

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

Alexander Rodrigues de Souza<sup>1</sup>, Lucas Machado Sulzbacher<sup>2</sup>, Evandro Tatim da Silva<sup>3</sup>

Diovana Gelati de Batista<sup>4</sup>, Guilherme Pimentel Soares Lima<sup>5</sup>, Juliana Furlanetto Pinheiro<sup>6</sup>

Welerson Roberto dos Reis<sup>7</sup>, João Vinícius Müller Kaufmann<sup>8</sup>, Gabriele Maria Callegaro Serafini<sup>9</sup>

Maicon Machado Sulzbacher<sup>10</sup>, Pauline Brendler Goettems Fiorin<sup>11</sup>, Mirna Stela Ludwig<sup>12</sup>

Thiago Gomes Heck<sup>13</sup>, Matias Nunes Frizzo<sup>14</sup>

Destaques: (1) Tratamento de feridas com cicatrização por segunda intenção. (2) Silício orgânico (15%) promover repara tecidual em ferida de pele. (3) Pesquisa para inovação terapêutica em modelo experimental.

PRE-PROOF

(as accepted)

Esta é uma versão preliminar e não editada de um manuscrito que foi aceito para publicação na Revista Contexto & Saúde. Como um serviço aos nossos leitores, estamos disponibilizando esta versão inicial do manuscrito, conforme aceita. O artigo ainda passará por revisão, formatação e aprovação pelos autores antes de ser publicado em sua forma final.

<http://dx.doi.org/10.21527/2176-7114.2025.50.14457>

<sup>1</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-9418-4087>

<sup>2</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-1463-4958>

<sup>3</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-7886-3162>

<sup>4</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-4960-4561>

<sup>5</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-6215-7001>

<sup>6</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0009-0000-8013-2895>

<sup>7</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-0211-1882>

<sup>8</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-8101-6140>

<sup>9</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-6202-5612>

<sup>10</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-9375-0745>

<sup>11</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-4418-568X>

<sup>12</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0003-0300-1511>

<sup>13</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-1242-5423>

<sup>14</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí/RS, Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-5578-4656>

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

Como citar:

de Souza AR, Sulzbacher LM, Da Silva ET, de Batista DG, Lima GPSL, Pinheiro JF. et al. Silício orgânico na aceleração da cicatrização tecidual em feridas com cicatrização por segunda intenção. Rev. Contexto & Saúde. 2025;25(50):e14457

### RESUMO

**Objetivo:** Avaliar a eficácia e segurança de diferentes concentrações de silício orgânico no reparo tecidual em ferida com cicatrização por segunda intenção. **Método:** Foram utilizados 27 ratos *Wistar*, divididos em 5 grupos: Controle (n=5), Hidrogel (n=5), Silício 5% (n=5), Silício 10% (n=6) e Silício 15% (n=6). Para tanto foi realizada uma incisão e dissecação do tecido na região da linha média dorsal próximo às escápulas, até a fáscia muscular (2 cm<sup>2</sup> de área). Na sequência foram realizadas a limpeza da ferida diariamente com soro fisiológico e gaze, em todos os animais com posterior tratamento com silício orgânico nas concentrações de 5%, 10%, 15%, e hidrogel respectivamente. Ao fim dos 23 dias foi realizada a eutanásia e coleta de sangue para análise hematológica e bioquímica. **Resultados:** O tratamento com silício orgânico 15% foi mais eficaz na queda da crosta e no reparo tecidual da lesão. A segurança do silício no tratamento das feridas foi demonstrada a partir dos exames laboratoriais não indicaram toxicidade hematológica, hepática e renal com o tratamento proposto. **Conclusão:** O silício orgânico 15% é eficaz para acelerar a cicatrização de feridas por segunda intenção e não demonstrou nenhum efeito tóxico em parâmetros hematológicos, metabólicos, hepáticos e renais.

**Palavras chave:** Silício; Cicatrização de Feridas; Ratos Wistar; Tratamento.

### INTRODUÇÃO

As lesões epiteliais na pele podem acarretar feridas que comprometem as suas funções primordiais de barreira e manutenção da saúde para o organismo humano, e independentes do seu grau de classificação (gravidade do comprometimento da pele), sempre geram preocupação dos profissionais de saúde<sup>(1)</sup>. Sabe-se que existe uma relação entre o prejuízo na cicatrização

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

tecidual com a gravidade do estado de saúde na recuperação de pacientes, tornando-os susceptíveis a uma piora clínica, como a coinfeção bacteriana grave<sup>(2)</sup>, assim como a perda da manutenção da temperatura corporal<sup>(3)</sup>. Quando se trata de recuperação e cicatrização de feridas, há uma série de fatores locais e sistêmicos envolvidos como o tamanho da lesão, sua localização, presença de contaminantes, comorbidades do indivíduo e fatores nutricionais<sup>(4)</sup>.

As feridas com cicatrização por segunda intenção, são as lesões de pele mais comumente encontradas em situações clínicas em hospitais e unidades básicas de saúde. Estas feridas são caracterizadas por considerável destruição de tecido tegumentar, e por isso não há possibilidade de realizar sutura, sendo que sua cicatrização ocorre a partir da contração dos tecidos até que ocorra o fechamento total dos mesmos. Esse tipo de lesão ainda torna o indivíduo suscetível ao acontecimento de processos infecciosos, prejudicando e retardando a cicatrização das mesmas<sup>(5)</sup>.

Os tratamentos para feridas com cicatrização por segunda intenção consistem em promover o controle de exsudato, hidratação do tecido vitalizado, além de auxiliar no desbridamento autolítico, como as placas de hidrocolóide, hidrofibra e alginato de cálcio<sup>(6)</sup>. Em contrapartida, essas coberturas, por vezes, apresentam um custo muito elevado<sup>(7)</sup>, e ainda são necessárias coberturas inovadoras que propiciem uma cicatrização mais rápida, diminuindo os riscos de infecções secundárias. A pele é composta por diferentes macromoléculas, na medida que destaca-se a sua estrutura formada por fibras proteicas. Em vista disso, pesquisadores já vêm discutindo sobre a importância da manutenção das fibras teciduais para a recuperação da integridade da pele<sup>(8)</sup>.

Nesse sentido, já vêm sendo propostos estudos na busca por novos compostos para a realização de tratamentos no processo de cicatrização de feridas, sendo um desses o silício orgânico. O silício orgânico é um metal de transição proveniente da sílica, um dos minerais mais abundantes presente na crosta da Terra, porém no corpo humano o mesmo encontra-se no formato de ésteres, sendo derivado do ácido silícico, fazendo parte da constituição de ossos, vasos sanguíneos, cartilagens e tendões. Na área estética o silício orgânico já é utilizado para induzir a produção de colágeno e regeneração da pele<sup>(9)</sup>.

## **SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

As intervenções farmacológicas podem induzir a toxicidade no organismo, mesmo que administradas pela via tópica cutânea como em intervenções em feridas com cicatrização por segunda intenção, sendo que ainda podem ter efeitos sistêmicos<sup>(10)</sup>. O que pode ser observado em modelos experimentais a partir de modificações hematológicas<sup>(11)</sup>, bioquímicas (marcadores de lesão renal e hepática)<sup>(12)</sup>, assim como o consumo de água e ração e peso corporal<sup>(13)</sup>.

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia e segurança de diferentes concentrações do silício orgânico em feridas com cicatrização por segunda intenção.

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **Delineamento do Estudo**

Trata-se de um estudo com modelo experimental animal, randomizado, in vivo e prospectivo. O estudo foi estratificado em três etapas, sendo na primeira realizada a produção dos produtos de silício orgânico. Na segunda etapa foi realizada a cirurgia e na terceira etapa o tratamento dos animais. Ao final de 23 dias de acompanhamento, os animais foram eutanasiados para coleta de amostras biológicas e tecidos.

#### **Aspectos Éticos**

O presente estudo seguiu as recomendações do COBEA - Colégio Brasileiro de Experimentação Animal, sendo aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da UNIJUI, protocolo 005/20, aprovação em 03/07/2020.

#### **Local do Estudo**

O estudo foi realizado no Laboratório de Ensaio Biológicos e no Biotério da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, sob autorização dos responsáveis pelo local.

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

### Animais

Foram utilizados 27 ratos machos adultos da linhagem Wistar (*Rattus norvegicus albinus*) com 36 semanas de idade, tendo um peso médio de  $487,56 \pm 52,35$  g, provenientes do biotério da UNIJUÍ. Os animais foram mantidos em caixas forradas com maravalha, sendo distribuídos 2 ou 3 animais por caixa, com iluminação artificial de ciclo claro-escuro de 12 horas, em temperatura ambiente a  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  e com livre acesso à água e ração.

### Grupos Experimentais

Os animais foram distribuídos aleatoriamente em 5 grupos: Grupo Controle (n= 5) e Grupo Silício 5% 1 (n= 5), Grupo Silício 10% (n= 6), Grupo Silício 15% (n= 6) e Grupo Hidrogel (n= 5). O silício orgânico já é utilizado na indústria de cosméticos demonstrando eficácia na melhora da textura da pele na concentração de 5%(13) e 8%. Neste sentido, testamos a dose de 5% assim como as concentrações exponencialmente maiores de 10 e 15% para avaliar seu efeito na cicatrização em doses próximas aos produtos estéticos comerciais. O Hidrogel Helianto foi o produto de referência para utilização no tratamento de feridas de segunda intenção. Este é um produto não estéril. Registro ANVISA 80225200017.

### Consumo de água e ração

O consumo de água e ração foi verificado a cada três dias. O consumo médio foi estimado pela relação entre a oferta e o consumo: [(oferta total/caixa – consumo total/caixa)/número de animais por caixa](14).

### Etapa 1:

Foi realizada a formulação dos produtos de silício orgânico nas concentrações de 5%, 10% e 15%, para tratamento das lesões posteriormente à cirurgia.

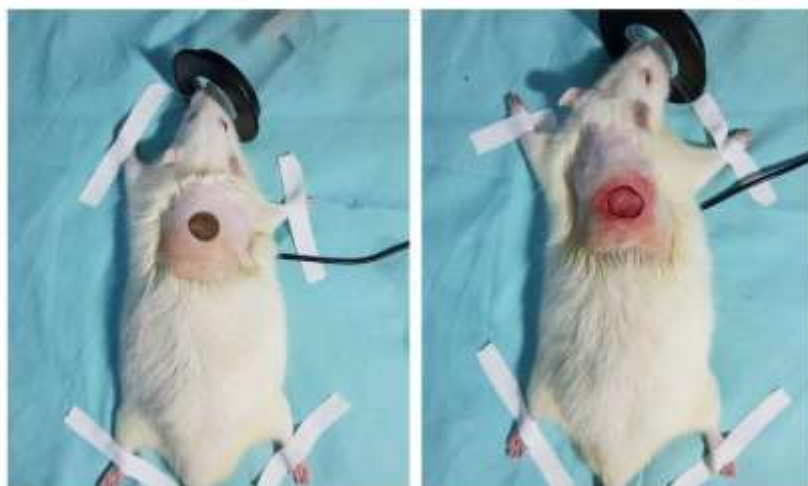
### Etapa 2:

O procedimento para realização da lesão cutânea ocorreu em um hospital veterinário, por um médico veterinário. Para a anestesia utilizou-se medicação pré-anestésica composta por petidina (15mg/kg, intraperitoneal). Após 10 minutos o animal foi induzido e mantido com

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

isofluorano via máscara facial diluído em oxigênio a 100%. Em seguida, foi realizada a tricotomia ampla da região dorsal com posterior antissepsia composta por clorexidine degermante a 2% e clorexidine alcoólico a 0,5%. Durante a anestesia, a frequência cardíaca era monitorada por Doppler e a frequência respiratória por movimentos torácicos.

A ferida cutânea foi realizada próximo a escápula (linha média dorsal) no animal posicionado em decúbito ventral, com uma incisão de 2 cm com bisturi (lâmina 11) e tesoura de Metzambaum (Figura 1). Ao fim do procedimento, foi administrado 2mg/kg de meloxicam, sendo esta dosagem repetida após 24h da cirurgia por via subcutânea. Cada animal foi identificado na cauda, utilizando uma caneta dermográfica.



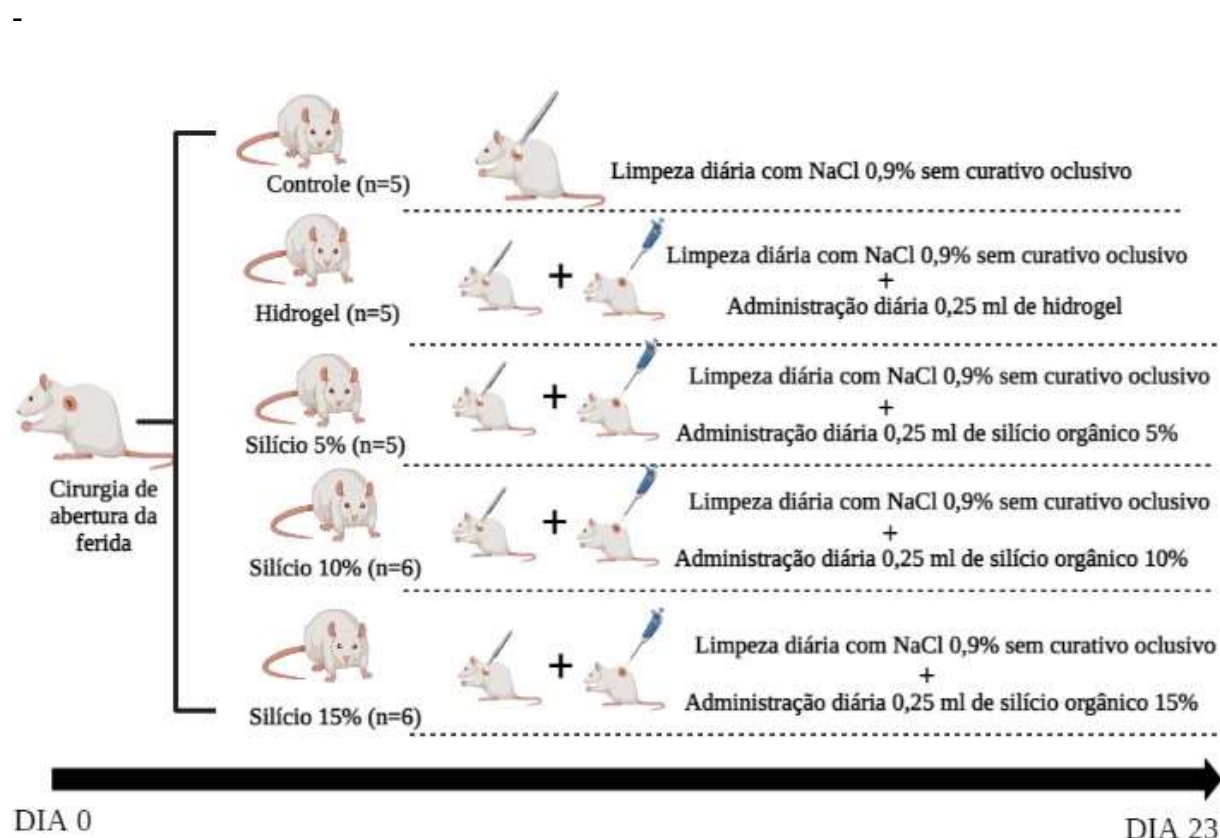
**Figura 1** - Molde cirúrgico de 2 cm<sup>2</sup> de área antes do procedimento e após, o resultado do corte cirúrgico.

### **Etapa 3:**

O tratamento dos animais foi realizado diariamente após a realização da lesão cutânea. A dose administrada foi padronizada através da utilização de seringa de insulina de 100 UI, utilizando-se um volume de 25 UI, equivalente a 0,25 ml de produto (com as concentrações de 5%, 10, ou 15%) (grupos Silício 5, 10, e 15% respectivamente) ou o produto comercial padronizado hidrogel (*Helianto*) (grupo Hidrogel) ou apenas a limpeza da ferida com soro

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

fisiológico (NaCl 0,9%) (grupo Controle). Todos os grupos experimentais receberam a limpeza da ferida diariamente com soro fisiológico (NaCl 0,9%) sem curativo oclusivo:



**Figura 2** - Grupos experimentais e suas respectivas intervenções. Criado com BioRender.com

### Avaliação macroscópica das lesões

Foi realizada observação e registro das lesões dos animais de todos os grupos, durante o tempo de tratamento, em relação às características das lesões, incluindo a formação da placa de coágulo de fibrina. Os dados foram plotados em tabela do excel conforme o tempo para a queda total da placa de fibrina, por animal e tempo de fechamento completo das lesões e reepitelização.

## **SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

### **Fotografias das lesões**

As fotografias foram um meio para avaliarmos a queda da placa de coágulo e a cicatrização, bem como para as análises estatísticas. Essas ocorreram a cada dois dias, iniciando no dia 1, logo após a cirurgia. O tempo de tratamento foi de 23 dias, semelhante ao estudo de Steffani et al.<sup>(16)</sup>.

### **Eutanásia**

Ao final do estudo, os animais foram submetidos à eutanásia por decapitação em guilhotina para roedores, sem anestesia, para obtenção do sangue total para análise hematológica.

O grau de severidade para este procedimento é considerado sem recuperação. A morte dos animais sob anestesia, apesar de desejável, era incompatível com os objetivos deste estudo porque os anestésicos comumente utilizados em estudos experimentais com animais levam a uma intensa hiperglicemia em roedores<sup>(16)</sup>. Os animais foram decapitados com guilhotina em ambiente exclusivamente destinado à morte dos mesmos, com exaustão e higienização completa de todo o material entre a morte de um animal e outro. A decapitação foi efetuada no Laboratório de Ensaios Biológicos, sob supervisão do médico veterinário (responsável pelo Biotério – UNIJUÍ) e equipe com experiência prévia.

### **Análises Bioquímicas e Hematológicas**

#### **Hemograma**

Para determinação de parâmetros hematológicos, o sangue foi acondicionado em tubo com anticoagulante (EDTA) (5 µL de EDTA, para cada 500 µL de sangue). Para a determinação automatizada foi utilizado o analisador hematológico Micros 60® (Horiba), seguindo as recomendações do fabricante. Obtendo-se os seguintes parâmetros: contagem total de hemácias (RBC); hematócrito (HCT); hemoglobina (HGB); índices hematimétricos, como volume corpuscular médio (VCM), hemoglobina corpuscular média (HCM) e concentração de hemoglobina corpuscular média (CHCM); faixa de distribuição de eritrócitos (RDW),

## **SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

contagem total de leucócitos, contagem relativa e absoluta de leucócitos (neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfócitos e monócitos) e contagem de plaquetas. As amostras foram diluídas 1:2 com solução salina 0,9 % e realizadas em triplicata. Após, foram realizadas distensões hematológicas em lâmina, corados com coloração Giemsa May Grunwaldt e analisadas por profissional com experiência na área, para cada lâmina será feita uma contagem de 100 células.

### **Enzimas Hepáticas**

As dosagens das fosfatase alcalina, transaminase glutâmico - pirúvica (TGP) e gama-glutamil transferase ( $\gamma$ -GT) foram realizadas por metodologias cinéticas com reações de ponto final em amostras de soro. Para realização destas análises foram utilizados kits da da Labtest®, leitura através da automação Audmax 249 – Labtest, utilizando aproximadamente 50  $\mu$ L de soro por animal e 300  $\mu$ L de reagente para cada análise realizada. Os resultados foram expressos em U/L.

### **Metabólitos Renais**

As dosagens de creatinina foram realizadas por metodologias cinéticas com reações de ponto final em amostras de soro. Para realização destas análises foram utilizados kits da Labtest®, leitura através da automação Audmax 249 – Labtest, utilizando aproximadamente 50  $\mu$ L de soro por animal e 300  $\mu$ L de reagente para cada análise realizada. Os resultados foram expressos em U/L. As dosagens de ácido úrico foram expressas em mg/dL.

A análise estatística foi realizada por meio de procedimentos descritivos (medidas de tendência central e dispersão) e interferências (ANOVA de uma e duas vias, com medidas repetidas, seguida do pós-teste de Tukey e teste de correlação de Pearson). Toda a análise estatística foi realizada no programa GraphPad Prism 7.0, considerando um nível de significância de  $P < 0,05$ .

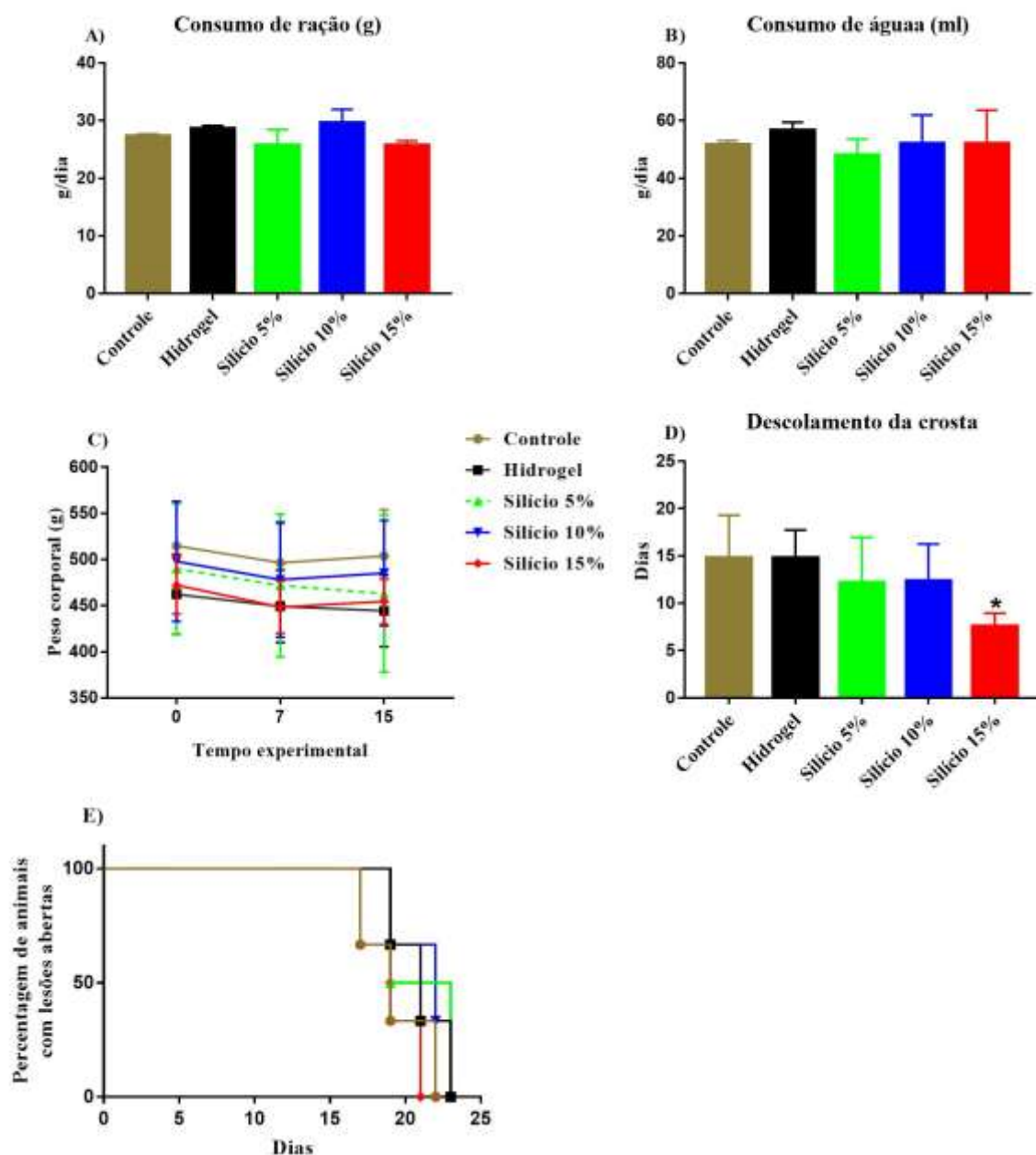
## **SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

### **RESULTADOS**

Em relação ao consumo diário de ração e água não identificamos diferença entre os grupos avaliados. Também não identificamos diferença no peso dos animais dos grupos experimentais ao longo do estudo, demonstrando que os produtos de silício não alteraram os comportamentos alimentares dos animais assim como o grupo controle e tratados com hidrogel (Figura 3A,B,C).

Identificamos que o tratamento com silício orgânico a 15% acelerou o descolamento da placa de coágulo de fibrina, nas lesões com cicatrização por segunda intenção, resultando em queda total da placa de coágulo até o dia 10 do experimento (Figura 3D). Além disso, o silício orgânico na concentração de 15% demonstrou maior velocidade no fechamento total das lesões de todos os animais (figura 3E), demonstrando ser a concentração de escolha para o tratamento deste tipo de feridas.

# SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO



**Figura 3** - Avaliação do consumo alimentar (A), hídrico (B) e peso corporal durante o período experimental. Análise estatística realizada a partir de teste de *Kruskal Wallis*, seguido de pós-teste de *Dunn's* (A, B e D), ANOVA de duas vias seguido de pós teste de *Tukey* (C) e análise descritiva do percentual do reparo tecidual e cicatrização da ferida durante o período experimental (E).

**SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL  
EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

Nas avaliações hematológicas e bioquímicas não encontramos diferenças entre os resultados dos exames laboratoriais dos grupos experimentais, desta forma o silício orgânico não demonstrou nenhum efeito tóxico sobre parâmetros laboratoriais hematológicos, metabólicos, hepáticos e renais.

**Tabela 1.** Análises dos parâmetros laboratoriais, nos diferentes grupos experimentais.

| <b>Parâmetros Laboratoriais</b>                       | <b>Controle</b> | <b>Hidrogel Helianto</b> | <b>Silício 5%</b> | <b>Silício 10%</b> | <b>Silício 15%</b> | <b>P</b> |
|-------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------|
| <b>RBC (<math>10^6</math> /mm<sup>3</sup>)</b>        | 6,9 ± 0,56      | 7,76 ± 0,29              | 7,10 ± 0,71       | 7,22 ± 0,43        | 7,14 ± 0,42        | 0,07     |
| <b>HGB (g/dL)</b>                                     | 12,5 ± 0,99     | 13,7 ± 0,83              | 13,8 ± 1,83       | 13,2 ± 0,74        | 12,9 ± 0,70        | 0,42     |
| <b>HCT (%)</b>                                        | 35,8 ± 2,9      | 39,9 ± 2,1               | 39,5 ± 4,3        | 37,9 ± 2,5         | 37,4 ± 2,5         | 0,24     |
| <b>MCV (L/fm<sup>3</sup>)</b>                         | 52 ± 1,41       | 51,2 ± 1,78              | 53,8 ± 1,30       | 52,2 ± 1,30        | 52,33 ± 1,50       | 0,14     |
| <b>MCH (L/pg)</b>                                     | 18,1 ± 0,28     | 17,6 ± 0,70              | 19,4 ± 0,4        | 18,3 ± 0,54        | 18,1 ± 0,50        | 0,16     |
| <b>MCHC (g/dL)</b>                                    | 35,0 ± 0,78     | 34,2 ± 0,43              | 34,8 ± 1,45       | 34,9 ± 0,59        | 34,6 ± 0,80        | 0,49     |
| <b>RDW (%)</b>                                        | 13,5 ± 1,41     | 13,0 ± 0,25              | 13,7 ± 0,69       | 12,9 ± 0,48        | 13,0 ± 0,52        | 0,3      |
| <b>WBC (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b>         | 2,44 ± 0,71     | 2,76 ± 0,47              | 2,82 ± 1,49       | 2,8 ± 0,50         | 3,46 ± 1,22        | 0,75     |
| <b>Neutrófilos (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b> | 520 ± 153       | 558 ± 102                | 590 ± 270         | 610 ± 109          | 694 ± 228          | 0,74     |
| <b>Eosinófilos (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b> | 24,4 ± 7,12     | 27,6 ± 4,77              | 28 ± 11           | 28 ± 5,09          | 34 ± 12            | 0,75     |
| <b>Basófilos (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b>   | 0               | 0                        | 0                 | 0                  | 0                  | 0        |
| <b>Monócitos (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b>   | 19,2 ± 6,22     | 20,3 ± 3,22              | 21,4 ± 7,00       | 18,2 ± 9,86        | 25,9 ± 9,07        | 0,85     |
| <b>Linfócitos (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b>  | 1696 ± 492      | 1970 ± 345               | 1986 ± 799        | 1942 ± 353         | 2474 ± 907         | 0,73     |
| <b>PLT (<math>10^3</math>/mm<sup>3</sup>)</b>         | 764 ± 121       | 866 ± 92                 | 774 ± 106         | 736 ± 98           | 866 ± 77           | 0,11     |

**SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL  
EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

|                                     |              |              |              |              |              |      |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|
| <b>PCT (%)</b>                      | 517 ± 72     | 618 ± 85     | 527 ± 73     | 482 ± 48     | 585 ± 67     | 0,07 |
| <b>MPV (fm<sup>3</sup>)</b>         | 6,8 ± 0,33   | 7,16 ± 0,35  | 8,82 ± 4,53  | 6,58 ± 0,23  | 6,75 ± 0,32  | 0,23 |
| <b>PDW (%)</b>                      | 9,6 ± 1,30   | 9,0 ± 2,09   | 10,5 ± 0,40  | 10,3 ± 1,33  | 9,0 ± 3,88   | 0,32 |
| <b>Fosfatase Alcalina<br/>(U/L)</b> | 10,0 ± 0,0   | 10,0 ± 0,0   | 10,0 ± 0,0   | 10,0 ± 0,0   | 10,0 ± 0,0   | 0    |
| <b>TGP (U/L)</b>                    | 74,0 ± 14,50 | 72,8 ± 16,76 | 84,4 ± 21,15 | 78,7 ± 14,48 | 94,8 ± 35,22 | 0,69 |
| <b>GGT (U/L)</b>                    | 7,0 ± 0,0    | 7,0 ± 0,0    | 7,2 ± 0,44   | 7 ± 0,0      | 7 ± 0,0      | 0,35 |
| <b>Ácido Úrico<br/>(mg/dL)</b>      | 0,85 ± 0,60  | 0,30 ± 0,27  | 0,50 ± 0,0   | 0,50 ± 0,0   | 0,86 ± 0,63  | 0,9  |
| <b>Creatinina<br/>(mg/dL)</b>       | 0,25 ± 0,04  | 0,28 ± 0,06  | 0,27 ± 0,02  | 0,28 ± 0,11  | 0,27 ± 0,02  | 0,82 |

**Legenda:** Média ± desvio padrão dos parâmetros hematológicos, metabólicos, hepáticos e renais na data da eutanásia. A análise estatística foi realizada a partir de teste de *Kruskal Wallis* e ANOVA de uma via. RBC = Contagem de eritrócitos; HGB = Hemoglobina; HCT = Hematócrito; MCV = Volume corpuscular médio; MCH = Hemoglobina corpuscular média; MCHC = Concentração média de hemoglobina corpuscular; RDW = Largura de distribuição de células vermelhas; WBC = Contagem de leucócitos totais; PLT = Contagem absoluta de plaquetas; PCT= Contagem relativa de plaquetas; MPV = Volume plaquetário médio; PDW = Amplitude de distribuição plaquetária; TGP= Transaminase glutâmico pirúvica; GGT = Gama glutamil-transferase.

## DISCUSSÃO

O silício orgânico a 15% mostrou ser um produto inovador para acelerar o tempo de cicatrização das lesões na pele dos animais. Esta concentração de silício acelerou tanto a queda da placa de coágulo quanto a proliferação tecidual e fechamento total das lesões após a reepitelização, demonstrando ser a concentração com potencial utilização para o tratamento de feridas com cicatrização por segunda intenção.

A placa de coágulo é formada durante a fase inflamatória das lesões, sendo que a permanência deste coágulo no leito das lesões (crosta), caracteriza-se por ser um tecido desvitalizado<sup>(18)</sup>. Após a formação desta crosta pode ser observado a fase de proliferação tecidual, que acontece pela ativação dos macrófagos e migração dos fibroblastos para a síntese de colágeno e elastina. Estas irão caracterizar o término do processo de cicatrização, já que este

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

tecido regenerado inicia o processo de deslocamento da placa<sup>(19)</sup>. Para auxiliar no processo cicatricial, os diferentes tipos de cobertura têm o intuito de permitir e potencializar a proliferação tecidual para realizar uma função curativa e consequentemente protetora da integridade da pele o mais rápido possível, para evitar possíveis complicações secundárias como infecções, diferentes injúrias teciduais ao contato da pele não íntegra com diferentes substâncias.

O hidrogel é um agente curativo que promove a hidratação dos tecidos das lesões e consequentemente um ambiente úmido, o que favorece o processo de cicatrização. Ainda este produto possui alginato de cálcio que possibilita o desbridamento de tecido desvitalizado contribuindo para a proliferação tecidual. No entanto, o silício orgânico, além da hidratação tecidual, age na melhora das características da pele, tais como: elasticidade, flexibilidade e indução da produção de novas fibras colágenas<sup>(20)</sup>.

O silício é um componente essencial para as proteínas estruturais fibrosas, glicoproteínas, proteoglicanos e ácido hialurônico<sup>(20)</sup>, que por sua vez podem contribuir para a estrutura e reparação tecidual<sup>(21)</sup>. O silanetriol (silício orgânico), já foi demonstrado como um oligoelemento necessário para a formação de tecidos conjuntivos (músculo esquelético), na síntese e reorganização de fibras de colágeno e elastina, promovendo regeneração, flexibilidade e sustentação da pele, o que demonstra o seu potencial com finalidade terapêutica na cicatrização de feridas de segunda intenção<sup>(9)</sup>. Estudo anterior já demonstrou que o silício pode desempenhar um papel importante na proliferação celular, na medida em promove a estimulação da síntese de fatores de crescimento angiogênicos, fibroblastos, bem como de células endoteliais<sup>(22)</sup>. Estes fatores são considerados essenciais para a renovação tecidual e a gênese de tecido íntegro para restabelecimento das funções de barreira química e biológica da pele. Com isso, a velocidade da cicatrização pelo produto de silício a 15% ocorreu de forma mais eficaz em comparação aos demais grupos (21 dias) (Figura 3D, E).

A diminuição da concentração de silício no organismo está relacionada com à desestruturação do tecido conjuntivo, estando relacionados com os sinais de envelhecimento da pele. Sendo assim, estudo anterior já demonstrou que o silício orgânico pela via tópica pode

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO

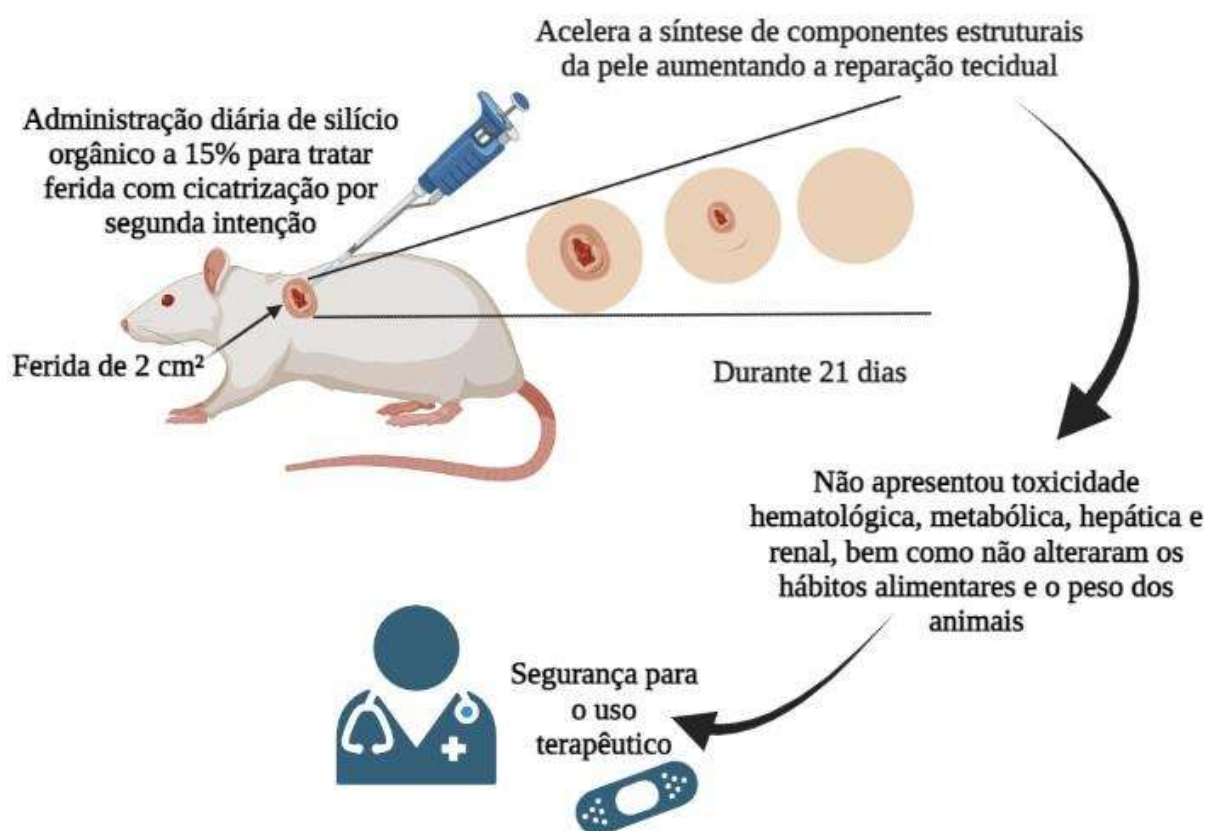
atenuar esta desestruturação tecidual e sinais de envelhecimento, o que é relacionado a reparação tecidual<sup>(23)</sup>. O estresse oxidativo, a partir de uma maior concentração de espécies reativas de oxigênio (EROS) em relação as defesas antioxidantes, pode retardar a cicatrização tecidual, e agravar a lesão na pele<sup>(24)</sup>. No entanto, o silício é capaz de neutralizar estas EROS e atenuar o seu papel na lesão celular<sup>(23)</sup>, o que pode estar relacionado com a aceleração na cicatrização tecidual demonstrado em nossos estudo (Figura 3D).

Outro aspecto relevante que deve ser levado em consideração em uma intervenção farmacológica, é a avaliação do potencial toxicidade de uma nova terapia<sup>(10)</sup>. Em vista disso, ao avaliarmos a exposição dos animais as diferentes concentrações de silício (5, 10 e 15%) não identificamos diferença no padrão de comportamento alimentar entre os grupos, tanto no consumo de ração quanto de água (Figura 3A, B), o que repercute em não ocorrer modificações no controle do peso corporal (Figura 3C). O fato de não modificar o comportamento alimentar e peso corporal pode estar demonstrando que a intervenção terapêutica do nosso estudo não causou dor e consequente diminuição do apetite, como já foi demonstrado em estudo anterior<sup>(18)</sup>.

A segurança da intervenção farmacológica ainda foi demonstrada a partir das análises dos hemogramas, na medida em que não houve diferenças entre todos os grupos, demonstrando que as intervenções não modificam a hematopoese, bem como nas análises dos exames para os perfis hepático e renal, também não demonstraram diferenças nas enzimas hepáticas (transaminase glutâmico-pirúvica, gama GT e fosfatase alcalina) e renais (ácido úrico e creatinina) (Tabela 1). Isso significa que há segurança na utilização do silício orgânico para tratamento nos animais, assim como o hidrogel<sup>(10)</sup>.

Com isso, concluímos que o silício orgânico a 15%, acelera a cicatrização de feridas por segunda intenção. Além disso, os produtos de silício orgânico não apresentaram toxicidade hematológica, metabólica, hepática e renal, bem como não alteraram os hábitos alimentares e o peso dos animais (Figura 4).

## SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO



**Figura 4** - Tratamento com silício orgânico 15% e o reparo tecidual em ferida com cicatrização por segunda intenção. Criado com BioRender.com.

### REFERÊNCIAS:

1. Osmarin VM, Bavaresco T, Hirakata VN, Lucena A de F, Echer IC. Venous ulcer healing treated with conventional therapy and adjuvant laser: is there a difference? Rev Bras Enferm [Internet]. 2021 Jul 14 [cited 2021 Dec 31];74(3):e20201117. Available from: <http://www.scielo.br/j/reben/a/mMS5fhY7JHZf8NVxdyRNDrM/?lang=en>
2. Pachá HHP, Faria JIL, Oliveira KA de, Beccaria LM. Lesão por Pressão em Unidade de Terapia Intensiva : estudo de caso-controle. Rev Bras Enferm. 2018;71(6):3203–10.
3. Corrêa F, Silveira LM, Padovani Lopes NA, Ruffino Netto A, Stabile AM. Perfil de termorregulação e desfecho clínico em pacientes críticos com sepse. Av en Enfermería. 2019;37(3).
4. Santos VLC de G, Oliveira A dos S, Amaral AF dos S, Nishi ET, Junqueira JB, Kim SHP. Quality of life in patients with chronic wounds: Magnitude of changes and predictive factors. Rev da Esc Enferm. 2017;51:1–8.

**SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL  
EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

5. Oliveira MF de, Viana BJF, Matozinhos FP, Silva MMS da, Pinto DM, Moreira AD, et al. Feridas em membros inferiores em diabéticos e não diabéticos: estudo de sobrevida. *Rev Gauch Enferm*. 2019;40:e20180016.
6. Garcia T de F, Silva PGA, Barcelos BJ, Miranda M das GR de, Alonso C da S, Abreu MNS, et al. Criteria to evaluate the quality of alginate wound dressings. *Rev Bras Enferm* [Internet]. 2021 Jul 14 [cited 2021 Dec 31];74(4):e20201091. Available from: <http://www.scielo.br/j/reben/a/ctvkdsR9rdF4FQ3FB6GH6XN/?lang=en>
7. Carolina C, Andrade D, Borges EL. Custos do tratamento tópico de pacientes com úlcera por pressão. *Rev da Esc Enferm da USP*. 2016;50(2):295–301.
8. Baumann L, Bernstein EF, Weiss AS, Bates D, Humphrey S, Silberberg M, et al. Clinical Relevance of Elastin in the Structure and Function of Skin. *Aesthetic Surg J*. 2021;3(4):1–8.
9. Souza ML, Pereira L, Bacelar IA. Intradermoterapia. *Rev Saúde em Foco*. 2018;10:531–43.
10. Rang HP, Ritter JM, Flower RJ, Henderson G. Rang & Dale: Farmacologia. In: Elsevier, editor. Rang & Dale: Farmacologia. 9th ed. Rio de Janeiro; 2020. p. 362.
11. Tarumoto Y, Abe S, Kimura M, Tsuchida T, Noda K, Nakane S, et al. Studies on toxicity of hydrocortisone 17-butyrate 21-propionate -3. Subacute toxicity in rats by percutaneous administration. *J Toxicol Sci* [Internet]. 1981 [cited 2021 Oct 26];6 Suppl(Suppl.):47–66. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7310933/>
12. David RM, English JC, Totman LC, Moyer C, O'Donoghue JL. Lack of nephrotoxicity and renal cell proliferation following subchronic dermal application of a hydroquinone cream. *Food Chem Toxicol* [Internet]. 1998 Jul [cited 2021 Oct 26];36(7):609–16. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9687968/>
13. Al-afifi NA, Alabsi AM, Bakri MM, Ramanathan A. Acute and sub-acute oral toxicity of *Dracaena cinnabari* resin methanol extract in rats. *BMC Complement Altern Med* (. 2018;18:1–14.
14. Laísa Costa, Gisele Masini. CHELMAX SILÍCIO 5% GRANUMAX [Internet]. [cited 2021 Oct 19]. Available from: <http://agenciajoao.com.br/clientes/via/wp-content/uploads/2015/07/CHELMAX-SIL--CIO-GRANUMAX.pdf>
15. Goettems-Fiorin PB, Costa-Beber LC, dos Santos JB, Friske PT, Sulzbacher LM, Frizzo MN, et al. Ovariectomy predisposes female rats to fine particulate matter exposure's effects by altering metabolic, oxidative, pro-inflammatory, and heat-shock protein levels. *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26(20):20581–94.
16. Steffani JA, Kroth A, Lorencete NA, D'Agostini FM. Uso de microcorrentes na

**SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL  
EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

cicatrização tecidual. Evidência [Internet]. 2012 Mar 29 [cited 2022 Jan 21];11(1):43–50. Available from: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/evidencia/article/view/1462>

17. Saha JK, Xia J, Grondin JM, Engle SK, Jakubowski JA. Acute hyperglycemia induced by ketamine/xylazine anesthesia in rats: mechanisms and implications for preclinical models. *Exp Biol Med* (Maywood) [Internet]. 2005 [cited 2022 Jan 21];230(10):777–84. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16246906/>

18. Santos AT, Júnior JM, Cunha GN. Cicatrização por segunda intenção de feridas cutâneas em ratos Wistar com uso de Stryphnodendron adstringens. *Ciência Anim.* 2019;29(1):15–29.

19. Lima RVKS, Coltro PS, Júnior JAF. Terapia por pressão negativa no tratamento de feridas complexas. *Rev Col Bras Cir* [Internet]. 2017 Jan 1 [cited 2022 Jan 21];44(1):81–93. Available from: <http://www.scielo.br/j/rcbc/a/W6qy4BFN9DkdTRsGy6jrfkk/?lang=pt>

20. Tatmatsu-Rocha JC, Tim CR, Avo L, Bernardes-Filho R, Brassolatti P, Kido HW, et al. Mitochondrial dynamics (fission and fusion) and collagen production in a rat model of diabetic wound healing treated by photobiomodulation: comparison of 904 nm laser and 850 nm light-emitting diode (LED). *J Photochem Photobiol B* [Internet]. 2018 Oct 1 [cited 2022 Jan 21];187:41. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30111111/>

21. Moraes RB, Bonami AJ, Romualdo L. Ácido hialurônico dentro da área de estética e cosmética. *Rev Saúde em Foco.* 2017;9:552–62.

22. Jiang Y, Han Y, Wang J, Lv F, Yi Z, Ke Q, et al. Space-oriented nanofibrous scaffold with silicon-doped amorphous calcium phosphate nanocoating for diabetic wound healing. *ACS Appl Bio Mater.* 2019;2(2):787–95.

23. Cordeiro BM, Machado KE, Weickert LM. Benefícios do silício orgânico como ativo cosmético na prevenção do envelhecimento cutâneo. *ID line Rev Psicol.* 2022;16(63):250–66.

24. Hartmann DD, Martins RP, da Silva TC, Stefanello ST, Courtes AA, Gonçalves DF, et al. Oxidative stress is involved in the mechanism of action on skin healing in rats. *Brazilian J Med Biol Res.* 2021;54(6):1–9.

Submetido em: 12/5/2023

Aceito em: 18/9/2025

Publicado em: 6/10/2025

**SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL  
EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

| <b>Contribuições dos autores</b>                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alexander Rodrigues de Souza:                              | Conceituação; Curadoria de dados; Investigação; Metodologia; Redação do manuscrito original; Redação - revisão e edição.                                                                                                                                                                                                                                |
| Lucas Machado Sulzbacher:                                  | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Evandro Tatim da Silva:                                    | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Diovana Gelati de Batista:                                 | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Juliana Furlanetto Pinheiro:                               | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Welerson Roberto dos Reis:                                 | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| João Vinícius Müller Kaufmann:                             | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Gabriele Maria Callegaro Serafini:                         | Metodologia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Maicon Machado Sulzbacher:                                 | Curadoria de dados; Análise Formal; Redação do manuscrito original.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Pauline Brendler Goettems Fiorin:                          | Metodologia; Redação do manuscrito original.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Mirna Stela Ludwig:                                        | Redação do manuscrito original.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Thiago Gomes Heck:                                         | Redação do manuscrito original.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Matias Nunes Frizzo:                                       | Conceituação; Curadoria de dados; Metodologia; Supervisão; Redação do manuscrito original; Redação - revisão e edição.                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Todos os autores aprovaram a versão final do texto.</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Conflito de interesse:</b>                              | Não há conflito de interesse.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Financiamento:</b>                                      | Não possui financiamento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Autor correspondente:</b>                               | Matias Nunes Frizzo<br>Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI<br>Programa de Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> em Atenção Integral à Saúde<br>Rua do Comércio – Nº 3000 – Bairro Universitário – CEP 98700-000.<br>Ijuí/RS, Brasil.<br><a href="mailto:matias.frizzo@unijui.edu.br">matias.frizzo@unijui.edu.br</a> |

**SILÍCIO ORGÂNICO NA ACELERAÇÃO DA CICATRIZAÇÃO TECIDUAL  
EM FERIDAS COM CICATRIZAÇÃO POR SEGUNDA INTENÇÃO**

**Editor:** Dr. Anderson Zampier Ulbrich

**Editora chefe:** Dra. Adriane Cristina Bernat Kolankiewicz

*Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da licença Creative Commons.*



PRE-PROOF