

Figura 2 – Arranjo de LEDs que emitem luz azul.

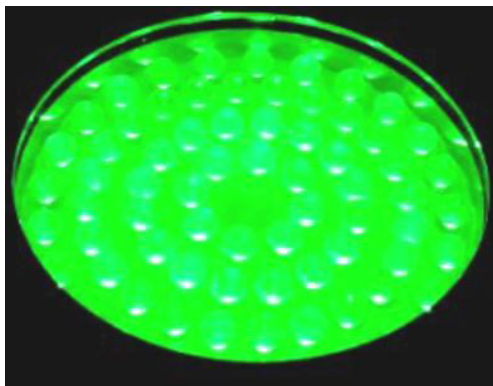


Fonte: A autoria própria (2015).

Arranjo de LEDs emitindo luz verde

Utiliza luz verde exclusiva de baixa intensidade para neutralizar os efeitos do envelhecimento, melhorar o metabolismo da pele, tratando o pigmento que é resultado do amplo espectro de absorção de melanina, lentigos solares (apresenta coloração castanho-claro, escura ou negra e surge em regiões do corpo mais expostas ao sol, como a face, o dorso das mãos e dos braços, colo e os ombros) e efélides (pigmentação e sardas), além de proporcionar um efeito hidratante geral. O tratamento com LEDs emitindo luz verde irá clarear manchas de hiperpigmentação na região do rosto e pescoço. A luz verde estimulará o crescimento celular permitindo que a pele repare a área afetada. Isso irá clarear a pele e aliviar manchas escuras na superfície da pele, deixando uma tez brilhante. Os participantes de vários testes da indústria relataram um efeito lifting e hidratante geral, uma melhora no tom e na textura da pele, uma uniformização da pigmentação, uma suavização da pele fina. linhas e rugas (adicionalmente auxilia na redução do aparecimento de cicatrizes).

Figura 3 – Arranjo de LEDs que emitem luz verde.



Fonte: Autoria própria (2015).

Arranjo de LEDs emitindo luz âmbar (laranja-amarelo)

A luz âmbar é usada no tratamento cosmético de queimaduras (como queimaduras solares) para reduzir o aparecimento de vermelhidão, inchaço e outras condições inflamatórias, como rosácea e eczema. A terapia com luz amarela também proporciona rejuvenescimento facial, auxiliando na redução do aparecimento de rugas e linhas finas. A fotomodulação LED, nesta frequência, tem sido utilizada isoladamente para o rejuvenescimento da pele em vários estudos. O uso dessa emissão de luz auxilia na redução do aparecimento de rugas e linhas finas.

Figura 4 – Arranjo de LEDs que emitem luz âmbar.

Fonte: Autoria própria (2015).

Importância do Comprimento de Onda na Aplicação Terapêutica

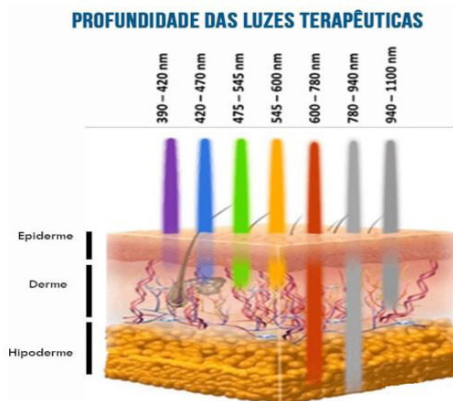
Há algumas evidências de que um comprimento de onda fornece melhor resposta biológica do que outro. Algumas pesquisas indicam que 620, 680, 760 e 820nm podem ser o comprimento de onda mais apropriado para tratamentos de saúde (Sá Jr., 2007). Os LEDs disponíveis comercialmente emitem luz em alguns comprimentos de onda específicos, por exemplo, 630, 660, 850 e 880nm. Esses valores não são exatos, pois podem sofrer alterações durante a operação real e parâmetros imprevisíveis do sistema (como temperatura e variação anormal na corrente de entrada). Existe uma certa gama de LEDs disponíveis com comprimentos de onda de ação mais biologicamente ativos. O comprimento de onda de 630nm gerado por determinado LED pode afetar o pico de 620nm e o comprimento de onda de 660nm gerado pelo LED está se aproximando do pico de 680nm, 850nm e do pico de 820nm. Ao operar os LEDs com correntes na faixa de mA (mili amperes), é possível melhorar a forma de onda de entrada. Será necessário realizar um estudo antes de diagnosticar qual o comprimento de onda ideal para realizar a aplicação no paciente. A cicatrização de cortes, feridas e úlceras a luz vermelha tem melhor desempenho em termos de comprimento de onda. A faixa de 800 a 850nm apresenta excelentes características de cicatrização atuando no tecido subcutâneo (Moreira; Prado; Campos, 2011).

Profundidade de penetração no tecido humano depende do comprimento de onda

A penetração da luz no tecido humano está ligada ao comprimento de onda, ou seja, quanto maior o comprimento maior será a sua interação nos tecidos humanos, uma vez que estes comprimentos de onda respeitam a faixa da luz visível (Sá Jr.,2007). Portanto, a aplicação de um determinado comprimento de onda diretamente ligado à cor a ser utilizada dependerá da aplicação que se deseja obter

no segmento de tecido desejado, conforme mostrado na Figura 5. O comprimento de onda é controlado pela sintonia da razão cíclica do conversor eletrônico utilizado. O valor do comprimento de onda desejado é medido por um espectrômetro (Moreira; Prado; Campos, 2011).

Figura 5 – Ação de cor e profundidade de penetração no tecido humano.
Profundidade de penetração óptica.



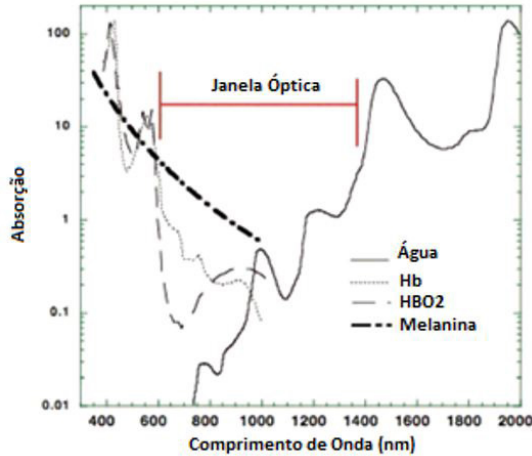
Fonte: Ecco (2026).

Fotobioestimulação celular

Existem áreas da medicina e da prática veterinária onde a LED Terapia tem um papel importante a desempenhar, relacionadas a cicatrização de feridas, reparação de tecidos e prevenção da morte de tecidos, alívio da inflamação em doenças crônicas e lesões com dor e edema associados, alívio da dor neurogênica e de alguns problemas neurológicos. Uma abordagem para encontrar a identidade dos cromóforos é realizar espectros de ação. Este é um gráfico que representa a fotorresposta biológica em função do comprimento de onda, número de onda, frequência ou energia do fóton e deve se assemelhar ao espectro de absorção da molécula fotoaceitadora (Moreira *et al.*, 2008). Uma consideração importante envolve as propriedades ópticas do tecido. Tanto a absorção quanto a dispersão da luz no tecido dependem do comprimento de onda (ambos muito mais altos na região azul do espectro do que no vermelho), e o principal cromóforo tecidual (hemoglobina) tem bandas de alta absorção em comprimentos de onda menores que 600nm. Por estas razões, existe uma chamada “janela óptica”. Outra consideração importante envolve as propriedades ópticas do tecido. Tanto a absorção quanto a dispersão da luz no tecido dependem do comprimento de onda (ambos muito mais altos na região azul do espectro do que no vermelho), e os principais cromóforos teciduais (hemoglobina e melanina) têm bandas de alta absorção em comprimentos de onda menores que 600nm (Moreira *et al.*, 2008). A água começa a absorver significativamente em comprimentos de onda superiores a 1150nm. Por estas razões, existe uma chamada “janela óptica” no tecido que cobre os comprimentos de onda vermelho e NIR, onde a penetração efetiva da luz no tecido é maximizada

(Figura 6). Além disso, a luz azul, verde e amarela pode ter efeitos significativos nas células, pois sua interação terapêutica é comprovada a cada dia.

Figura 6 - Janela óptica no tecido devido à absorção reduzida dos comprimentos de onda vermelho e NIR (600-1200nm) pelos cromóforos teciduais.



Fonte: HTM (2007).

Conversores Eletrônicos Utilizados para Alimentar Arranjos de LEDs de Alto Brilho

A aplicação de conversores eletrônicos chaveados que alimentam LEDs de alto brilho é interessante, pois estes conversores apresentam maior eficiência que os conversores lineares.

Assim, há várias possibilidades de implementação dos conversores CC-CC isolados e não isolados. Esta análise facilitará a compreensão dos efeitos destes conversores e sua influência nos LEDs de alto brilho (Moreira, 2009). Conversores ressonantes auxiliam na redução da potência de pico; têm baixas perdas na comutação e baixa interferência eletromagnética.

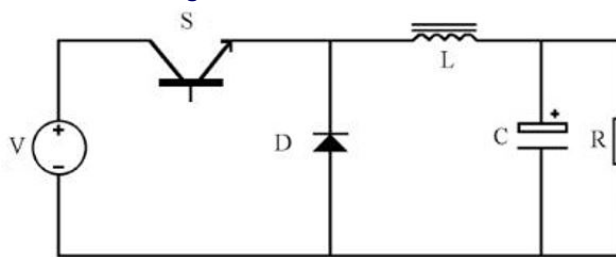
Portanto, essas topologias também são de interesse para aplicações com LEDs. Os LEDs também podem ser alimentados por chopper de corrente. Comparado a um sinal CC puro, isso aumenta o valor de pico da corrente do LED. Além disso, a corrente pulsante do LED contém componentes de alta frequência. Algumas harmônicas podem causar problemas de interferência eletromagnética se os LEDs estiverem separados do conversor. É, portanto, de interesse quantificar a geração de harmônicos (Moreira; Prado; Campos, 2011).

Conversores não isolados comumente utilizados para alimentação de LEDs

O conversor Buck, mostrado na Figura 7, é amplamente utilizado como fonte de energia para LEDs de alto brilho. O atributo de fonte de corrente de saída torna tais dispositivos interessantes, principalmente porque sua corrente de saída pode ser contínua (Moreira; Prado; Campos, 2011). Assim, o capacitor de saída C_{out} pode ter uma capacitância pequena e não é necessário utilizar um capacitor eletrolítico, que tem como característica uma vida útil consideravelmente menor (Moreira, 2009).

A saída de indutância L_1 , pode ser projetada para a aquisição de uma pequena ondulação na onda de corrente, mantendo características ópticas estáveis e temperatura adequada da junção do LED. A estabilidade da corrente de saída torna esse conversor indicado para alimentar os arranjos de LEDs.

Figura 7 – Conversor Buck.



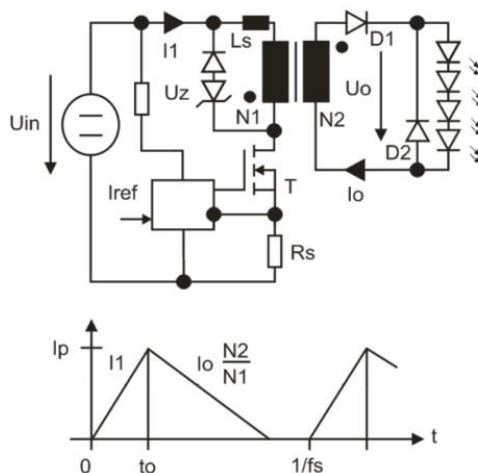
Fonte: Autoria própria (2014).

Se o capacitor de saída for removido dos conversores CC/CC básicos, a corrente nos LEDs não será mais puramente CC, mas conterá um componente pulsante. Para conversores Boost ou Buck-Boost a carga do LED é alimentada por uma onda quase quadrada com uma reatância suficientemente alta. O conversor eletrônico CUK é composto por um conversor Boost de entrada em série com um conversor Buck na saída e uma fusão de dois conversores em série utilizando apenas uma chave controlada. A composição destes dois conversores em série permite que a entrada e a saída operem em modo contínuo. O ganho desse conversor estático é o mesmo do conversor Buck-Boost. O conversor Buck utilizado no estágio de saída permite obter uma baixa corrente de ondulação no LED, mesmo para uma pequena quantidade de C_{out} (Moreira, 2009). O conversor Zeta consiste em um conversor de entrada Buck-Boost em série com um conversor Buck na saída. Da mesma forma que o conversor CUK, o conversor Buck permite que a saída obtenha uma onda de baixa corrente no LED. O conversor Sepic é composto por um conversor de entrada Boost em série com um conversor de saída Buck-Boost. A descontinuidade da saída de corrente nesta configuração não torna atraente seu uso em conjunto com LEDs de alto brilho (Moreira, 2009).

Conversores isolados comumente utilizados para alimentação de LEDs

Atualmente existe uma gama considerável de conversores que podem ser utilizados para alimentar LEDs, como aqueles com isolamento galvânica (Moreira; Prado; Campos, 2011). Este tipo de aplicação utiliza os conversores Flyback, Push Pull, Forward e ressonante (Margolis, 2011). A Figura 8, mostra um sistema de alimentação de LEDs utilizando isolamento galvânica.

Figura 8 - Representação de um Sistema de Alimentação de LEDs com Isolamento Galvânico.



Fonte: Autoria própria (2014).

Topologias Propostas

Após revisar diversas topologias possíveis para alimentação e controle de LEDs, quatro topologias são propostas para este estudo, considerando sua fácil implementação e controle de corrente tornando-as atrativas para seu uso. Quatro conversores foram desenvolvidos, são eles: Flyback, Buck, Buck-Boost e Sepic (Moreira; Prado; Campos, 2011). O conversor Flyback é mais robusto e tem a vantagem de ser isolado, mas apresenta alguns ruídos em forma de onda. O conversor Buck controla a corrente e oferece boa resposta, mas tem a desvantagem de não ser isolado. O conversor Buck-Boost apresentou boa resposta e um pouco de ruído. O conversor Sepic apresentou boa resposta para corrente e estabilidade. Resumindo, o conversor Flyback foi o mais benéfico para o arranjo de fornecimento de LEDs. Serão apresentados os resultados dos conversores Buck e Flyback que tiveram boa resposta (Margolis, 2011).

Conversor Flyback

Os conversores Flyback de níveis abaixo de 100W de potência são amplamente utilizados para as diversas aplicações e também para iluminação com LED, normalmente, operando em modo descontínuo. Este modo de operação é apropriado para controle de corrente. A topologia proposta é observada na Figura 10 e foi desenvolvida para alimentar o conjunto de LEDs, que produzem luz vermelha (Margolis, 2011).

Figura 9 – Conversor Flyback.

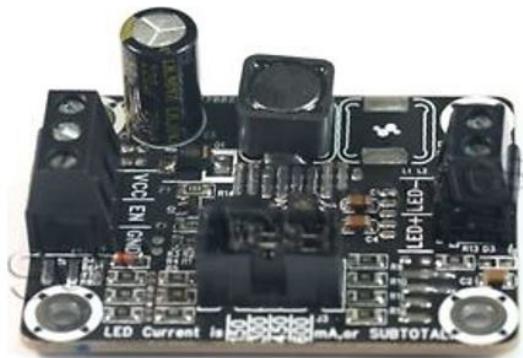


Fonte: Autoria própria (2014).

A cor vermelha tem comprimento de onda maior (na faixa de 647 a 780nm) e penetra mais profundamente no tecido. Assim, é indicado para cicatrização e recuperação de tecidos profundos (Margolis, 2011). O conversor Flyback empregado nos experimentos possui tensão de entrada universal e sua tensão máxima de saída é de 5V. A corrente máxima de saída é 2A. Sua frequência de comutação é de 100kHz. O arranjo proposto de LED vermelho contém 90 LEDs de alta intensidade de 5mm, com comprimento de onda na faixa de 400 a 730nm. A corrente em cada LED é em torno de 20mA. A fonte foi projetada para suportar até 100 LEDs. As aplicações da terapia são realizadas em pacientes com a devida autorização e com a participação de dois médicos e duas enfermeiras, no Hospital Regional Oeste de Chapecó, SC – Brasil, aprovado pelo Comitê de Ética do hospital. A tensão produzida no LED foi de 4,1V e a corrente nos LEDs em torno de 570mA. Os valores obtidos foram próximos aos da simulação e projeto.

Conversor Buck

O segundo conversor desenvolvido possui a configuração Buck conforme mostrado na Figura 10, com as seguintes características: Tensão de entrada CC de 13V (após um estágio retificado com conversor Flyback) e a tensão de saída chega a 6V e a corrente máxima de saída chega a 1A. A frequência de comutação é 52kHz. A fonte eletrônica possui isolamento total, mesmo em condições de curto-circuito em seus terminais.

Figura 10 – Conversor Buck.

Fonte: Autoria própria (2014).

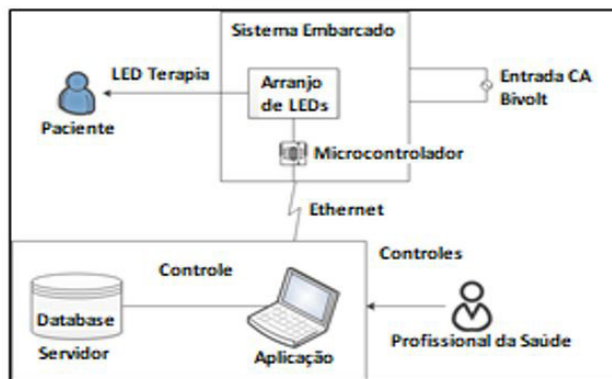
Automação dos arranjos de LEDs utilizando um sistema embarcado integrado a um software de controle

O principal objetivo é fornecer uma interface de controle da terapia entre os profissionais de saúde e o paciente, dando-lhes a possibilidade de monitorar o andamento das sessões de fototerapia e tratar o paciente de forma simples e eficaz. Já existem muitos recursos disponíveis no mercado que utilizam LEDs no tratamento de doenças de pele, como câncer de pele ou mesmo para fins estéticos, entre outros. Mas, quando um novo tratamento é descoberto, é necessário a criação de um novo ensaio e, portanto, um novo produto é criado. Este projeto propõe uma solução para este desafio integrando o hardware com software de controle. Com o software de controle atuando sobre o sistema embarcado é possível programar novos ensaios para cada tratamento; atuando diretamente sobre os LEDs de forma dinâmica, minimizando os custos com novos produtos sempre que um novo tratamento é descoberto.

Visão geral do sistema

O sistema é dividido em duas partes: o sistema embarcado e o controle. O sistema embarcado contém um microcontrolador, uma placa de LED e um Módulo Ethernet para comunicação com a aplicação. O controle consiste em um servidor de banco de dados e uma aplicação, conforme mostra a Figura 11. Através do aplicativo de controle é possível cadastrar um paciente ou iniciar uma sessão de tratamento. Os tratamentos são mapeados no banco de dados como ensaios que determinam os valores das variáveis para cada patologia. As variáveis são: as cores e o tempo de disparo dos conjuntos de LEDs. A comunicação entre o Sistema Embarcado e o controle da Aplicação é possível através do protocolo Ethernet (Bauer; Ramirez; Moreira, 2013).

Figura 11 - Automação de fototerapia com LEDs de alto brilho utilizando sistema embarcado integrado com controle de software.



Fonte: Bauer (2013).

Modelo de Sistema

Nesta seção serão mostrados os detalhes do protótipo, tais como: o funcionamento da aplicação, o funcionamento do sistema embarcado e detalhes do servidor de banco de dados.

Aplicação

A aplicação de controle foi escrita em linguagem JAVA. A aplicação tem como objetivo realizar a interface do usuário com o sistema proposto. Através do aplicativo, o usuário pode realizar as seguintes tarefas:

- Cadastrar novos pacientes que serão armazenados no banco de dados;
- Visualizar os pacientes armazenados na base de dados;
- Conectar o paciente a um tratamento; e
- Iniciar uma nova sessão de tratamento. O aplicativo armazena os resultados de cada sessão de tratamento.

Protótipo Desenvolvido

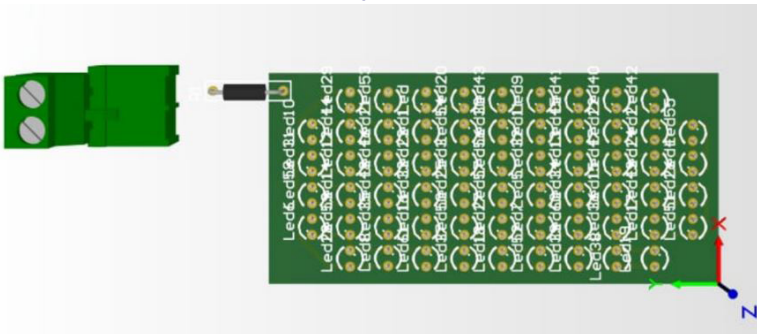
Após revisão bibliográfica, projeto da confecção do protótipo, testes de bancada e montagem do protótipo, foi utilizada a fonte chaveada do tipo Flyback, com isolamento galvânica, entre a entrada CC e saída CC, através de um transformador de corrente contínua, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Esquema do Protótipo Inicial.

Fonte: Aatoria Própria (2025).

O arranjo de LEDs, fixados em uma placa própria e confeccionada para este fim, com a finalidade de alocar todos os LEDs, respeitando as distâncias entre os dispositivos, a fim de que cada LED possa utilizar todo o seu espectro luminoso, conforme se observa na Figura 13. A placa de LEDs é composta por vários conjuntos de LEDs de alto brilho com as seguintes características:

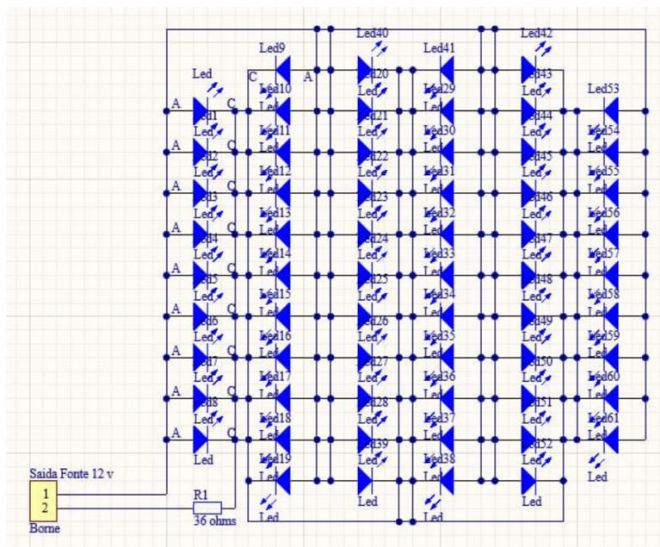
- Matriz vermelha: A matriz de LEDs emissora de luz vermelha contém 62 LEDs de alto brilho de 5mm, com comprimento de onda entre 725nm e 730nm. Opera a 3,3V e 20mA.

Figura 13 – Detalhe do desenho esquemático para a confecção da placa de arranjo de LEDs.

Fonte: Aatoria Própria. (2025).

O esquema elétrico, da placa de arranjo de LEDs é mostrado na Figura 14, abaixo.

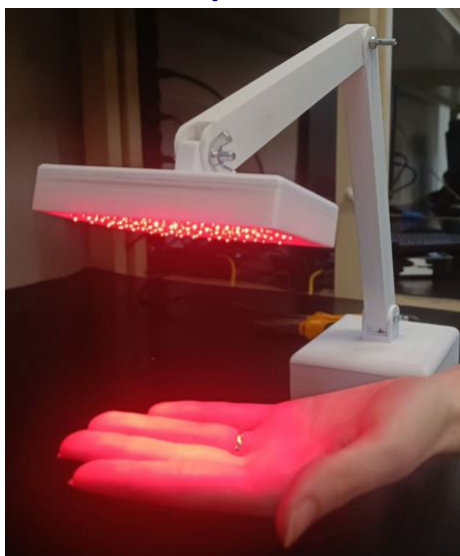
Figura 14 – Detalhe do desenho esquemático para a confecção da placa de arranjo de LEDs.



Fonte: Autoria Própria. (2025).

O Protótipo de Leds de Alto Brilho Alimentados por Conversores Eletrônicos Utilizados na Cicatrização de Tecidos e Rejuvenescimento Celular, é apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Detalhe do desenho esquemático para a confecção da placa de arranjo de LEDs.



Fonte: Autoria Própria. (2025).

Tipos de tratamento e resposta à terapia

A concentração de luz proveniente de um LED pode concentrar a luz até um determinado ponto que pode ter uma proporção elevada em milicandelas; mas, ao passar pela pele sofre uma dispersão de sua concentração luminosa. Os dispositivos de controle de taxa são importantes porque a energia luminosa total emitida pelo LED ou energia em Watts por centímetro quadrado, em unidades de mW/cm^2 é essencial (Lim, 2013). Se o projetista usar seu conhecimento para escolher uma fonte de alimentação mais barata para fabricar, então o conversor de energia deverá ser cerca de 2 ou 3 vezes maior que o total de sua energia luminosa. A saída máxima de luz do dispositivo de saída é a metade da potência ($W = Volt \times Amperes$) do transformador. O mW/cm^2 é a energia luminosa total em mW dividida pelo comprimento e largura do conjunto de LEDs em centímetros.

Critérios, controle e resposta ao tratamento dos pacientes que foram tratados com emissões de luz vermelha e azul por arranjos de LEDs de alto brilho

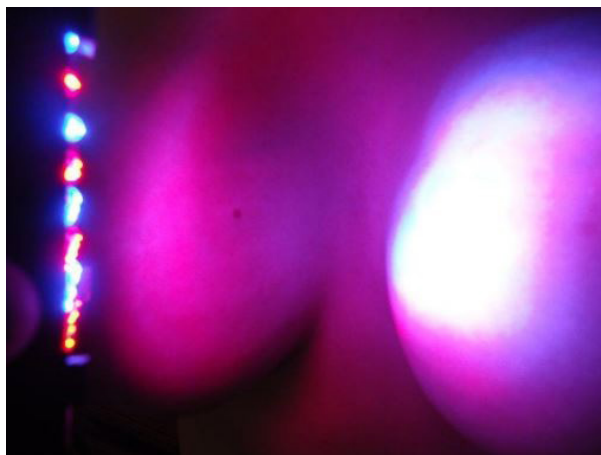
Os pacientes submetidos ao tratamento são devidamente classificados com critérios estabelecidos pelos médicos que auxiliam na implementação da terapia. Entre eles, idade, sexo, condição física e saúde mental. A terapia com LEDs foi realizada no Hospital Regional Oeste, na cidade de Chapecó-SC, Brasil. O primeiro caso é de uma paciente que colocou prótese mamária. A prótese era grande e poucos dias depois apareceram estrias (Figura 16). As estrias são atrofia lineares que surgem devido ao rompimento das fibras elásticas que sustentam a camada média da pele. Geralmente esse rompimento se deve a estresse mecânico, como estiramento excessivo da pele, ou estresse fisiológico, estimulado por hormônios. Quando as fibras se rompem ficam cheias de sangue, tornando-se principalmente avermelhadas, mas com o tempo adquirem uma coloração branca. Esta paciente foi submetida a avaliação médica e seu tratamento foi aprovado. Foram realizadas 15 sessões em 44 dias. O tempo de aplicação de cada sessão foi de 40 minutos (Figura 17). Após o tratamento a redução foi de 95% (Figura 18). O uso da LED Terapia é totalmente indolor e não deixa sequelas, obtendo sucesso do tratamento.

Figura 16 - Paciente com estrias nas mamas antes da aplicação da terapia.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 17 – Aplicação dos Arranjos de LEDs durante o tratamento com emissão de luzes azul e vermelha.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 18 – Resultado da terapia após o seu término, apresentando sucesso do tratamento.



Fonte: A autoria própria (2025).

O segundo caso é de uma paciente que apresentava estrias no quadril, na região das nádegas. Foi submetido a avaliação médica e iniciado tratamento. Foram realizadas 20 sessões durante 49 dias. Cada sessão durou 40 minutos. Ocorreu uma redução de 87% das lesões conforme mostra a Figura 19. Neste procedimento foi utilizado o conversor Buck, que é alimentado por LEDs que emitem luz vermelha e azul. Todos os pacientes submetidos ao tratamento cumpriram todas as exigências e recomendações da equipe médica. Todas as leis internacionais e de pesquisas nacionais em seres humanos foram observadas e respeitadas.

Figura 19 – Comparativo do antes e depois do tratamento.



Fonte: A autoria própria (2025).

A Figura 20, apresenta alguns protótipos, que estão sendo projetados, para futuramente ampliar as opções de protótipos desta terapia, para posteriormente serem fabricados e comercializados.

Figura 20 – Proposta de protótipos a serem fabricados e comercializados.



Fonte: Autoria própria (2023).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de LEDs em interação com os tecidos humanos demonstra grande interesse de fabricantes e pesquisadores. O uso correto dos LEDs neste contexto depende diretamente da natureza do tecido onde se deseja que a luz interaja (Moreira, 2009). Vários parâmetros são importantes para resultados satisfatórios, como comprimento de onda, tipo de cor, controle de temperatura do LED, características do conversor utilizado, controle de brilho, corrente de saída, ciclo de trabalho e todas as observações feitas nas seções anteriores deste trabalho. Os LEDs estão se tornando cada vez mais uma ótima opção para ajudar a curar diversas doenças e prevenir outras (Lim, 2013). Assim, este trabalho contribui para o desenvolvimento da aplicação do LED em tecidos humanos mostrando que o efeito da emissão de luz através dos LEDs de alto brilho oferece uma nova opção de tratamento para abertura de novos caminhos da técnica terapêutica LED Terapia aplicada aos tecidos humanos (Moreira; Prado; Campos, 2009).

REFERÊNCIAS

MOREIRA, M.C.; PRADO, R.N.; CAMPOS, A., **Application of high brightness LEDs in the human tissue and its therapeutic response**. Croatia, Book Chapter Applied Biomedical Engineering. Intech, 2011, p. 1-20.

ELDER, D. *et al.*, **Histopatologia da Pele de Lever**, 2001. Manual e Atlas. São Paulo: Manole.

BALA, O.; ÖLMEZ, A.; KALAYCI, S., Effect of LED and halogen light curing on polymerization of resin-based composites. **Journal of Oral Rehabilitation**, Hoboken - Nova Jersey, EUA, p. 134–140, jul. 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/8089319_Effect_of_LED_and_halogen_light_curing_on_polymerization_of_resin-based_composites. Acessado em: Ago, 2021.

HTM Indústria de Equipamentos Eletro-Eletrônicos Ltda, 2007. **Manual do Equipamento Laser HTM**, Amparo, São Paulo/SP.

HEELSPURS, **Led light therapy**, 2007, LLC 3063 Pinehill Road Montgomery, AL 36109.

SÁ JR., E. M., **Projeto de tese de doutorado: Estudo de novas estruturas de reatores eletrônicos para LEDs de iluminação**, 2007, p. 1-199, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFSC, Florianópolis-SC, 2007.

MOREIRA, M. C.; PRADO, R. N.; CAMPOS, A.; MARCHEZAN, T. B.; CERVI, M., In: Congresso Brasileiro De Automática, XVII, 2008, Juiz de Fora/MG. **Aplicação de LEDs de potência nos tecidos humanos e sua interação terapêutica**. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Automática-SBA, 2008, p. 1-6. Disponível em: < <https://www.sba.org.br/web/paginas/view?id=12>>. Acessado em: Abr. 2020.

MOREIRA, M. C.; **Utilização de conversores eletrônicos que alimentam LEDs de alto brilho na aplicação em tecido humano e sua interação terapêutica**, 2009, p. 1-165, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2009.

MARGOLIS, Michael. **Arduino cookbook**. O'Reilly Media, Inc., 2011, USA.

BAUER, E.; RAMIREZ, A. R. G.; MOREIRA M. C., **LED Therapy automation using an embedded system integrated with a control software**, 2013, TCC, University of Vale do Itajaí/Univali, 2013.

LIM, Lew; **The Potential of Treating Alzheimer's disease with Intranasal Light Therapy**, 2013, Medic Lights Research Inc., Toronto, Canada.

MOREIRA, M. C.; PRADO, R. N.; CAMPOS, A., **Application of high-brightness LEDs in tissue human and their therapeutic interaction**. Industry Applications Society Annual Meeting, Houston, Texas – USA, p. 1-6, out. 2009. Disponível em: < <https://ieeexplore.ieee.org/document/5324855>>. Acessado em: Jan, 2022.