

# TERAPIAS

## REABILITAÇÃO COM TERAPIAS COMBINADAS

UMA NOVA VISÃO DE  
OTIMIZAÇÃO TERAPÊUTICA

*Karen Cristina Laurenti  
Elissandra Moreira Zanchin  
Vitor Hugo Panhóca  
Vanderlei Salvador Bagnato*

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
(Even3 Publicações, PE, Brasil)

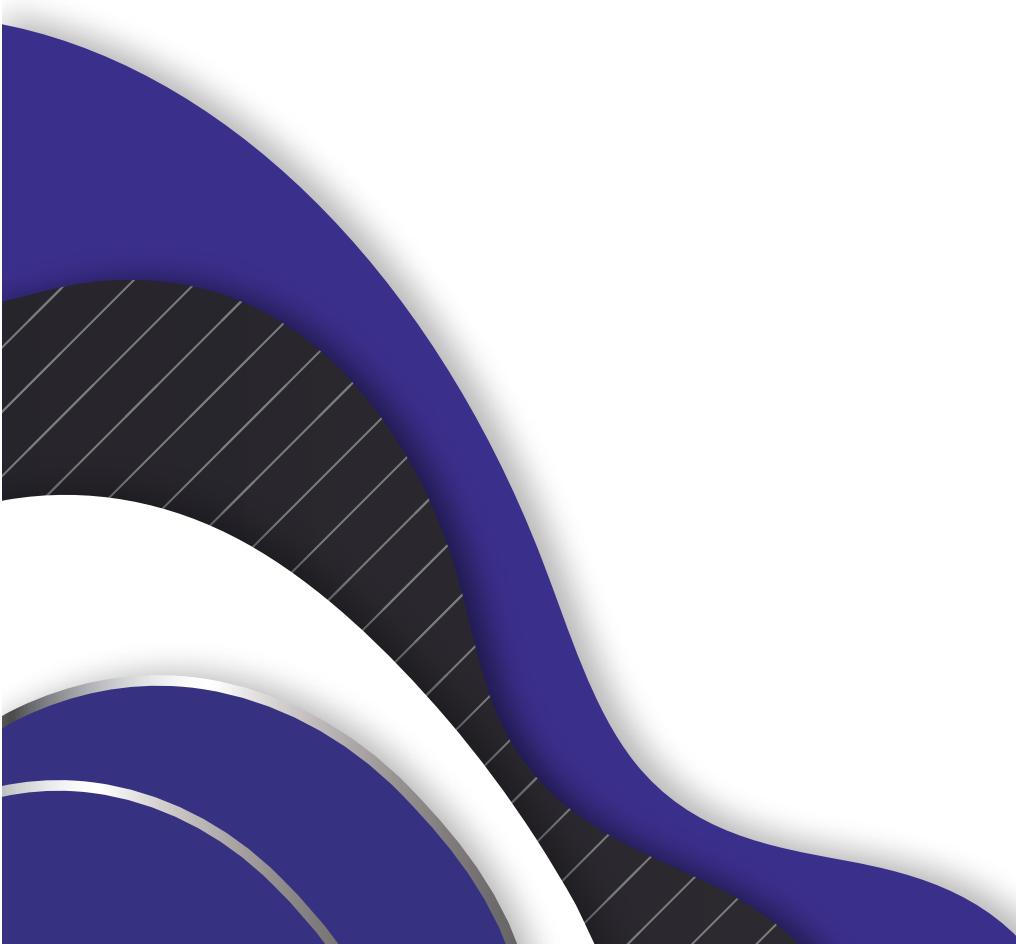
M838r Reabilitação com terapias combinadas: uma nova visão de otimização terapêutica / Karen Cristina Laurenti...[et al.] – [edição]. ed. – Recife: Even3 Publicações, 2023.

\*Notas específicas e solicitações do autor  
DOI: 10.29327/5156086  
ISBN: 978-85-5722-543-5

1. laser. 2. Saúde. 3. terapias integradas. I. Zanchin, Elissandra Moreira. II. Panhóca, Vitor Hugo. III. Título.

CDD 610

# **PESQUISAS COM AS NOVAS TECNOLOGIAS**



## CAPÍTULO 16

# OSTEOARTRITE, ATIVIDADE MOTORA E OS EFEITOS SINÉRGICOS DO ULTRASSOM E LASER.

## Doutora em Biotecnologia

### Prof. Dra. Fernanda Rossi Paolillo



Graduação em Ciência da Reabilitação, Departamento de Fisioterapia (2019-2020). Realizou 3 Pós-Doutoramentos em Biofísica/Biofotônica (2011-2019) no Grupo de Óptica do Instituto de Física de São Carlos (IFSC) da Universidade de São Paulo (USP). Possui Doutorado em Biotecnologia (2011) pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Mestrado em Bioengenharia (2004) pela USP e Graduação em Educação Física e Motricidade Humana (2000) pela UFSCar.

## Doutora em Bioengenharia

### Profa. Dra. Alessandra Rossi Paolillo



Terapeuta Ocupacional formada há 25 anos, pela UFSCar. Mestre e Doutora em Bioengenharia pela USP. Docente do Departamento de Terapia Ocupacional da Universidade Federal de São Carlos (DTO – CCBS – UFSCar). Atua nas áreas de Disfunção Física em Adultos e Geronto-Geriatría, com pesquisas em atividades humanas; curso da vida - adulto e idoso; envelhecimentos (comunidade e instituição de longa permanência); disfunção física; recursos terapêuticos e inovação tecnológica.

## 1 – INTRODUÇÃO

Osteoartrite ou osteoartrose (OA) são termos empregados como sinônimos de artrose. A OA é uma doença crônica e degenerativa caracterizada por dor, perda gradual da cartilagem hialina articular e alterações ósseas subjacentes. A origem da OA é multifatorial e inclui as causas hereditária, adquirida, endócrina e inflamatória. Esta disfunção articular, comum em pessoas acima de 50 anos, é considerada um importante problema de saúde pública, pois sua incidência é acentuada e reflete o crescente envelhecimento populacional. Ainda, os fatores de riscos, como a obesidade, lesões esportivas, doenças ocupacionais, alterações biomecânicas, status nutricional, menopausa, densidade óssea, perda de massa e força muscular aumentam sua incidência em idade cada vez mais precoce (ZHANG E JORDAN 2010).

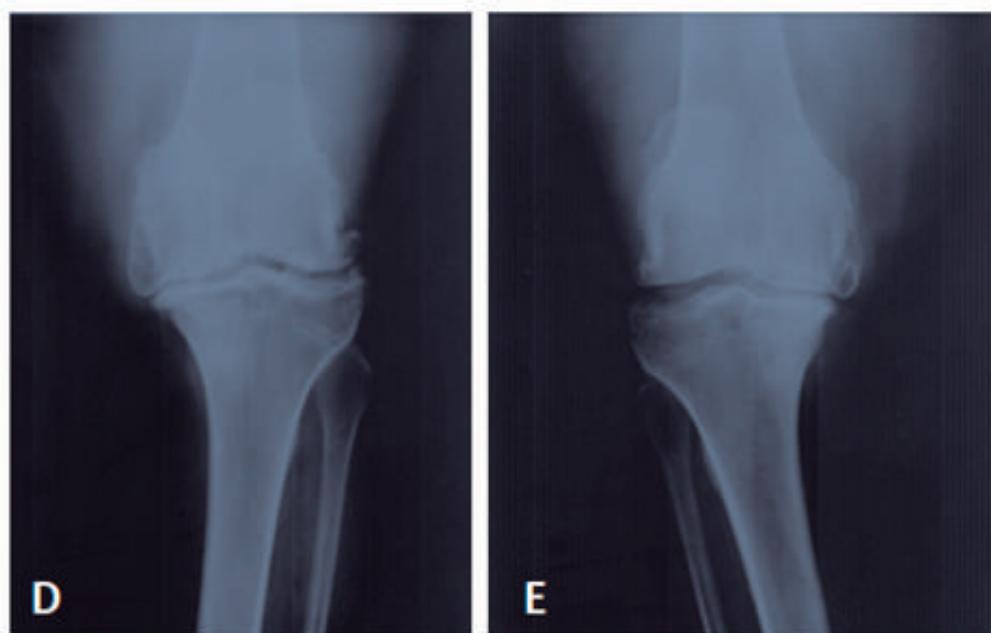
A OA pode estar presente em várias articulações, entre elas o joelho, quadril, coluna vertebral, tornozelos, pés, ombros, cotovelos e mãos. Esta patologia resulta em alterações bioquímicas, metabólicas e morfológicas, que incluem deformidades, inflamação e redução da função articular e músculo-tendínea, o que conduz um declínio da qualidade de vida (MICHAEL, SCHLÜTER-BRUST E EYSEL 2010).

Diante deste contexto, o processo de reabilitação física com uso de agentes físicos mecânicos (ultrassom) e eletromagnéticos (laser), associados à atividade motora, têm como objetivo o tratamento da dor e melhora da função articular, dos músculos e tendões. Bem como a redução do processo inflamatório e rigidez, aumento da amplitude de movimento, força muscular, equilíbrio, mobilidade, autonomia e maior desempenho físico com reduzida fadiga, o que favorece a melhora da qualidade de vida.

## 2 - OSTEOARTRITE (OA)

A OA é uma doença articular degenerativa e seu quadro clínico é caracterizado por crepitação ao movimento (estalido), deformidades ósseas, formação de osteófitos, presença de processo inflamatório, edema, alteração do líquido sinovial, degeneração articular, rigidez articular, instabilidade articular, diminuição da amplitude de movimento, perda sensório-motora, perda de viscoelasticidade do tendão, fraqueza muscular (principalmente do quadríceps, no quadro clínico de OA no joelho) e redução de equilíbrio. Ainda, nos casos de OA nas mãos, a redução da força de preensão e da amplitude articular dificultam a realização de tarefas manuais e diminuição do tempo de trabalho produtivo. Estes fatores resultam em dor, diminuição da independência e autonomia nas atividades de vida diária (AVDs) com consequente redução da qualidade de vida (MICHAEL, SCHLÜTER-BRUST E EYSEL 2010). Imagens de raio-x são realizadas para diagnóstico (FIGURA 1) e para graduação (TABELA 1) da OA.

*FIGURA 1: Radiografias frontais dos joelhos direito (D) e esquerdo (E) para o diagnóstico de OA bilateral (estreitamento assimétrico do espaço articular, formação de osteófitos, esclerose óssea subcondral e formação cística).*



*TABELA 1: Critérios de classificação da OA.*

Grau	Gravidade	Achados Radiológicos
Grau 0	Nenhuma	Sem sinal de OA
Grau 1	Duvidosa	Mínimo osteófito
Grau 2	Mínima	Osteófito definido, sem diminuição do espaço articular
Grau 3	Moderada	Moderada diminuição do espaço articular
Grau 4	Grave	Diminuição do espaço articular, com esclerose do osso subcondral

O principal sintoma da OA é a dor, que impacta na realização das atividades cotidianas e no bem-estar. De acordo com a Associação Internacional para o Estudo da Dor [International Association for The Study of the Pain (IASP)], a dor é uma “experiência sensorial e emocional desagradável associada com uma lesão tecidual presente ou potencial, descrita relativamente a essa lesão” e pode ser classificada em aguda e crônica. A dor aguda é de curta duração e é resultado de uma doença, inflamação ou lesão de tecidos. Já a dor crônica tem duração de mais de 3 meses e é representada por uma doença. A dor pode ser acompanhada de ansiedade, angústia e depressão. Ainda, dificulta o relacionamento pessoal, as atividades de trabalho, a vida social e os exercícios físicos (MERSKEY 1964; IASP 1979).

A dor na OA aumenta com o uso e é aliviada pelo repouso. Então, geralmente a fraqueza muscular é atribuída à atrofia dolorosa e desuso, causando redução da amplitude de movimento e menor funcionalidade. Nos casos clínicos de OA de joelho ocorre redução na força do músculo quadríceps e na OA de mão ocorre redução da força de preensão e menor precisão do movimento de pinça. Ainda, a deformidade articular gera insatisfação com a aparência estética nesses pacientes (SARZI-PUTTINI et al., 2005; ZHANG et al., 2007).

Pacientes com dor, especialmente dor crônica, evitam movimentos. Por sua vez, isso resulta em um comprometimento gradual de sua condição física, reduzindo, por exemplo, força, flexibilidade, funcionalidade física e atividade ocupacional. Todas as diretrizes recentes recomendam exercícios terapêuticos para OA crônica, subaguda e pós-cirúrgica, para melhorar a funcionalidade física e a qualidade de vida (MCALINDON et al., 2014 e ZHANG E JORDAN, 2010).

Em relação à OA, a Sociedade Brasileira de Reumatologia (SBR) aponta que “é importante deixar claro que o fato de não ter cura não pode tirar o ânimo para o tratamento. O grande objetivo é aliviar os sintomas e melhorar a qualidade de vida dos pacientes com Osteoartrite. Praticamente nenhuma doença crônica, quer dizer, de longa duração, tem cura. Mas, o tratamento pode melhorar muito a situação dos pacientes e esse objetivo a ser alcançado é muito relevante para quem dele se beneficia”. Ainda, segundo a SBR existe uma expressão popular: “se morre com a Osteoartrite, mas não se morre de Osteoartrite”, o que indica uma relativa benignidade desta patologia, uma vez que não é uma doença associada com causa de morte. Embora a OA não seja causa de morte, há inúmeras razões para realização de tratamentos e cuidados para melhor conviver com a doença, pois os pacientes apresentam prejuízos na qualidade de vida (SBR, 2011).

A Sociedade Internacional de Pesquisa em Osteoartrite [Osteoarthritis Research Society International (OARSI)] aponta recomendações baseadas em evidências para tratar a OA, que inclui várias modalidades de intervenções cirúrgicas farmacológicas e não farmacológicas (MCALINDON et al., 2014).

Vários métodos de tratamento de OA são utilizados para aliviar a dor e manter ou melhorar o padrão funcional dos pacientes (CRANE E EVERTS, 2008; FELSON et al., 2000). Dentre esses métodos destacam-se:

*Tratamentos cirúrgicos: artroscopia e artroplastia;*  
*Tratamentos farmacológicos: analgésicos, antiinflamatórios não esteroides, corticosteroides, ácido hialurônico, condroitina e glucosamina;*  
*Terapias experimentais atuais, como os implantes autólogos de condrócitos, plasma rico em plaquetas e células tronco mesenquimais;*  
*Terapias alternativas: acupuntura, homeopatia e fitoterápicos;* *Tratamentos não farmacológicos: fisioterapia, terapia ocupacional, órteses, exercícios físicos e perda ponderal (emagrecimento), além dos agentes físicos (estimulação elétrica, laser, ultrasom, radiofrequência e micro-ondas);*

Entretanto, os mecanismos de etiologia e evolução da OA permanecem desconhecidos. Considerada uma doença crônica, estratégias de tratamento são fundamentais para controlar a dor em repouso ou em movimento, melhorar ou preservar a função articular e músculo-tendínea para evitar a limitação física, aumentar a independência e autonomia, promover melhor qualidade de vida e, principalmente, minimizar a progressão da doença, o que pode evitar intervenções medicamentosas com efeitos colaterais, iatrogênicos e as técnicas cirúrgicas (STITIK et al., 2005).

O uso tópico de medicamentos (AKINBO, OWOEYE E ADESEGUN, 2011), como anti-inflamatórios e analgésicos em creme ou gel, pode ser uma alternativa para evitar alguns efeitos colaterais, como sonolência, náusea, constipação, elevação dos níveis de pressão arterial sistólica e lesão gastroduodenal (FELSON et al., 2000)

No contexto das intervenções não farmacológicas, a fisioterapia, a terapia ocupacional, os programas de exercícios físicos e os agentes físicos podem ser realizados regularmente com o intuito de melhorar a qualidade de vida (PAOLILLO et al., 2015; PAOLILLO et al., 2018).

### 3 - ATIVIDADE MOTORA

No processo de reabilitação da OA, o aumento do condicionamento físico sem exacerbação da inflamação é fundamental. Várias modalidades de exercícios podem ser realizadas (BENNELL E HINMAN, 2005), por exemplo, os aeróbios, como a caminhada, hidroginástica e a bicicleta ergométrica, bem como, os resistidos com pouca carga e muitas repetições que podem ser isométricos e isocinéticos, com contrações excêntricas e concêntricas, além dos isotônicos. Ainda, estes exercícios podem ser realizados de forma passiva, ativa-assistida, ativa e resistida. Em relação aos exercícios de mão, podem ser utilizados materiais exercitadores, como equipamentos com aumento de resistência, massa de silicone e bola de espuma. Neste contexto, os exercícios podem prevenir a atrofia por desuso e até aumentar a força e a massa muscular com reduzida fadiga, bem como, propiciar a autonomia e independência funcional (Felson et al. 2000). A FIGURA 2 mostra alguns exemplos de exercícios terapêuticos para quem tem OA nos membros inferiores (A) e superiores (B).

FIGURA 02: Exercícios terapêuticos para pacientes com AO



Fonte: Paolillo et al. (2015); Paolillo et al. (2018).

Alguns grupos musculares são particularmente importantes a serem exercitados para aumentar a funcionalidade, por exemplo, o quadríceps é considerado o principal atuador durante a fase de apoio e de balanço da marcha, e a função deste músculo é reduzida nos pacientes com OA de joelho, o que limita, por exemplo, o ato de caminhar ou de subir e descer escadas (SEGAL et al., 2010). Já no caso da OA de mão, há redução na execução de tarefas manuais, como pegar, manusear e soltar objetos devido à redução da força de preensão palmar e instabilidade das articulações dos dedos (ZHANG et al., 2007). Ainda, de acordo com os fundamentos da biomecânica articular, os exercícios físicos são essenciais para lubrificação da articulação, que se encontra comprometida nos quadros de OA.

As articulações são constituídas por tecido poroso, permeável e viscoelástico que fazem a comunicação entre ossos e permitem os movimentos dos segmentos corpóreos. A articulação mais acometida pela OA é a do tipo sinovial, também chamada de diartrose, que são móveis e as superfícies dos ossos são cobertas por cartilagem articular, cápsula articular, membrana sinovial e líquido sinovial (lubrificante). Os exercícios físicos são fundamentais para manter a função destas articulações através do processo de estresse-relaxamento e equilíbrio da deformação, além de propiciar a lubrificação. A cartilagem é constituída de condrócitos que mantém matriz orgânica (colágeno, proteoglicano), além de água, ácido hialurônico, glicoproteínas e lipídeos. Durante a compressão há exsudação fluídica e compactação da matriz sólida, ocorrendo redistribuição fluídica e o retorno da compactação (relaxamento). Sob carga, há aumento da pressão do fluido para suportar a carga e à medida que as cartilagens se aproximam as pequenas moléculas solúveis entram na cartilagem, enquanto o ácido hialurônico não é deslocado, formando um filme que lubrifica.

Combinados, a cartilagem articular e o líquido sinovial proporcionam um ambiente de atrito extremamente baixo nas articulações sinoviais (NARDIM E FRANKEL, 2014). Este mecanismo é afetado pela OA, o que prejudica a realização de exercícios físicos.

Então, ao mesmo tempo em que estes pacientes precisam se exercitar, eles apresentam dificuldades funcionais. Outro fator agravante é a intensidade do exercício físico, que pode gerar dor muscular tardia após o exercício físico.

A dor muscular tardia pós-exercício físico, ou DOMS (acrônimo da palavra em inglês Delayed Onset Muscle Soreness), é caracterizada pela sensação de desconforto e dor na musculatura esquelética que ocorre algumas horas após a realização de uma atividade física em que o indivíduo ainda não está habituado. A dor não se manifesta até aproximadamente 8 horas após o exercício, mas, a intensidade da dor aumenta nas primeiras 24 horas e alcança o máximo entre 24 e 72 horas. Posteriormente, a dor declina progressivamente e, entre 5 a 7 dias após a realização do exercício, desaparece completamente. Vários são os mecanismos envolvidos neste quadro de dor, incluindo dano físico causado pelo aumento da tensão no processo contrátil, acúmulo de metabólitos (por exemplo, o ácido láctico), dano estrutural no tecido muscular e alteração no controle neuromuscular. Neste contexto, é importante ressaltar que um dos principais mecanismos envolvidos no processo de dor tardia pós-exercício são as microlesões estruturais que resultam em ação inflamatória e estresse oxidativo, principalmente decorrente dos exercícios de alta intensidade (CHEUNG, HUME E MAXWELL, 2003).

Exercício físico de alta intensidade pode gerar estresse oxidativo, lesão articular e músculo-tendínea, degeneração e processo inflamatório com aumento do quadro álgico do paciente com OA. Este impacto negativo do exercício físico pode reduzir a aderência ao tratamento e com isso a doença continua a progredir e a qualidade de vida diminui acentuadamente (MARKS E ALLEGRENTE, 2005). Neste sentido, a escolha do tipo de exercício, bem como de sua frequência e intensidade são fundamentais para aumentar a funcionalidade e a saúde geral destes pacientes. Ainda, o uso de agentes físicos como o ultrassom e laser devem ser utilizados para minimizar quaisquer impactos negativos que possam ser causados pelo exercício e potencializar o desempenho físico e demais efeitos terapêuticos.

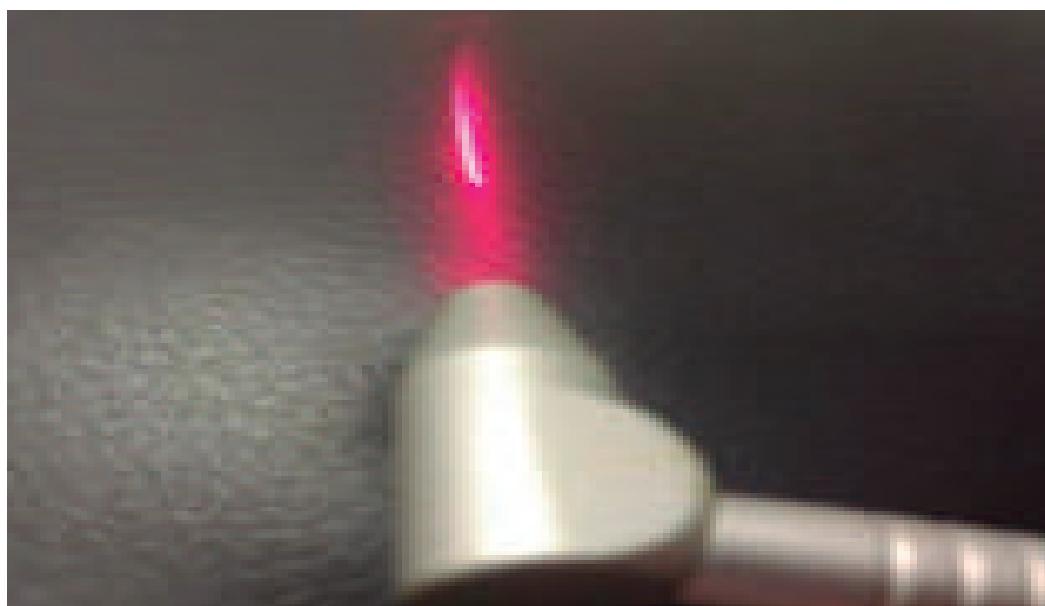
## **4 - LASER, ULTRASSOM (US) E ATIVIDADE MOTORA**

### **4.1 LASER TERAPÊUTICO**

Laser é o acrônimo para amplificação da luz por emissão estimulada de radiação, sendo este o princípio base da sua criação. Em um equipamento de laser, a luz (fótons) é obtida e emitida a partir de um especial mecanismo. Há um meio ativo de átomos no estado fundamental que se tornam excitados, por exemplo, na presença de carga elétrica.

A emissão espontânea de um fóton por um desses átomos adiciona mais fótons à porção já existente. Na cavidade de um laser, contém espelhos, onde esses fótons refletem, voltando para a amostra, provocando mais emissão estimulada e uma porção desses fótons emerge do sistema, constituindo o feixe de luz laser. Dependendo do meio ativo serão obtidos diferentes comprimentos de onda, na região do espectro visível e invisível. Ainda, o laser (FIGURA 3) apresenta propriedades especiais, como a monocromaticidade, coerência e colimação (BAGNATO E PAOLILLO, 2014).

*FIGURA 3: Fótons (660 nm) sendo emitidos de um equipamento de laser.*



A janela terapêutica encontra-se na região do espectro entre o visível e infravermelho (entre 300 e 1200nm). Para o tratamento da dor, processo de reabilitação e aumento do desempenho esportivo é utilizado o laser vermelho e infravermelho (entre 600 e 1150 nm), pois estes comprimentos de onda são pouco absorvidos pela melanina e hemoglobina, o que permitem maior penetração nos tecidos biológicos comparado aos outros comprimentos de onda no visível (BAROLET, 2008).

Em relação à fotobiomodulação, a luz penetra nos tecidos e os fótons são absorvidos pelos fotoaceptores celulares denominados cromóforos presentes na mitocôndria, como o citocromo C oxidase e o NADH desidrogenase, que acelera o transporte de elétrons na mitocôndria ativa reações químicas em cascata, resultando no aumento da síntese de ATP, em mudanças nas expressões de RNA/DNA e na regeneração tecidual. Outros benefícios são o aumento da microcirculação, bem como a ação antiinflamatória e analgésica (VLADIMIROV, OSIPOV E KLEBANOV 2004; BAGNATO E PAOLILLO, 2014).

Em relação ao efeito analgésico, a fotobiomodulação pode induzir ao alívio da dor através da modulação da nocicepção, bem como pelo aumento da produção de serotonina, betaendorfina e de antioxidantes com redução de mediadores inflamatórios. Ainda, a modulação da transmissão sináptica gera efeitos de relaxamento muscular (CEYLAN, HIZMETLE E SILIG, 2004; CASTANO et al., 2007; CHOW, DAVID E ARMATI, 2007). Outro efeito terapêutico importante a ser considerado é a redução do edema (GUR et al., 2003).

Vários estudos mostram os benefícios da fotobiomodulação no tratamento da OA. Amano et al. (1994) utilizaram laser infravermelho e obtiveram respostas positivas na redução da inflamação e otimização da vascularização da membrana sinovial analisada pela histologia. Segundo Hegedus et al., (2009), a intervenção com laser infravermelho em pacientes com OA de joelho durante um mês, demonstrou um aumento do fluxo sanguíneo local, seguido de melhora do quadro álgico e da amplitude de movimento. Ainda, Da Rosa (2011) ao comparar os comprimentos de onda de 660 nm e 808 nm com parâmetros de irradiação semelhantes (100 mW, 3,57 W/cm<sup>2</sup>, 40s e energia de 4 J) concluíram que a laserterapia, especialmente com 808 nm estimulou a angiogênese e reduziu a formação de fibrose em um modelo experimental de OA. Morrone et al. (2000) demonstraram eficiência reparadora do laser infravermelho em defeitos induzidos na cartilagem articular de coelhos, enquanto o estudo de Lin et al., (2006) apresentou aumento de mucopolissacarídeos e da cartilagem articular em OA induzidas em ratos.

Ainda, é importante considerar que a fotobiomodulação associada à atividade motora aumenta o desempenho físico. A luz pode ser aplicada antes, durante ou após o exercício físico (BAGNATO E PAOLILLO, 2014).

Os efeitos combinados da fotobiomodulação e do exercício físico sobre o aumento da funcionalidade estão relacionados com o aumento do fluxo sanguíneo que favorece a chegada de nutrientes (como o oxigênio) para os músculos ativos durante o exercício físico, bem como aumenta o retorno venoso e favorece o transporte e remoção de ácido lático e outros metabólitos (PAOLILLO E GOBBI, 2015). Então, além de diminuir a concentração de ácido lático, também há redução dos níveis de creatina quinase (CK) e das espécies reativas de oxigênio (estresse oxidativo). Ainda, o aumento em tamanho e número de mitocôndrias promove o aumento da síntese de adenosina trifofato (ATP) e com isso maior disponibilidade energética para a realização de atividade motora (FERRARESI et al., 2012a).

Outros efeitos combinados da fotobiomodulação e do exercício físico são as modificações das expressões de RNA e DNA, no qual ocorre a fotoestimulação de genes específicos que melhoram a funcionalidade física, por exemplo, o aumento da expressão de genes relacionados à biogênese mitocondrial [peroxisomeproliferator-activated receptor gamma coactivator 1 alpha (PPARGC1- $\alpha$ )], síntese protéica [alvo mamífero da rapamicina (mTOR)] e angiogênese tecidual [fator de crescimento endotelial vascular (VEGF)], bem como a redução da expressão de genes relacionados a degradação protéica [Muscle Ring Finger 1 (MuRF1)] e inflamação [interleucina-1  $\beta$  (IL-1 $\beta$ )] (FERRARESI et al., 2012b).

A fotoestimulação pode devolver mais rapidamente a homeostasia celular e tecidual ao organismo submetido a estresses metabólico, cardiovascular, respiratório, muscular e ósseo induzidos pelo exercício físico e, dessa maneira, proporciona uma adaptação mais rápida ao exercício para potencializar o condicionamento físico e refletir na saúde geral, bem estar e qualidade de vida (BAGNATO E PAOLILLO, 2014).

#### **4.2 - ULTRASSOM TERAPÊUTICO (US)**

O ultrassom (US) é uma forma de onda mecânica (acústica), na qual a energia é transmitida por vibrações das moléculas através do meio sólido, líquido e gasoso por onde a onda atravessa, com absorção da energia mecânica pelos tecidos corpóreos (ALLEN, 2006). Assim, a energia vibracional é transformada em energia molecular.

Quanto maior a frequência do US maior a absorção. Ainda, tecidos com maior conteúdo protéico absorvem mais energia comparado, por exemplo, com a gordura e a água. Então, frequências mais baixas, em torno de 1,0 MHz, penetram profundamente nos tecidos, como, os musculares, tendíneos, articulares e ósseo. Por outro lado, 3,0 MHz são utilizados para absorção em profundidades menores, como na pele e gordura (HAAR, 1999).

Diversos são os efeitos terapêuticos do US, entre eles o aumento da vascularização, da atividade enzimática, de prostaglandinas, dos fatores de crescimento e da síntese de colágeno, bem como modula o processo inflamatório para a reparação tecidual. O US gera estímulo osteogênico com aumento de osteoblastos por meio dos potenciais gerados por deformação (SGPs) como resultado do efeito piezoeletrico, ou seja, carga mecânica transformada em sinal elétrico (CARVALHO, CARVALHO E CLIQUET, 2001). Outros efeitos do US são as alterações na contratilidade muscular, com redução de espasmos, bem como o aumento da velocidade de condução neural e do limiar nociceptivo que resultam no tratamento da dor (ALLEN, 2006).

O US pode ser usado em 2 modos: (i) modo contínuo: produz efeito térmico predominante devido a absorção de energia e sua transformação em calor e; (ii) modo pulsado: tem efeito não térmico predominante.

A cavitação (FIGURA 4) é um dos principais mecanismos de ação do US. Este termo é usado para descrever as atividades de microbolhas em um meio contendo líquido (sangue ou fluidos dos tecidos) quando estimulado acusticamente. Por isso é utilizado para propiciar diversos efeitos terapêuticos e principalmente para conduzir a entrega de agentes farmacológicos em tecidos profundos transdermicamente, sendo esta técnica denominada fonoforese ou sonoforese (HAAR, 1999; Mason, 2011). Há dois tipos de cavitação: estável e transiente.

Na cavitação estável, as bolhas crescem pouco, entram em ressonância (microvibrações) e permanecem intactas. Estas microagitações das partículas resultam em constante circulação de fluídos e aumento na permeabilidade da membrana aos íons e metabólitos, propiciando os diversos efeitos terapêuticos (SCHLICHER et al., 2006).

Na cavitação transiente, a alta intensidade, a variação da pressão acústica por presença de ondas estacionárias e o aumento de temperatura fazem com que estas bolhas de gases se colapsam violentamente, o que induz à desintegração de tecidos adjacentes e à produção de radicais livres, resultando em lesões teciduais e até em queimaduras (SCHLICHER et al., 2006).

*FIGURA 4: Água borbulhando sobre o transdutor de US ligado, exemplificando a cavitação.*



O agente de acoplamento mais utilizado é o gel, pois apresenta maior porcentagem de transmissão em comparação com cremes e pomadas.

Quando a aplicação da droga é feita pela pele através da fonoforese ou sonoforese (LAVON E KOST, 2004), a cavitação estacionária resulta em desorganização da região lipídica da camada córnea e aumento da permeabilidade membrana, enquanto a cavitação transiente resulta em destruição do estrato córneo. Diversos tipos de drogas vêm sendo utilizados nos estudos da fonoforese, entre eles, o hidrocorticóide (KOEKE et al., 2005) e o diclofenaco (AKINBO, OWOEYE E ADESEGUN, 2011).

Vários estudos (Kozanoglu et al., 2003; Akinbo, Owoeye e Adesegun, 2011) mostraram o aumento da funcionalidade de pacientes com OA de joelho que foram submetidos ao tratamento com US contínuo por promover o aumento de 4-5°C em aproximadamente 8 cm de profundidade. Em relação a cápsula articular, foi constatado que o US pulsado aumentou a ativação de condrócitos e a síntese de colágeno em OA induzida no joelho de ratos (NAITO et al., 2010).

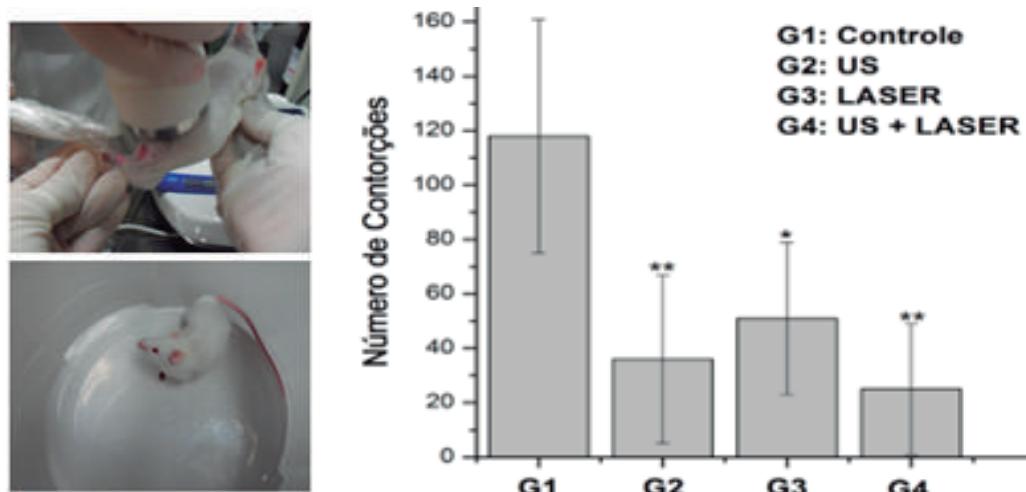
#### **4.3 - O EQUIPAMENTO ULTRA-SOM COMBINADO COM LASER**

O estímulo luminoso é o gatilho para a regulação do metabolismo celular, entretanto, este estímulo depende do estado fisiológico das células, o que explica o motivo pelo qual a fototerapia nem sempre é eficaz em tecidos biológicos sadios. Neste contexto, o US propicia condições teciduais através da vibração molecular que favorece a ação do laser, melhorando o metabolismo celular, potencializando os efeitos terapêuticos. Então, surgiu a ideia do desenvolvimento do equipamento de ultra-som combinado com laser.

De acordo com a sociedade brasileira para estudos da dor (<http://www.sbed.org.br>), a dor é multidimensional e relaciona-se ao sofrimento. Em especial, a dor crônica acomete 1 entre 5 adultos, além de aumentar com a idade. A prevalência das condições de dor crônica mais comuns são dor de cabeça, pescoço, costas, membros superiores e inferiores. Algumas consequências são a imobilidade, depressão, alterações do sono, dependência de medicamentos, de profissionais da saúde, de cuidadores e de instituições, incapacidade para o trabalho, ansiedade, entre outras complicações. Estratégias de tratamento são fundamentais para controlar a dor, melhorar ou preservar a função articular e músculo-tendínea para evitar a limitação física, aumentar a independência e autonomia, promover melhor qualidade de vida e minimizar a progressão da doença para evitar intervenções medicamentosas e cirúrgicas.

O primeiro estudo (prova de princípio) para o desenvolvimento do equipamento ultra-som combinado com laser foi realizado em animais. Neste estudo experimental, foi inoculado ácido acético nos peritônios de camundongos para indução da dor e contorções abdominais. O grupo controle não recebeu tratamento, enquanto, nos grupos tratados o laser e/ou US foram aplicados imediatamente após a inoculação de ácido acético. Os parâmetros utilizados foram: (i) US de 1 MHz de frequência, no modo contínuo com 1 W/cm<sup>2</sup> de intensidade durante 1 minuto com aplicação de gel transparente e realização de pequenos e lentos movimentos; (ii) Laser infravermelho (780nm), 70 mW de potência, modo contínuo, 1 minuto de aplicação e dose de 105 J/cm<sup>2</sup> e; (iii) as duas técnicas de US e laser combinadas. Posteriormente, cada animal foi colocado em uma caixa de vidro que permitia a inspeção visual direta para observação e contagem das contrações abdominais por três profissionais da área da saúde até 60 minutos. Os resultados desta prova de princípio (FIGURA 5) mostram que o grupo de camundongos que recebeu o tratamento de US e laser de modo sinérgico sentiu menos dor e consequentemente um menor número de contorções.

*FIGURA 5: Prova de princípio. Estudo experimental realizado com US associado ou não ao laser. Foi constatado alívio da dor no grupo G4, que realizou a terapia sinérgica de US e laser.*



A partir deste estudo experimental foram desenvolvidos vários protótipos do equipamento fotossônico (FIGURA 6) que emite US e laser de modo sinérgico e vários estudos experimentais e clínicos.

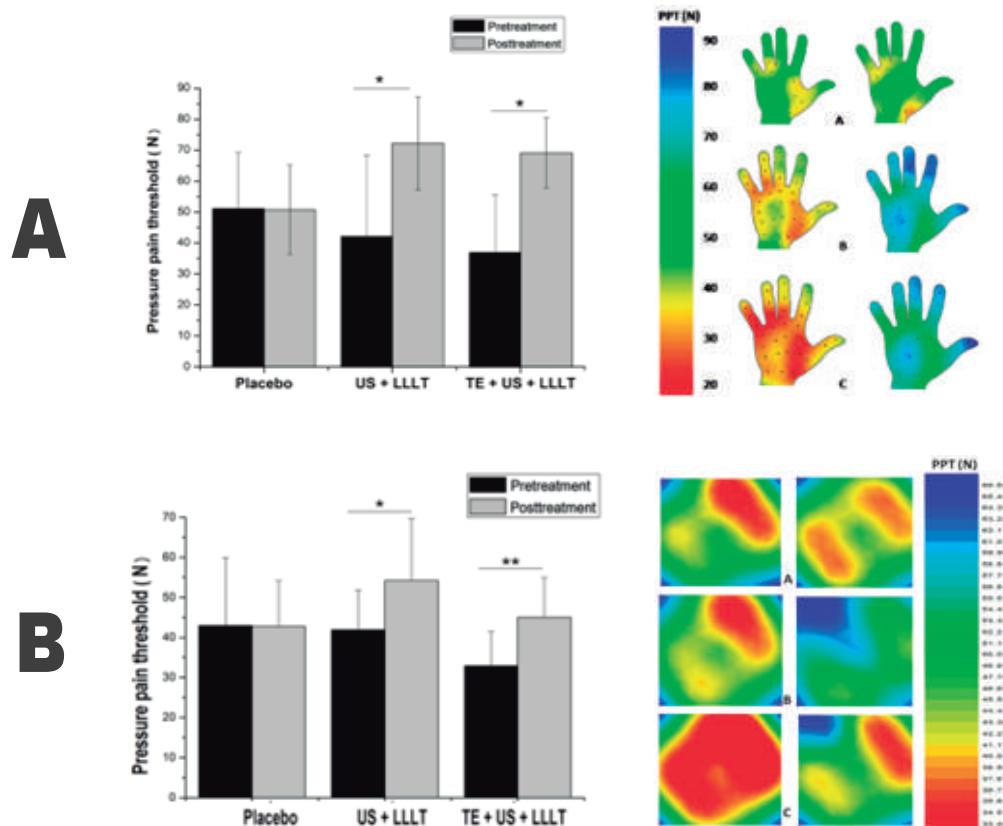
O equipamento de ultra-som combinado com laser reúne duas tecnologias em um só aparelho, seu uso simultâneo reduz o tempo de uma sessão e o número de sessões terapêuticas para atingir o plano de tratamento (acelera o processo de tratamento). Ainda, esse sistema de tratamento é não invasivo, apresenta praticidade, simplicidade na aplicação e sua portabilidade permite que os atendimentos não sejam somente realizados em clínicas, mas também em domicílio (sistema "home care"). Pessoas com dor e demais doenças, como de pele, neuromusculares, articulares, tendíneas e inflamatórias ou aquelas que sofreram lesões decorrentes do trabalho, esporte ou dia-a-dia podem se beneficiar com esta nova tecnologia. Ainda, apresenta elevada segurança e quando aplicado com o protocolo adequado deverá ter grande aceitação pelo profissional da saúde. Este equipamento é uma inovação tecnológica, pois propõe solução adequada para um grave problema social. Tecnologias não invasivas, como o US e o laser poderão beneficiar milhares de pessoas na prevenção e tratamento de doenças, principalmente nos casos de OA, não só em instituições privadas, mas também a partir da sua inclusão no sistema público de saúde. Ainda, poderá diminuir os altos custos com tratamentos associados aos problemas de saúde no Brasil, na América Latina e mesmo em todo mundo.

*FIGURA 6: Protótipo de ultrassom e laser com dois emissores de luz laser no centro do transdutor de US (A) e Produto com dois lasers no centro do transdutor do US, a luz azul indica o funcionamento do equipamento quando em contato com o tecido biológico (B).*



Estudos clínicos foram realizados com centenas de mulheres com OA e demonstraram a eficiência da técnica. A FIGURA 7 mostra o aumento significativo do limiar de dor por pressão, avaliado com um algômetro. Indicando a redução da dor quando o US com laser foi aplicado e também, quando associados aos exercícios terapêuticos em mão (A) e joelho (B) de mulheres com OA. No grupo placebo não houve diferenças significativas. Os dados são representados por mapa topográfico da mão e joelho (PAOLILLO et al., 2015; PAOLILLO et al., 2018).

*FIGURA 7: Limiar de dor em mão (A) e joelho (B) de mulheres com osteoartrite. Grupo Placebo: não recebeu tratamento. Grupo US+LLLT: grupo tratado com ultrassom e laser simultaneamente. Grupo TE+US+LLLT – grupo tratado com exercício terapêutico seguido da aplicação simultânea de ultrassom e laser. No pré-tratamento a área vermelha, amarela e verde referem-se ao menor limiar de dor e, no pós-tratamento a área azul refere-se ao maior limiar de dor, o que indica o tratamento da dor com a aplicação simultânea de US e laser.*



Estes resultados de tratamento da dor são extremamente relevantes, pois pacientes com dor, especialmente a dor crônica, evitam movimentos. Por sua vez, isso resulta em um comprometimento gradual de sua condição física, com redução, por exemplo, da força, flexibilidade, funcionalidade física e atividade ocupacional. Todas as recentes diretrizes recomendam exercícios terapêuticos para OA crônica, subaguda e pós-cirúrgica, para melhorar a funcionalidade física e a qualidade de vida.

Por tanto, foi constatado que o US com laser reduz a dor e melhora a funcionalidade. Não foi constatado efeito placebo. Esses achados têm implicações clínicas importantes para a medicina física e a reabilitação, pois o equipamento utilizado pode ser um complemento importante para o tratamento da OA.

#### **4.4 – PROTOCOLO DE TRATAMENTO**

Para a realização da intervenção utilizando o US com laser, recomenda-se conforme a possibilidade, fazer a tricotomia da região a ser tratada. Após o equipamento devidamente ligado, paciente e terapeuta devem colocar óculos de segurança devido à fototerapia e determinar os parâmetros a serem utilizados. Utilizar gel transparente para favorecer a transmissão da luz e em quantidade suficiente (em todo transdutor e com altura de até 1 cm) para garantir a transmissão das ondas ultrassônicas. A cabeça do transdutor deve ser movida com movimento circular e constante (~4-5 cm/s), de modo a diminuir o risco de queimaduras e evitar dor nos pacientes, devido ao estímulo de fibras sensoriais em pontos mais quentes ou à entrega de maior energia emitida pelo transdutor.

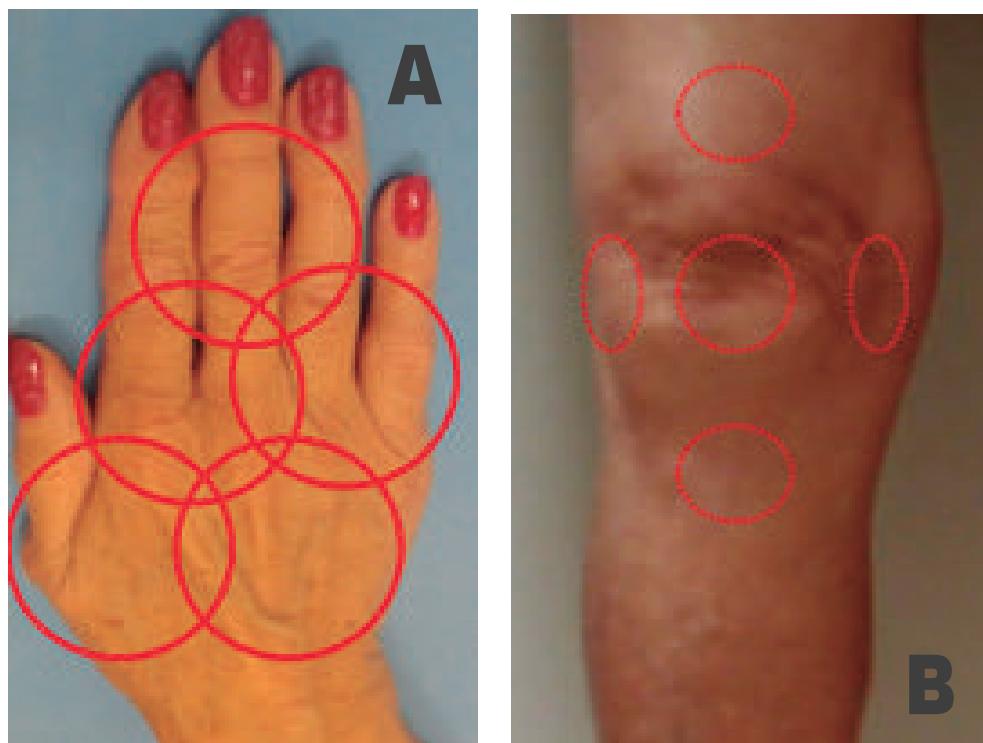
Sugere-se que em tratamentos articulares, como do joelho, seja realizado com flexão a 90° para favorecer a penetração da luz e permitir um efetivo efeito terapêutico.

Este recurso tecnológico pode ser aplicado em repouso ou em associação à atividade motora para favorecer a funcionalidade e autonomia dos pacientes.

As sessões terapêuticas devem ocorrer pelo menos uma vez por semana e o processo de alta deve ser feito gradualmente para que não haja exacerbação dos sintomas com a interrupção repentina do tratamento, pois a OA é uma doença crônica.

O equipamento de ultra-som combinado com laser pode ser aplicado em todas as articulações acometidas pela OA. Assim, alguns exemplos de pontos de aplicação para OA nas mãos e joelhos podem ser visualizados na FIGURA 8.

FIGURA 8: Pontos de aplicação fotossônica em mão (A) e joelho (B).



Em relação aos parâmetros do equipamento de ultra-som combinado com laser para OA, pode se utilizar tanto o modo pulsado quanto contínuo, de acordo com a fase aguda ou crônica em que se encontra o paciente.

Parâmetros para fase aguda ou crônica:

*Laser 808nm e/ou 660 nm, 100mW,  
US 1MHz, pulsado, 50%, 1W/cm<sup>2</sup>  
Tempo: 2 a 3 minutos por ponto*

Parâmetros apenas para fase crônica:

*Laser 808nm e/ou 660 nm, 100mW  
US 1MHz ,continuo, 1W/cm<sup>2</sup>  
Tempo: 2 a 3 minutos por ponto*

Porém, como todo manejo, o uso do dispositivo de ultrassom combinado com laser demanda atenção quanto a algumas contraindicações e cuidados, que são: não incidir sobre o globo ocular, útero gravídico, testículo, cérebro, epífises de crescimento em crianças e adolescentes, coração ou próximo à stent ou dispositivos eletrônicos implantados, como o marca passo cardíaco. Não promover aquecimento em área de deficiência circulatória e de insensibilidade. Não realizar o tratamento sobre a tromboflebite e trombose, infecções agudas, câncer e tumores. Não utilizar a técnica estacionária sobre placas, parafusos, hastes e próteses metálicas (ex: fixador interno, artroplastia de quadril ou joelho). O laser é contraindicado em pacientes com fotosensibilidade (com ou sem drogas fotossensibilizantes), devido ao risco de danos à pele.

Ainda, conforme abordado anteriormente, visando à melhora dos aspectos biomecânicos das articulações comprometidas pode-se associar ao uso do equipamento, protocolos de atividades motoras.

Apesar de todo o avanço tecnológico capaz de ampliar tanto a expectativa de vida quanto os recursos terapêuticos existentes, para um processo de reabilitação eficaz, deve-se considerar a condição de um paciente em lidar com sua questão de saúde. Isto é, favorecer sua tomada decisão, motivação e adesão são fatores determinantes para o desfecho terapêutico. Assim, o modelo de “prática centrada no cliente” (Miller 2016) ao considerar a participação dos pacientes, seus familiares e cuidadores na definição dos processos terapêuticos, conduz à satisfação com o serviço, além da aderência às recomendações feitas durante a sessão, melhorando os resultados funcionais e participação social.

Portanto, a aplicação do dispositivo de ultra-som combinado com laser apresenta-se como um potencial recurso no processo de reabilitação física por promover a analgesia, o aumento da funcionalidade e bem-estar de pessoas com OA.

## Referencial Bibliográfico

AKINBO, S.; OWOEYE, O.; ADESEGUN, S. Comparison of the Therapeutic Efficacy of Diclofenac Sodium and Methyl Salicylate Phonophoresis in the Management of Knee Osteoarthritis. *Turk J Rheumatol.* v26(2). 111-119p. 2011

ALLEN, R.J. Physical Agents Used in the Management of Chronic Pain by Physical Therapists. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* v17. 315–345p. 2006.

AMANO, A.; MIYAGI, K.; AZUMA, T.; ISHIHARA, Y.; KATSUBE, S.; AOYAMA, I.; SAITO, I. Histological Studies on the Rheumatoid Synovial Membrane Irradiated with a Low Energy Laser. *Lasers in Surgery and Medicine.* v15. 290-294p. 1994.

BAGNATO, V.S.; PAOLILLO, F.R.; Novos enfoques da fototerapia para condicionamento físico e reabilitação. 1. ed. São Carlos: Compacta Gráfica e Editora, 2014.

BAROLET, D. Light-Emitting Diodes (LEDs) in Dermatology. *SeminCutan Med Surg.* v27. 227-238p. 2008

BENNELL, K; HINMAN, R. Exercise as a treatment for osteoarthritis. *CurrOpinRheumatol;* v17. 634-40p. 2005

CARVALHO, D.C.L.; CARVALHO, M.M.; CLIQUET, A. Disuse Osteoporosis: Its relationship to Spine Cord Injured Patient Rehabilitation. *Acta Ortop. Bras.* v9(3). 34-43p. 2001.

CASTANO, A.P.; DAI, T.; YAROSLAVSKY, I. et al. Low-Level Laser Therapy for Zymosan-Induced Arthritis in Rats: Importance of Illumination Time. *Lasers in Surgery and Medicine.* v39. 543-550p. 2007

CEYLAN, Y.; HIZMETLE, S.; SILIG, Y. The Effects of Infrared Laser and Medical Treatments on Pain and Serotonin Degradation Products in Patients with Myofascial Pain Syndrome. A Controlled Trial. *Rheumatol. Int.* v24. 260-263p. 2004.

CHEUNG, K.; HUME, P.; MAXWELL, L. Delayed Onset Muscle Soreness: Treatment Strategies and Performance Factors. *Sports Medicine.* v33(2). 145-164p. 2003.

CHOW, R.T.; DAVID, M.A.; ARMATI, P.J. 830 nm Laser Irradiation Induces Varicosity Formation, Reduces Mitochondrial Membrane Potential and Blocks Fast Axonal Flow in Small and Medium Diameter Rat Dorsal Root Ganglion Neurons: Implications for the Analgesic Effects of 830 nm Laser. *Journal of the Peripheral Nervous System* v12. 28-39p. 2007

CRANE, D.; EVERTS, P.A.M.; Platelet Rich Plasma (PRP) Matrix Grafts. Practical Pain Management. v8. 12-26p. 2008.

DA ROSA, A.S.; DOS SANTOS, A.F.; DA SILVA, M.M.; PERREIRA, D.M.; ALVES, A.C.; LEAL JÚNIOR, E.C.; DE CARVALHO, P.D. Effects of Low-Level Laser Therapy at Wavelengths of 660 nm and 808 nm in Experimental Model of Osteoarthritis. PhotochemPhotobio. 1751-1097p. 2001.

FELSON, D.T. et al. Osteoarthritis: New Insights. Ann Intern Med., v133. 726-737p. 2000.

FERRARESI, C.; HAMBLIN, M.R.; PARIZOTTO, N.A.; Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. Photonics and Lasers in Medicine. v1. 267-286p. 2012a.

FERRARESI, C.; PANEPUCCI, R.; REIFF, R. ET AL. Molecular effects of low-level laser Therapy (808nm) on human muscle performance. Phys-Ther Sport, 13[abstract], e5. 2012b

GUR, A.; COSUT, A.; SARAC, A.J.; CEVIK, R.; NAS, K.; UYAR, A. Efficacy of different therapy regimes of low-power laser in painful osteoarthritis of the knee: a double-blind and randomized-controlled trial. Lasers Surg Med. v33(5). 330-8p. 2003.

HARR, D. Therapeutic ultrasound. European Journal of Ultrasound. v9. 3-9p. 1999

HEGEDUS, B.; VIHAROS, L.; GERVAIN, M.; GÁLFI, M.; The effect of low-level laser in knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. Photomed Laser Surg. v27(4). 577-584p. 2009.

IASP. Pain terms: a list with definitions and notes on usage: recommended by the IASP Subcommittee on Taxonomy. v6. 249p. 1979

KOEKE, P.U.; PARIZOTTO, N.A.; CARRINHO, P.M.; SALATE, A.C.B. Comparative study of the efficacy of the topical application of hydrocortisone, therapeutic ultrasound and phonophoresis on the tissue repair process in rat tendons. Ultrasound in Med. & Biol. v31(3). 345-350p. 2005

KOZANOGLU et al. Short term efficacy of ibuprofen phonophoresis versus continuous ultrasound therapy in knee osteoarthritis. Swiss Med Wkly, 133:333-338. 2003

LAVON, I.; KOST, J. Ultrasound and transdermal drug delivery. Drug Discovery Today. v9(15). 670-676p. 2004

LIN, Y.S.; HUANG, M.H.; CHAI, C.Y.; Effects of helium-neon laser on the mucopolysaccharide induction in experimental osteoarthritic cartilage. *Osteoarthritis Cartilage*. v14(4). 377-383p. 2006.

MARKS, R.; ALLEGRAnte, J.P. Chronic osteoarthritis and adherence to exercise: a review of the literature. *J Aging Phys Act.* 13(4):434-60. 2005.

MASON, T.J.; Therapeutic ultrasound an overview. *Ultrasonics Sonochemistry*. v18. 847-852p. 2011

MCALINDON, T.E.; BANNURU, R.R.; SULLIVAN, M.C. et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* v22. 363-388p. 2014.

MERSKEY, H. An Investigation of Pain in Psychological Illness, DM Thesis, Oxford. 1964

MICHAEL, J.W.P.; SCHLÜTER-BRUST, K.U.; EYSEL, P. The Epidemiology, Etiology, Diagnosis, and Treatment of Osteoarthritis of the Knee. *Dtsch ArzteblInt*, v107(9). 152–162p. 2010

MILLER, K.L. Patient centered care: A path to better health outcomes through engagement and activation. *Neuro Rehabilitation*. v39(4). 465-470p. 2016.

MORRONE, G.; GUZZARDELLA, G.A.; TORRICELLI, P.; ROCCA, M.; TIGANI, D.; BRODANO, G.B.; FINI, M.; GIARDINO, R. Osteochondral lesion repair of the knee in the rabbit after low-power diode Ga-Al-As laser biostimulation: an experimental study. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. v28(4). 321-336p. 2000.

NAITO et al. Low-Intensity Pulsed Ultrasound (LIPUS) Increases the Articular Cartilage Type II Collagen in a Rat Osteoarthritis Model. *Journal of Orthopaedic Research*. v28(3). 361-369p. 2010.

NARDIN, M.; FRANKEL, V. Biomecânica básica do sistema musculoesquelético. Ed. Guanabara Koogan, 4<sup>a</sup> ed. 2014.

PAOLILLO, A.R.; PAOLILLO, F.R.; JOAO, J.P.; JOAO, H.A.; BAGNATO, V.S.; Synergic effects of ultrasound and laser on the pain relief in women with hand osteoarthritis. *Lasers in Medical Science*. v30. 279-286p. 2015.

PAOLILLO, F.R.; GOBBI, S. Inovação Tecnológica: Fotoestimulação e exercício físico. *Revista do Conselho Federal de Educação Física (CONFED)*. [http://www.confed.org.br/extra/revistaef/arquivos/2015/N57\\_SE-TEMBRO/08\\_INOVACAO\\_TECNOLOGICA.pdf](http://www.confed.org.br/extra/revistaef/arquivos/2015/N57_SE-TEMBRO/08_INOVACAO_TECNOLOGICA.pdf). 2005.

PAOLILLO, F.R.; PAOLILLO, A.R.; JOAO, J.P.; FRASCA, D.; DUCHENE, M.; JOAO, H.A.; BAGNATO, V.S. Ultrasound plus low-level laser therapy for knee osteoarthritis rehabilitation: a randomized, placebo-controlled trial. *Rheumatology International*. v38. 785-793p. 2018

SARZI-PUTTINI, P.; CIMMINO, M.A.; SCARPA, R.; CAPORALI, R.; PARAZZINI, F. et al. Osteoarthritis: an overview of the disease and its treatment strategies. *Semin Arthritis Rheum*. v35. 1-10p. 2005.

SCHLICHER, R.K.; RADHAKRISHNA, H.; TOLENTINO, T.P.; APKARIAN, R.P.; ZARNITSYN, V.; PRAUSNITZ, M.R. Mechanism of Intracellular Delivery By Acoustic Cavitation, *Ultrasound in Med. & Biol.* v32(6). 915–924p. 2006.

SEGAL, N.A. et al. Effect of Quadriceps Strength and Proprioception on Risk for Knee Osteoarthritis. *Med. Sci. Sports Exerc.* v42(11). 2081-2088p. 2010.

STITIK et al. Rehabilitation of Orthopedic and Rheumatologic Disorders. 2. Osteoarthritis Assessment, Treatment, and Rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil.* v86. 48-55p. 2005.

VLADIMIROV, Y.A.; OSIPOV, A.N.; KLEBANOV, G.I. Photobiological Principles of Therapeutic Applications of Laser Radiation. *Biochemistry (Moscow)*. v69. 81-90p. 2004.

ZHANG, W. et al.. EULAR evidence based recommendations for the management of hand osteoarthritis: Report of a Task Force of the EULAR Standing Committee for International Clinical Studies Including Therapeutics (ESCISIT). *Ann Rheum Dis*. v66. 377-388p. 2007.

ZHANG, W.; DOHERTY, M.; LEEB, B.F. et al. (2007) EULAR evidence based recommendations for the management of hand osteoarthritis: report of a Task Force of the EULAR Standing Committee for International Clinical Studies Including Therapeutics (ESCISIT). *Ann Rheum Dis* v66(3). 377-388p. 2007.

ZHANG, Y.; JORDAN, J. Epidemiology of Osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North*. 2010.