

# SmartOrthos: Uma ferramenta de planejamento pré-operatório de fixação de parafuso pedicular

Francisco Tailânio de Macedo<sup>1</sup>, Francisco Milton Mendes Neto<sup>2</sup>,  
Alex Sandro de Araújo Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Computação - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA),  
Mossoró - RN - , 59625-900, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia e Tecnologia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
(UFERSA), Mossoró - RN, 59625-900, Brasil

**Abstract.** *In the field of spinal surgery, it is common to use the pedicle screw fixation technique for thoracolumbar spine stabilization in a variety of procedures. In these procedures, the main complications are failure in fixation and poor screw positioning. Good preoperative planning is essential to reduce the risk of fixation failure and screw misplacement. Thus, this work presents SmartOrthos, a preoperative planning tool, which makes it possible to determine screw trajectories, evaluate the bone quality of these trajectories, through the biomechanical properties of the bone determined by means of computed tomography images. For validation, the presentation and application of the tool was carried out with two specialist surgeons, then a questionnaire was applied following the TAM methodology to collect the information. The results demonstrate that the tool can be used to support the planning of pedicle screw fixation and that it can also help to reduce the risk of complications.*

**Resumo.** *No campo da cirurgia espinhal, é comum o uso da técnica de fixação de parafuso pedicular para a estabilização da coluna toracolombar em uma variedade de procedimentos. Nesses procedimentos as principais complicações são a falha na fixação e o mau posicionamento do parafuso. Um bom planejamento pré-operatório é fundamental para reduzir o risco de falha de fixação e do mau posicionamento do parafuso. Desta forma, este trabalho apresenta o SmartOrthos, uma ferramenta de planejamento pré-operatória, que possibilita determinar trajetórias dos parafusos, avaliar a qualidade óssea dessas trajetórias, através das propriedades biomecânicas do osso determinadas por meio de imagens de tomografia computadorizada. Para a validação realizou-se a apresentação e a aplicação da ferramenta com dois cirurgiões especialistas, em seguida aplicou-se um questionário seguindo-se a metodologia TAM para recolher as informações. Os resultados demonstram que a ferramenta pode ser utilizada para apoiar o planejamento da fixação de parafusos pediculares e que também pode ajudar a reduzir o risco de ocorrerem complicações.*

## 1. Introdução

Os seres humanos buscam tratar seus distúrbios espinhais desde o tempo de Hipócrates, que é considerado o “pai da medicina ocidental” [Maciel 2015]. Atualmente a maioria dos pacientes com esses distúrbios realiza tratamentos conservadores, através da fisioterapia e

do uso de medicamentos, deixando a cirurgia como a última alternativa para o tratamento [Penn 2020]. No campo da cirurgia espinhal, a técnica de fixação de parafuso pedicular é amplamente utilizada para a estabilização da coluna toracolombar em uma variedade de indicações, como a promoção da fusão óssea, a correção da deformidade ou a fixação de fraturas vertebrais [Boos and Webb 1997]. Todos os procedimentos cirúrgicos apresentam riscos de ocorrerem complicações e esses riscos devem ser encontrados ainda no planejamento pré-operatório [Chand et al. 2007]. Nas cirurgias espinhais, é comum que os médicos cirurgiões utilizem apenas as imagens de Tomografia Computadorizada (TC) para planejar a cirurgia [Schreiber et al. 2014]. Porém, usar apenas as imagens de TC podem não ser o suficiente para evitar que ocorram complicações. Na fixação de parafuso pedicular, a complicação mais comumente relatada é o mau posicionamento do parafuso, como foi constatado na revisão de [Hicks et al. 2010], onde concluiu-se que 15,7% dos parafusos apresentavam mau posicionamento. Ainda segundo [Hicks et al. 2010], um parafuso é considerado mal posicionado quando ele viola parede do pedículo. Essa violação pedicular pode trazer graves consequência, como a lesão da medula espinhal, causando danos neurológicos ao paciente [Galindo et al. 2013].

Outra complicação amplamente relatada na literatura é o afrouxamento do parafuso, que pode levar à falha da fixação e à necessidade uma cirurgia de revisão para correção [Galbusera et al. 2015b]. No trabalho de [Bredow et al. 2016], concluiu-se que, em 50% dos casos de afrouxamento, os pacientes tiveram que fazer o retorno cirúrgico de correção. Segundo [Galbusera et al. 2015b], de modo geral, o afrouxamento do parafuso pode ser considerado como uma complicação clinicamente relevante, uma vez que pode causar dor crônica. Essa falha geralmente ocorre quando o paciente apresenta baixa Densidade Mineral Óssea (DMO), a qual faz com que a integração da superfície de contato do parafuso com o osso seja significativamente reduzida [Zindrick et al. 1986]. Por isso, a incidência de afrouxamento é mais comum em pacientes com osteoporose.

Segundo [Bokov et al. 2015], para reduzir a chance dessas complicações ocorrerem, é necessário que no planejamento pré-operatório, a estrutura e a qualidade do tecido ósseo da vértebra sejam minuciosamente estudadas.

Através do uso de imagens de TC, é possível determinar a qualidade da estrutura óssea e a anatomia da vértebra. Com isso, pode-se desenvolver uma ferramenta de planejamento onde seja possível determinar as trajetórias dos parafusos e a qualidade da estrutura óssea na região da trajetória. Por conseguinte, através desta ferramenta, pode-se mensurar o risco de afrouxamento do parafuso e o risco de violação do pedículo. Assim, o cirurgião pode definir os materiais e procedimentos mais adequados ao caso do paciente. O objetivo deste trabalho é apresentar o *SmartOrthos*, como uma solução ao contexto discutido anteriormente.

## 2. Trabalhos Correlatos

Esta seção apresenta trabalhos encontrados na literatura que estejam relacionados ao desenvolvimento de soluções para o planejamento de cirurgia espinhal, com foco na inserção de parafusos pediculares, que utilizam imagens de tomografia computadorizada para realizar o planejamento da cirurgia.

[Wicker and Tedla 2004] desenvolveram um procedimento automatizado para determinar a trajetória, o tamanho e o comprimento do parafuso pedicular, baseando-se em

imagens de tomografia computadorizada. Para definir o diâmetro do parafuso, em cada fatia de imagem da tomografia, é calculada a largura mínima do pedículo, e a trajetória escolhida é a que passa mais próxima do centro do pedículo.

[Klein et al. 2009] desenvolveram um simulador tridimensional para inserção de parafusos pediculares, para que os cirurgiões pudessem praticar e ter um *feedback* visual do parafuso na estrutura vertebral do paciente antes da cirurgia.

[Lee et al. 2012] propõem um estrutura de planejamento pré operatório otimizada para fusão da coluna lombar, onde são sugeridas trajetórias ideais e tamanhos de parafusos. A estrutura se baseia no modelo tridimensional gerado a partir de tomografia computadorizada. Para definir a trajetória, eles determinam uma margem de segurança em relação às extremidades do pedículo. Dentre as várias trajetórias possíveis, é selecionada a que tiver maior profundidade de inserção do parafuso. O diâmetro do parafuso é definido como 70% do diâmetro do pedículo.

[Galbusera et al. 2015a] apresentaram uma abordagem de software para a simulação biomecânica da correção de deformidades espinhais específicas do paciente, visando à identificação de seus princípios biomecânicos. Eles basearam-se em reconstruções tridimensionais da anatomia espinhal, obtidas a partir de imagens radiográficas bi-planares, e submeteram-na a simulações de elementos finitos, onde puderam prever cargas e tensões que atuam no tecido ósseo.

[Goerres et al. 2017] propõem a automação do planejamento da cirurgia de inserção de parafusos pediculares, definindo a trajetória do parafuso baseando-se em um atlas de deformação, que foi gerado a partir de um conjunto de 40 tomografias de vértebras com uma série de anotações de trajetórias feitas por especialistas. Assim, o sistema define a trajetória automaticamente baseando-se nas referências definidas por especialistas.

[Knez et al. 2019] desenvolveram uma ferramenta automática de planejamento de colocação de parafusos pediculares a partir de imagens de tomografia computadorizada. A abordagem usada por eles baseia-se na modelagem tridimensional (3D) das vértebras do paciente, no planejamento do tamanho do parafuso pedicular e na trajetória de inserção.

Analisando os trabalhos, pode-se notar que a maioria dos trabalhos não possui nenhuma métrica de avaliação da qualidade da trajetória. A ausência da geração de um relatório contendo a trajetória dos parafusos do planejamento. Por fim, percebe-se que a maioria dos trabalhos utilizam a visualização 3D ou 2D das trajetórias.

Desta maneira, chegou-se a proposta de desenvolver uma ferramenta de planejamento de inserção de parafuso pedicular, onde as trajetórias e as dimensões do parafuso são definidas manualmente pelo cirurgião e que utilize a qualidade do tecido ósseo como métrica de avaliação da qualidade da trajetória do parafuso, além disso, que permite a comparação de trajetórias através de imagens 2D e de modelos 3D. Por fim, ao finalizar o planejamento, a ferramenta pode gerar um relatório descrevendo as informações definidas durante o planejamento.

### **3. Métodos**

O *SmartOrthos* foi desenvolvido como uma ferramenta computacional de planejamento pré-operatório de cirurgias de fixação de parafusos pediculares, onde as trajetórias do parafuso possam ser avaliadas através da qualidade do tecido ósseo. Essa avaliação é impor-

tante para que o cirurgião tenha um parâmetro de comparação entre possíveis trajetórias, a fim de escolher a que apresente mais resistência. Além disso, pensando em melhorar o posicionamento do parafuso, a ferramenta gera um modelo 3D das vértebras com as trajetórias definidas, facilitando a visualização da trajetória definida pelo cirurgião, permitindo que ele consiga perceber a proximidade com a parede do pedículo e consequentemente modificar a trajetória para diminuir o risco de ocorrer o mau posicionamento do parafuso. No final do planejamento, após o cirurgião definir as melhores trajetórias dos parafusos pediculares, a ferramenta gera um relatório especificando as trajetórias para cada parafuso e as observações anotadas pelo cirurgião.

Para se alcançar o objetivo proposto foram seguidas as seguintes etapas: (i) definição dos requisitos, (ii) definição da arquitetura e, por fim, (iii) desenvolvimento da ferramenta *SmartOrthos*. Estas etapas são detalhadas a seguir.

### 3.1. Definição de requisitos

Primeiramente foram definidos algumas funcionalidades que serviram de base para os requisitos do *SmartOrthos*. Esses requisitos são apresentados a seguir:

1. Escolher a tomografia do paciente;
2. Identificar as regiões das vértebras na tomografia;
3. Selecionar a vértebra desejada;
4. Definir diâmetro e comprimento do parafuso;
5. Definir o ponto de entrada do parafuso;
6. Definir a inclinação na visão axial (superior);
7. Definir a inclinação na visão sagital (lateral);
8. Gerar relatório do planejamento.

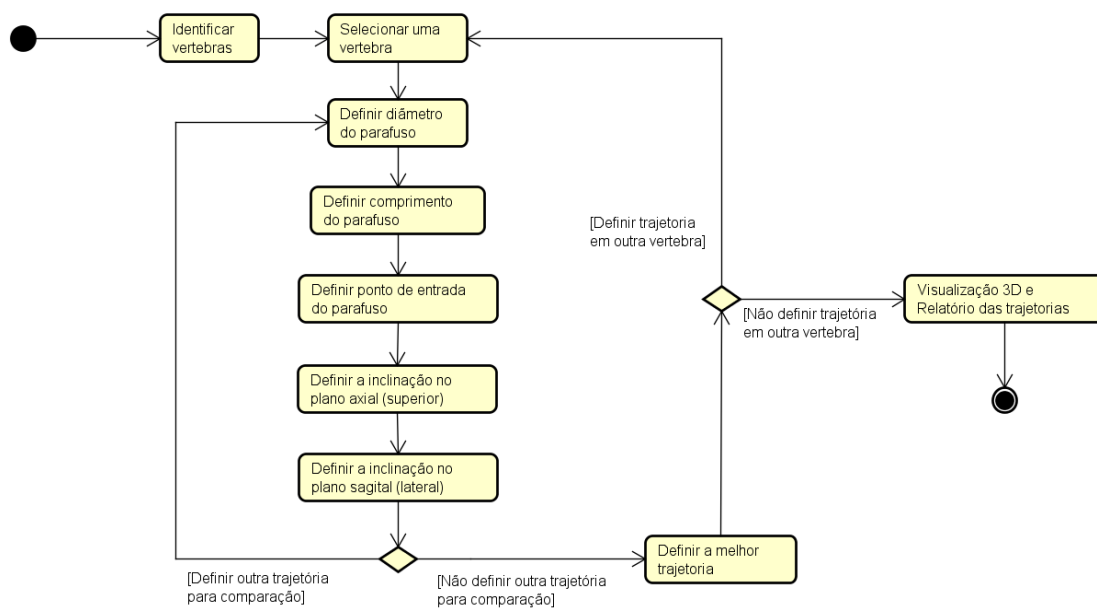
Com esses requisitos, criou-se um diagrama de atividades para o funcionamento do planejamento da fixação dos parafusos pediculares. Esse diagrama é apresentado aqui na (Figura 1). No diagrama, pode-se ver que, após identificar as regiões das vértebras, o cirurgião pode selecionar uma dessas vértebras para definir a trajetória do parafuso. Para definir a trajetória, o cirurgião escolhe o diâmetro e o comprimento do parafuso e em seguida escolhe o ponto de entrada e as inclinações no eixo axial e sagital. Após definir a trajetória do parafuso, o cirurgião escolhe se vai definir outra trajetória na mesma vértebra e depois compara-las, escolhendo a melhor, ou se vai escolher outra vértebra para definir uma nova trajetória. Esse processo de definição e comparação de trajetórias se repetem até que o planejamento esteja finalizado. Ao finalizar o planejamento, a ferramenta gera um relatório do planejamento, no formato PDF, e a visualização de um modelo 3D.

Para validar esses requisitos foram criadas protótipos de telas de alta fidelidade e interativos, e apresentados a dois especialistas, sendo um neurocirurgião e um ortopedista. Para a apresentação utilizou-se a ferramenta Google slides<sup>1</sup>, por conta da pandemia da covid 19 a apresentação teve de ocorrer remotamente, para isso usou-se o Google meet<sup>2</sup>.

Na validação dos requisitos, conforme ia sendo apresentado, os especialistas foram dando suas contribuições sobre as funcionalidades. Os requisitos foram aprovados

<sup>1</sup><https://www.google.com/intl/pt-BR/slides/about/>

<sup>2</sup><https://meet.google.com/>



**Figura 1. Levantamento de requisitos.**

pelos especialistas, ou seja, condizem com o que a ferramenta se propunha a fazer, entretanto os especialistas fizeram algumas sugestões para aprimorar o funcionamento e também fizeram algumas indicações de novas funcionalidade, as principais foram:

- Usar um modelo 3D para comparar as trajetórias;
- Usar mais parâmetros de qualidade óssea para comparação;
- Criar uma tela para comparar os parâmetros de qualidade;
- Gerar uma lista dos parafusos para a compra desse material;

Além dessas funcionalidades, algumas outras também foram adicionadas durante o desenvolvimento, como:

- Salvar o planejamento no meio;
- Carregar um planejamento salvo;
- Alterar as inclinações axial e sagital;
- Alterar o ponto de entrada;
- Usar múltiplos planos ao mesmo tempo.

Com os requisitos refinados, o próximo passo foi definir a arquitetura e as tecnologias usadas para o desenvolvimento da ferramenta.

### 3.2. Definição da Arquitetura

Ao observar as necessidades descritas na seção anterior, encontrou-se a necessidade de utilizar alguns recursos, como a seleção de região de interesse (ROI), que são disponibilizados por alguns visualizadores de arquivos DICOM, como o Osirix<sup>3</sup> e o Horos<sup>4</sup>. Como esses visualizadores dão suporte à criação de complementos que podem utilizar seus recursos, decidiu-se criar a ferramenta como um complemento para estes dois visualizadores.

<sup>3</sup><https://www.osirix-viewer.com/>

<sup>4</sup><https://horosproject.org/>

A construção desse complemento se torna possível por conta da utilização de um padrão de arquitetura de *software* chamado de *PlugIn Pattern*, descrito por [Fowler 2009] como um padrão que conecta classes na configuração ao invés da compilação, isso permite que novas funcionalidades possam ser desenvolvidas sem a necessidade de recompilar todo o projeto, o que facilita a integração com ferramentas desenvolvidas por terceiros. Ao seguir esse padrão, para utilizar os recursos do Horos/Osirx, o *SmartOrthos* tem que incorporar ao seu projeto um *framework* disponibilizado pelo Horos/Osirix. Dentro desse *framework* está a interface *PluginFilter* que é responsável por fazer a integração do *SmartOrthos* com o Horos/Osirix.

O desenvolvimento dos complementos para Horos/Osirix usa a linguagem Objective-C baseado no *framework* Apple Cocoa<sup>5</sup>, que utiliza um padrão de projeto *Model-View-Controller* (MVC) composto, esse padrão divide a estrutura do software em camadas de modelo, visão e controle. Nessa versão do *Cocoa*, o controlador funciona como um mediador entre a camada de visão e modelo. Quando o usuário executa uma ação na camada de visão, o controlador atualiza o modelo, que por sua vez emite uma notificação de volta para o controlador, que por fim atualiza a camada de visão.

### 3.3. SmartOrthos

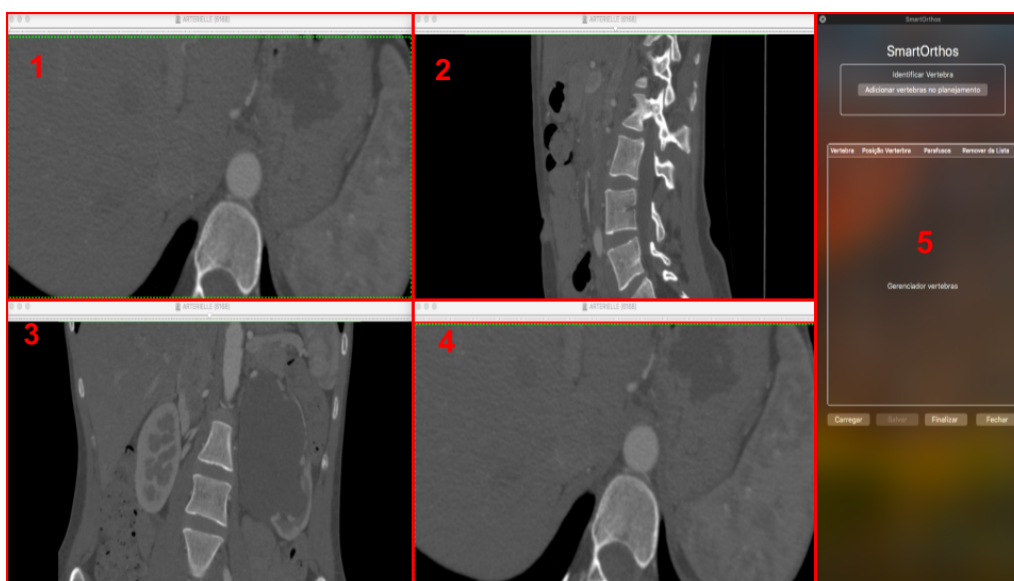


Figura 2. *Layout* do *SmartOrthos*.

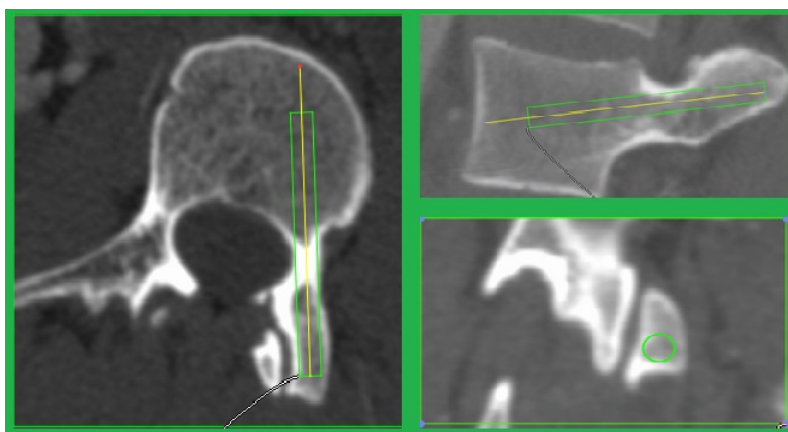
O *SmartOrthos* trabalha com 4 janelas de visualização das imagens, onde 3 dessas são utilizadas para determinar o posicionamento da trajetória e o outro é usado para demarcar as regiões correspondente da trajetória definida. Aqui a (Figura 2) apresenta o *layout* do *SmartOrthos*, onde pode-se ver as janelas demarcadas por retângulos vermelhos com uma numeração. Na janela 1, é usada a visualização do plano *axial*, a janela 2 usa a visualização do plano *sagittal* e a janela 3 usa a visualização do plano *coronal*. Essas três janelas são usadas para identificar a posição da vértebra na tomografia e para definir a trajetória do parafuso. Já a janela 4, assim como a janela 1, também usa a visualização do

<sup>5</sup><https://developer.apple.com/Cocoa>

plano axial, entretanto, ela é usada para marcar as regiões da trajetória que foram definidas nas outras três janelas. A janela 5 é a região onde fica localizada o painel de controle, que faz todo o gerenciamento da ferramenta. Nessa janela é onde o usuário vai definir as vértebras que serão operadas, ele pode adicionar as vértebras, alterar a posição das vértebras, abrir o gerenciador de parafusos da vértebras e remover a vértebra do planejamento.

Após realizar a identificação do posicionamento da vértebra, o usuário pode definir os parâmetros do parafuso para testar a trajetória. Para isso, ele seleciona a vértebra e abre o gerenciador de parafusos dessa vértebra. No gerenciador de parafusos o usuário pode adicionar parafusos, definindo suas dimensões e suas trajetórias usando as janelas 1,2 e 3, aqui apresentadas (Figura 2). Quando o usuário escolher adicionar um parafuso, a ferramenta abre a tela de cadastro de parafusos. Nessa tela o usuário pode definir uma cor para a marcação do parafuso, as dimensões do parafuso, e também a trajetória do parafuso através da definição da inclinação no plano *axial*, da inclinação no plano *sagittal* e da definição do ponto de entrada no plano *coronal*.

A ferramenta considera o parafuso como um cilindro, por isso para definir suas dimensões é necessário apenas o comprimento e o diâmetro. Dessa forma, ao definir a trajetória, a ferramenta adiciona uma marcação em forma de círculo, com o diâmetro definido, no plano *coronal* onde o usuário irá posicionar no local onde ele queira que seja o ponto de entrada do parafuso. Em seguida, a ferramenta adiciona no plano *axial*, uma marcação no formato de retângulo, com as dimensões escolhidas, junto com uma linha usada como uma guia para movimentar esse retângulo. Esse é o mesmo processo que ocorre quando é definida a Inclinação Sagittal, diferindo apenas do plano em que as marcações são adicionadas. A (Figura 3) mostra um exemplo de trajetória, apresentando as marcações descritas anteriormente.



**Figura 3. Trajetória definida.**

Após definir a trajetória, ao adicionar o parafuso na lista de parafusos são calculadas as regiões de marcação do parafuso nas fatias correspondentes, além disso, a ferramenta calcula os seguintes parâmetros mecânicos: Média de Unidade Hounsfield, Módulo elástico médio, Fração de volume ósseo e o Volume Ósseo. Na tomografia, cada pixel da imagem representa um elemento que tem uma densidade, essa densidade é representada na escala de unidade hounsfield. Para calcular a média de unidade hounsfield da

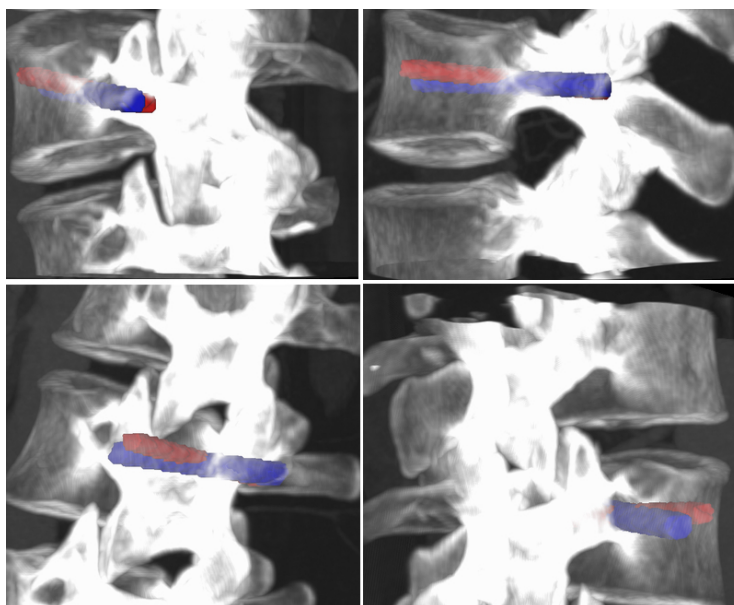
trajetória, a ferramenta faz a média das unidades hounsfield dos *pixels* que estão dentro da marcação da trajetória. Para calcular o módulo elástico médio, a ferramenta usa a fórmula proposta por [Huang et al. 2010] para calcular o módulo elástico de cada pixel e depois realizar a média desses valores, essa formula está representada na equação 1.

$$E = A * (HU)^B \quad (1)$$

Onde  $A$  e  $B$  são constantes encontradas através da correspondência dos valores da simulação de elementos finitos, com os dados experimentais nos quais eles obtiveram  $A = 1,26 \times 10^{-3}$  e  $B = 1,93$ . E  $HU$  é o valor da Unidade Hounsfield indicada na tomografia.

No cálculo da fração de volume ósseo, a ferramenta analisa qual a porcentagem de osso mineralizado naquela trajetória, por padrão no *Osirix* e no *Horos* o osso é definido por um valor de 250 unidade hounsfield, assim a ferramenta calcula quantos *pixels* dentro da marcação da trajetória tem um valor maior ou igual a 250 unidade hounsfield. Por fim, o calculo do volume ósseo é realizado multiplicando o volume da trajetória pela média de unidade hounsfield.

Após definir possíveis trajetórias o usuário pode compará-las através dos parâmetros mecânicos medidos, de marcações nas imagens e de modelos tridimensionais. A (Figura 4) exemplifica a comparação de duas trajetórias através de modelos tridimensionais.



**Figura 4. Comparação de trajetórias com modelo 3D.**

Após definir todas as trajetórias dos parafusos, o usuário faz a finalização do planejamento e a ferramenta gera um relatório com informações contidas nos metadados da tomografia. O usuário também pode adicionar informações no relatório. Após definir todos os campos, a ferramenta gera um arquivo no formato PDF, com todas as informações e as trajetórias definidas durante o planejamento, bem como a lista de parafusos. Na



primeira página do arquivo fica contida as informações do paciente, nas demais páginas ficam as trajetórias definidas.

#### 4. Resultados

Para validação da ferramenta, realizou-se uma pesquisa aplicando-se um questionário on-line através da plataforma de gerenciamento de pesquisa do google, o *GoogleForms*, com a participação de 2 especialistas em cirurgia Ortopédica. O questionário foi construído seguindo-se a metodologia *Technology Acceptance Model* (TAM). O questionário teve 12 questões objetivas e 2 questões subjetivas. As questões objetivas foram desenvolvidas com a escala *Likert*, onde o entrevistado demonstra o nível de concordância com várias afirmações que demonstram fatores favoráveis e desfavoráveis ao objeto de estudo [WEINERMAN 1976]. Nesta pesquisa utilizou-se a seguinte escala:

- Discordo totalmente;
- Discordo parcialmente;
- Neutro;
- Concordo parcialmente;
- Concordo totalmente.

Através desta escala é possível estimular os entrevistados a escolherem dentre as opções aquela na qual sua opinião mais se aproxima em relação as afirmações, assim pode-se conhecer estatisticamente a utilidade percebida e a facilidade de uso da ferramenta através da visão dos entrevistados.

Primeiramente foi realizada uma apresentação, de maneira remota, onde demonstrou-se o processo de instalação e de utilização de todas as funcionalidades da ferramenta. Em seguida, cada entrevistado fez a instalação da ferramenta no seu computador e realizou a utilização da ferramenta de acordo com a apresentação. Após isso, os entrevistados responderam o questionário. A Tabela 1 apresenta o resultado do questionário.

**Tabela 1. Resultado das respostas do questionário.**

<b>Afirmativas</b>	<b>Discordo Total</b>	<b>Discordo Parcial</b>	<b>Neutro</b>	<b>Concordo Parcial</b>	<b>Concordo Total</b>
Afirmativa 1	0%	0%	0%	50%	50%
Afirmativa 2	100%	0%	0%	0%	0%
Afirmativa 3	0%	0%	0%	0%	100%
Afirmativa 4	0%	0%	0%	0%	100%
Afirmativa 5	0%	0%	0%	0%	100%
Afirmativa 6	0%	0%	0%	50%	50%
Afirmativa 7	0%	0%	0%	100%	0%
Afirmativa 8	0%	0%	0%	0%	100%
Afirmativa 9	0%	0%	0%	50%	50%
Afirmativa 10	0%	0%	0%	0%	100%

Na primeira parte do questionário, foram feitas duas as afirmações voltadas para averiguar a facilidade de uso da ferramenta.

A afirmativa 1 tinha o seguinte enunciado: *‘A ferramenta oferece uma interface de fácil manipulação’*, como resultado os entrevistados concordam, seja totalmente, seja parcialmente, que o *SmartOrthos* dispõe de uma interface de fácil utilização.

A afirmativa 2 dizia: *‘A ferramenta requer muito esforço para ser utilizada’*, os entrevistados discordaram totalmente dessa afirmativa.

A segunda parte do questionário conta com cinco questões objetivas e duas questões subjetiva, voltadas para averiguar o quesito de utilidade percebida.

A afirmativa 3 dizia: *‘A ferramenta pode ser utilizada para apoiar o planejamento pré-operatório de fixação de parafusos pediculares’*, os entrevistados concordaram totalmente com essa afirmativa.

A afirmativa 4 traz consigo o seguinte enunciado: *‘A ferramenta pode ajudar o cirurgião a escolher a trajetória do parafuso pedicular’*, para essa afirmativa a resposta dos entrevistados foi concordância total.

Já a afirmativa 5 tem o seguinte enunciado: *‘Os parâmetros mecânicos medidos pela ferramenta podem ajudar na tomada de decisão do cirurgião’*, e também obteve como resposta total concordância.

A afirmativa 6 é a seguinte: *‘A ferramenta otimiza o tempo gasto para realizar o planejamento pré-operatório da fixação dos parafusos’*, para essa afirmativa os entrevistados concordam seja totalmente, seja parcialmente, que a ferramenta otimiza o tempo usado para realizar o planejamento.

Por fim, a afirmativa 7 dizia: *‘A ferramenta ajuda a minimizar o risco de ocorrer complicações na cirurgia’*, e os entrevistados concordaram parcialmente.

Nas questões subjetivas os entrevistados foram questionados sobre *o que poderia levar o cirurgião a não ter interesse em utilizar a ferramenta?*, os entrevistados citaram o tempo de aprendizado da manipulação da ferramenta. Também foram questionados sobre *Alguma função que poderia agregar valor à ferramenta?*, as respostas voltaram-se para a adição de suporte para outros sistemas operacionais.

A última parte do questionário é formado por três questões objetivas, com o objetivo de conhecer as intenções de uso por parte dos entrevistados.

A afirmativa 8 tinha o seguinte enunciado: *‘É viável utilizar a ferramenta para realizar o planejamento da fixação de parafusos pediculares’*, os entrevistados concordaram totalmente com essa afirmativa.

Já a afirmativa 9 dizia o seguinte: *‘Pretende utilizar a ferramenta para apoiar o planejamento pré-operatório’*, como resultado os entrevistados concordam, seja totalmente, seja parcialmente.

Por fim, a afirmativa 10 tinha o seguinte enunciado: *‘Indicaria a ferramenta para um colega de trabalho’*, os entrevistados concordaram totalmente com essa afirmativa.

## **5. Trabalhos Futuros**

Durante o desenvolvimento deste trabalho conseguiu-se identificar aspectos que podem somar ao trabalho desenvolvido e gerar novos trabalhos como uma continuação dessa pesquisa. Esses aspectos foram os seguintes:

1. Funcionalidade onde seja possível criar modelos de impressão 3D, específicos das vértebras, que servirá como uma guia para o posicionamento do parafuso durante a execução do procedimento cirúrgico, aumentando a precisão do procedimento;
2. Ampliar a compatibilidade com outros sistemas operacionais, como o *Windows*, *Linux* e *Android*.

## 6. Conclusões

Este trabalho apresentou o *SmartOrthos*, uma ferramenta de apoio ao planejamento cirúrgico de fixação de parafusos pediculares, onde as trajetórias dos parafusos podem ser avaliadas através da qualidade do tecido ósseo, e do seu posicionamento usando imagens e modelos 3D da vértebra com as trajetórias. Seu objetivo é reduzir o risco de ocorrerem complicações após a cirurgia. Para isso, o *SmartOrthos* permite o usuário definir diversas trajetórias e compará-las, através da qualidade óssea, usando os parâmetros mecânicos medidos em cada trajetória, e também compará-las no seu posicionamento, através de imagens e modelos 3D, possibilitando que o usuário escolha a melhor trajetória para fixar o parafuso, e ao final do planejamento, o *SmartOrthos* gera um relatório contendo todas as informações do paciente, dos parafusos e das trajetórias.

Pelo fato de não ter sido testada em um contexto real de uso, não foi possível afirmar que de fato a ferramenta conseguiu atingir seu objetivo, mas a partir dos resultados apresentados, pode-se compreender que o *SmartOrthos* tem potencial para atingir seu objetivo de reduzir o risco de ocorrerem complicações.

Neste trabalho buscou-se solucionar o problema do planejamento pré-operatório, em um futuro trabalho o *SmartOrthos* irá auxiliar o cirurgião a colocar em pratica o que foi planejado no pré-operatório, usando modelos de impressão 3D para posicionar corretamente os parafusos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos suportes financeiros para o desenvolvimento do presente trabalho.

## Referências

- Bokov, A., Mlyavykh, S., Rasteryaeva, M., and Aleynik, A. (2015). The risk factors of pedicle screws loosening after spinal instrumentations. *Global Spine Journal*, 5(1\_suppl):s-0035.
- Boos, N. and Webb, J. (1997). Pedicle screw fixation in spinal disorders: a european view. *European Spine Journal*, 6(1):2-18.
- Bredow, J., Boese, C., Werner, C., Siewe, J., Löhrer, L., Zarghooni, K., Eysel, P., and Scheyerer, M. (2016). Predictive validity of preoperative ct scans and the risk of pedicle screw loosening in spinal surgery. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 136(8):1063-1067.
- Chand, M., Armstrong, T., Britton, G., and Nash, G. F. (2007). How and why do we measure surgical risk? *Journal of the Royal Society of Medicine*, 100(11):508-512.
- Fowler, M. (2009). *Padrões de arquitetura de aplicações corporativas*. Bookman.

- Galbusera, F., Bassani, T., La Barbera, L., Ottardi, C., Schlager, B., Brayda-Bruno, M., Villa, T., and Wilke, H.-J. (2015a). Planning the surgical correction of spinal deformities: Toward the identification of the biomechanical principles by means of numerical simulation. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 3:178.
- Galbusera, F., Volkheimer, D., Reitmaier, S., Berger-Roscher, N., Kienle, A., and Wilke, H.-J. (2015b). Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication? *European Spine Journal*, 24(5):1005–1016.
- Galindo, M. H., Galindo, R. H., Medeiros, R. C. d., Pereira, A. F., Ferreira, M. A., and Rangel, T. D. M. (2013). Parafusos pediculares mal posicionados pela técnica freehand: qual o real valor para o surgimento de lesões neurológicas? *Coluna/Columna*, 12(4):315–318.
- Goerres, J., Uneri, A., Silva, T. D., Ketcha, M., Reaungamornrat, S., Jacobson, M., Vogt, S., Kleinszig, G., Osgood, G., Wolinsky, J.-P., and Siewerdsen, J. H. (2017). Spinal pedicle screw planning using deformable atlas registration. *Physics in Medicine and Biology*, 62(7):2871–2891.
- Hicks, J. M., Singla, A., Shen, F. H., and Arlet, V. (2010). Complications of pedicle screw fixation in scoliosis surgery: a systematic review. *Spine*, 35(11):E465–E470.
- Huang, H.-L., Tsai, M.-T., Lin, D.-J., Chien, C.-S., and Hsu, J.-T. (2010). A new method to evaluate the elastic modulus of cortical bone by using a combined computed tomography and finite element approach. *Computers in biology and medicine*, 40(4):464–468.
- Klein, S., Whyne, C. M., Rush, R., and Ginsberg, H. J. (2009). Ct-based patient-specific simulation software for pedicle screw insertion. *Clinical Spine Surgery*, 22(7):502–506.
- Knez, D., Nahle, I. S., Vrtovec, T., Parent, S., and Kadoury, S. (2019). Computer-assisted pedicle screw trajectory planning using ct-inferred bone density: A demonstration against surgical outcomes. *Medical physics*, 46(8):3543–3554.
- Lee, J., Kim, S., Kim, Y. S., and Chung, W. K. (2012). Optimal surgical planning guidance for lumbar spinal fusion considering operational safety and vertebra–screw interface strength. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 8(3):261–272.
- Maciel, W. (2015). Hipócrates. Acessado em: 28 de Julho de 2019.
- Penn, M. (2020). Types of spine surgery and how to know when you might need surgery.
- Schreiber, J. J., Anderson, P. A., and Hsu, W. K. (2014). Use of computed tomography for assessing bone mineral density. *Neurosurgical focus*, 37(1):E4.
- WEINERMAN, c. h. (1976). Escalas de medicion en ciências sociais.
- Wicker, R. and Tedla, B. (2004). Automatic determination of pedicle screw size, length, and trajectory from patient data. In *The 26th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, volume 1, pages 1487–1490.
- Zindrick, M. R., Wiltse, L. L., Widell, E. H., Thomas, J. C., Holland, W. R., Field, B., and Spencer, C. W. (1986). A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. *Clin Orthop Relat Res*, 203(99-112):2.