



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

**YURI NEJAIM**

**CORRELAÇÃO DO ESPAÇO FARÍNGEO COM A MORFOLOGIA DA  
MANDÍBULA E DO OSSO HIOIDE EM PACIENTES COM  
DIFERENTES TIPOS FACIAIS E CLASSES ESQUELÉTICAS**

**CORRELATION OF THE PHARYNGEAL SPACE WITH THE  
MORPHOLOGY OF THE MANDIBLE AND HYOID BONE IN  
PATIENTS WITH DIFFERENT FACIAL TYPES AND SKELETAL  
CLASSES**

Piracicaba

2017

**YURI NEJAIM**

**CORRELAÇÃO DO ESPAÇO FARÍNGEO COM A MORFOLOGIA DA  
MANDÍBULA E DO OSSO HIOIDE EM PACIENTES COM  
DIFERENTES TIPOS FACIAIS E CLASSES ESQUELÉTICAS**

**CORRELATION OF THE PHARYNGEAL SPACE WITH THE  
MORPHOLOGY OF THE MANDIBLE AND HYOID BONE IN  
PATIENTS WITH DIFFERENT FACIAL TYPES AND SKELETAL  
CLASSES**

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Radiologia Odontológica, na Área de Concentração Radiologia Odontológica

Thesis presented to the Piracicaba Dental School of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor in Oral Radiology, in Oral Radiology Area.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Haiter Neto

Este exemplar corresponde à versão final da tese defendida pelo aluno Yuri Nejaim e orientada pelo Prof. Dr. Francisco Haiter Neto.

Piracicaba

2017

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES

ORCID: <http://orcid.org/http://orcid.org/00>

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba  
Marilene Girello - CRB 8/6159

N319c Nejam, Yuri, 1986-  
Correlação do espaço faríngeo com a morfologia da mandíbula e do osso hioide em pacientes com diferentes tipos faciais e classes esqueléticas / Yuri Nejam. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Francisco Haiter Neto.  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Tomografia computadorizada de feixe cônico. 2. Mandíbula. 3. Osso hioide. 4. Faringe. I. Haiter Neto, Francisco, 1964-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Correlation of the pharyngeal space with the morphology of the mandible and hyoid bone in patients with different facial types and skeletal classes

**Palavras-chave em inglês:**

Cone-beam computed tomography

Mandible

Hyoid bone

Pharynx

**Área de concentração:** Radiologia Odontológica

**Titulação:** Doutor em Radiologia Odontológica

**Banca examinadora:**

Francisco Haiter Neto [Orientador]

Sergio Lins de Azevedo Vaz

Taruska Ventorini Vasconcelos

Karla de Faria Vasconcelos

Deborah Queiroz de Freitas França

**Data de defesa:** 10-02-2017

**Programa de Pós-Graduação:** Radiologia Odontológica



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**  
**Faculdade de Odontologia de Piracicaba**



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de Doutorado, em sessão pública realizada em 10 de Fevereiro de 2017, considerou o candidato YURI NEJAIM aprovado.

PROF. DR. FRANCISCO HAITER NETO

PROF. DR. SERGIO LINS DE AZEVEDO VAZ

PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. TARUSKA VENTORINI VASCONCELOS

PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. KARLA DE FARIA VASCONCELOS

PROF<sup>a</sup>. DR<sup>a</sup>. DEBORAH QUEIROZ DE FREITAS FRANÇA

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a todas as pessoas, vivas ou falecidas, que de alguma forma me incentivaram para tornar esse sonho possível.

## **Agradecimentos Institucionais**

À **Universidade Estadual de Campinas**, na pessoa do Prof. Dr. José Tadeu Jorge (Reitor).

À **Faculdade de Odontologia de Piracicaba**, na pessoa do Prof. Dr. Guilherme Elias Pessanha Henriques (Diretor).

À **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES**, pela concessão da bolsa DS (Demanda Social).

## **Agradecimentos Especiais**

**A Deus,**

Agradeço imensamente pelo dom da vida e por tornar tudo isso possível. Obrigado por cuidar de mim e dos meus familiares nesses seis anos em que estive em Piracicaba. Obrigado, ainda, pelas lições de vida mostradas nos momentos mais difíceis, fazendo-me acreditar que nunca estive sozinho nessa caminhada. Continue me dando forças para que, com humildade e perseverança, eu possa retribuir ao próximo todas as bênçãos e ensinamentos a mim concedidos.

**Ao Prof. Dr. e Orientador Francisco Haiter Neto,**

Chico, palavras talvez não sejam suficientes para agradecer tudo que fez por mim nesse período. Agradeço primeiramente a oportunidade que me deu. Ser aluno desta instituição, com professores e infraestrutura de ponta, com certeza será um diferencial em minha carreira. Obrigado pela confiança em meu trabalho e na minha pessoa. Você foi o responsável pela realização do meu maior sonho que era estudar fora. A isso, minha eterna gratidão. Agradeço por todos os momentos de descontração, sejam eles no herbalife, no estádio do Palmeiras ou nos corredores da FOP. Mas agradeço principalmente por todos os conselhos que me deu ao longo desses anos. Tenha certeza de que não bati a sua porta à toa. A confiança que tenho em você deve-se muito ao seu caráter e sua experiência de vida. Apesar de todos os “perrengues” que passou, você continuou lutando e conseguiu vencer. Você é a constatação de que o sucesso vem com muito trabalho e determinação. Obrigado por me deixar fazer parte disto. Obrigado pelo amigo e exemplo que se tornou. Muito obrigado!

**À Profa. Dra. Deborah Queiroz de Freitas França,**

Agradeço por todo o incentivo dado até esse momento. Sei o quanto se esforça para melhorar o curso e extrair o melhor dos seus alunos. A sua trajetória mostra que está no caminho certo. Continue lutando contra todas as adversidades e não desanime, pois, pessoas como você, talentosas e determinadas são muito importantes para a radiologia. Meu muito obrigado e meu reconhecimento.

**À Profa. Dra. Karla de Faria Vasconcelos,**

O que dizer de uma pessoa tão iluminada? Karla, você é uma pessoa muito especial. Fiz questão de que estivesse presente em minha defesa, pois queria de alguma forma retribuir todo incentivo e força que me deu quando eu estava começando. Sua generosidade e alegria contagiam o ambiente e fazem todos ao seu redor darem o máximo de si. Espero que alcance todos os seus objetivos, pois tenho certeza de que Deus está guardando o melhor para você. Muito sucesso em sua jornada.

**À Profa. Dra. Taruska Ventorini Vasconcelos,**

Gostaria de dizer que você foi uma pessoa fundamental nessa caminhada. Sou muito grato a Deus por ter posto você em minha vida. Dona de um talento ímpar, um coração enorme e uma amiga para todas as horas. Nossas inúmeras conversas me tornaram um ser humano melhor. Aprendi a me valorizar e a correr mais atrás dos meus direitos. Sua ida para o sanduíche me serviu de grande incentivo para não desanimar e continuar batalhando. Obrigado por dividir comigo tantos anseios e conquistas. Torço cada vez mais pelo seu sucesso. Você é uma pessoa que merece brilhar. Conte sempre comigo.

**Ao Prof. Dr. Sergio Lins de Azevedo Vaz,**

Agradeço por ter aceito esse convite e por fazer parte desse momento tão especial em minha vida. Você foi a primeira pessoa que conheci quando cheguei em Piracicaba, e posso dizer que desde o início sabia que você seria uma pessoa de muito sucesso. Sempre muito determinado e seguro de si. Admiro demais o profissional que você se tornou. Tenho certeza de que seus alunos ganharam um profissional de gabarito. Obrigado pela amizade e respeito que sempre teve comigo. Mais sucesso e conquistas para você.

**Aos membros suplentes da banca de defesa, Prof. Dr. Fabio Ribeiro Guedes, Prof. Dr. Paulo Henrique Ferreira Caria e Prof. Dr. Amaro Ilídio Vespasiano Silva,**

Agradeço por prontamente, e de forma tão gentil, terem aceito participar desse momento e contribuir com sua experiência. Vocês foram escolhidos por terem de alguma forma marcado minha vida. Sendo assim, obrigado pela dedicação de vocês.

**Ao Prof. Dr. Francisco Carlos Groppo,**

Agradeço muito por ter tido a oportunidade de conviver contigo. Você é um exemplo do professor que quero me tornar. Sempre de bom humor, com conhecimento amplo em vários assuntos, ajudando a todos os alunos que batem à sua porta, sem distinção, com muito respeito, e querendo a todo custo melhorar o ambiente em que trabalha. Obrigado pela parceria em várias pesquisas e obrigado, principalmente, por me incentivar a ser uma pessoa melhor.

**Ao Prof. Dr. Matheus Lima de Oliveira,**

Gostaria de agradecer o respeito com que me tratou nesse pouco tempo de relação professor-aluno. Acredito que aos poucos vai conseguir dar o formato que gostaria ao curso de Radiologia da FOP/UNICAMP. Digo isso, pois vejo em sua conduta com os alunos e em sua postura em sala de aula o quão bom professor e pessoa você é. Espero que nos dias em que fraquejar (todos nós temos esses dias...) não esqueça o quanto batalhou para chegar onde chegou e quanta gente está ajudando e incentivando com seus ensinamentos. Continue escutando os alunos e acreditando em seu coração, pois essa combinação te levará para voos ainda mais altos. Torço por você e tenho certeza de que será um dos professores que fará a diferença em nosso meio.

**Ao Prof. Dr. Frab Norberto Bóscolo,**

Agradeço por cada minuto de ensinamento, por cada momento dispendido do seu valioso tempo, e que certamente me fizeram crescer. Pelo exemplo de amor à Radiologia Odontológica, e pelo afeto dispensado a todos os seus alunos. Obrigado principalmente por acreditar em mim.

**À Profa. Dra. Solange Maria de Almeida Bóscolo,**

Agradeço pelo carinho e ternura que sempre teve comigo. A senhora fez parte da minha formação, me deu oportunidades e serei sempre grato por isso. Muito obrigado.

**À secretária Luciane Sattolo, e aos técnicos e funcionários da clínica de Radiologia Odontológica da FOP, Waldeck Moreira, Fernando Andrade e Sarah Bacchim,**

Obrigado pela dedicação e paciência. Vocês são peças fundamentais para a engrenagem da Radiologia funcionar.

**Ao meu pai Luiz Antonio Patrício Nejaim,**

Qualquer palavra dita aqui será pequena perto do que você representa para mim. Obrigado por acreditar em mim, incentivar e se esforçar tanto para que tudo isso fosse possível. Se um dia eu representar para o meu filho 50% do que você representa para mim, serei um pai realizado. Muito obrigado por tudo.



**À minha mãe Marcia Regina Oliveira Nejaim,**

Ver a sua dedicação em me fazer vencer, só me faz lutar cada vez mais em busca do meu sucesso. Agradeço demais por todo ensinamento, educação e incentivo dados ao longo de toda minha vida. Muito obrigado.

**Aos meus irmãos Sasha Nejaim e Raissa Nejaim,**

Saber que estão ao meu lado e torcendo por mim a qualquer custo faz de mim um homem muito mais feliz. Obrigado por tudo durante esse período. Saibam que essa conquista também é de vocês.

**Aos meus familiares,**

Agradeço pela torcida e confiança que depositaram em mim ao longo desses anos. Faço um agradecimento especial às minhas avós Tininha e Marlene que, além de fontes de inspiração, mostraram-se sempre ao meu lado, rezando, telefonando e dando palavras de incentivo nos momentos mais necessários.

**Aos amigos do Rio de Janeiro,**

Agradeço por cada momento especial e por entenderem que essa distância era necessária para meu crescimento pessoal e profissional.

**À minha amiga e namorada Amanda Farias Gomes,**

Meu amor, só tenho a agradecer a Deus por ter colocado você em meu caminho. Em um mundo com tantas coisas esquisitas e surreais acontecendo, eu encontrei um ponto de luz, amor e lealdade em você. Seu jeito tímido, às vezes, esconde das outras pessoas o quanto você é determinada em seus objetivos. Tenho muito orgulho de ser seu namorado e colega de profissão. Tenho muita certeza de que você terá muito sucesso. Conte sempre comigo, com meu companheirismo e lealdade. Obrigado pela parceria e por ser tão especial e atenciosa comigo em vários momentos. Que dure para sempre. Te amo.

**Ao amigo Leonardo Vieira Peroni,**

Você é a definição de amigo que todos buscam. Estudamos juntos no colégio e só nos conhecíamos de vista. Seguimos a mesma profissão, porém em faculdades diferentes. E por obra do destino, viemos a nos reencontrar aqui na FOP. Passamos por poucas e boas juntos, porém só tenho a agradecer por ter me escolhido como seu padrinho de casamento e por ter me acolhido quando voltei do doutorado sanduíche. Obrigado por demonstrar várias vezes o real sentido de amizade. Conte comigo sempre, meu irmão.

**À amiga Mayra Yamasaki,**

Obrigado por me aturar e ser uma amiga que realmente está presente em todas as horas. Foram muitos momentos especiais ao longo desses anos. Só peço para nunca deixar de acreditar nos seus sonhos. Tenho certeza de que todos eles vão se realizar, pois você é uma guerreira. Muito obrigado pelo seu carinho e por estar sempre pronta a ajudar.

**Ao amigo Henrique Maia Martins,**

Obrigado pelos risos compartilhados, pelos conhecimentos divididos, e por ser um grande amigo em tantos momentos distintos. Torço muito pelo seu sucesso. Conte sempre comigo.

**À amiga Raquel Werczler Queiroz de Castro,**

Sei da sua luta e dedicação diárias. Tenho certeza de que sua vida será de sucesso, pois pessoas como você, que são do bem, merecem chegar longe. Obrigado pela amizade.

**À amiga Danieli Moura Brasil,**

Obrigado pela parceria, amizade e dedicação. Continue com os pés no chão, humilde, pois seu caminho será de sucesso. Obrigado por todas os conselhos e puxões de orelha.

**Ao amigo Gustavo Santaella,**

Muito obrigado pela sua amizade. Continue firme e forte, pois você tem muito potencial. Tenho certeza de que ainda ouvirei muito o seu nome.

**À amiga Débora Duarte Moreira,**

Agradeço pelas conversas e risadas. Torço demais pelo seu sucesso, pois sei o quanto se esforçou para estar aqui. Conte sempre com a minha amizade.

**À amiga Gina Roque Torres,**

Obrigado por toda amizade, carinho e dedicação que teve comigo ao longo desses anos. Sou grato por ter lhe conhecido e levarei sua amizade para sempre.

**Ao amigo Thiago Oliveira Sousa,**

Agradeço por todos os ensinamentos, sejam eles radiológicos ou musicais. Sucesso na sua vida e obrigado pelo convívio no apartamento.

**Ao amigo Neiandro Galvão,**

Obrigado pelo convívio diário, risadas e amizade. Foi um enorme prazer dividir o apartamento com você durante esses meses.

**Ao amigo Amaro Ilídio Vespasiano Silva,**

Serei sempre grato por todo ensinamento e ajuda que me dispensou nesses anos de convívio. Obrigado por ter sido o primeiro a acreditar no meu potencial e por dividir seu conhecimento comigo. Agradeço por cada laudo corrigido, cada dúvida sanada e por cada seminário assistido. Obrigado pela sua paciência em me ensinar e por me incentivar sempre em minhas ideias “malucas” de pesquisa. Obrigado principalmente pela amizade.

**Aos amigos de pós-graduação,**

Amanda Candemil, Ana Caroline Brito, Anne Caroline Oenning, Bernardo Freire, Carolina Valadares, Carolina Cintra, Carlos Lima, Débora Távora, Eduarda Helena Nascimento, Eliana Dantas, Frederico Sampaio, Gabriella Rezende, Helena Aguiar, Hugo Gaeta, Karla Rovaris, Manuella Belém, Monikelly Nascimento, Larissa Souza, Larissa Lagos, Laura Sotelo, Maria Beatriz Alonso, Neiandro Galvão, Phillipe Nogueira, Polyane Queiroz, Priscila Azeredo, Rafaela Argento, Roberto Juns, Saulo Leonardo, Tiago Nascimento, Thiago Gamba e Victor Aquino por fazerem parte dos meus dias, por dividirem conhecimentos, e pelo bom convívio.

**A todos os funcionários da FOP, especialmente à Vanessa e à Lu da limpeza,**

Agradeço por me tratarem sempre com muito carinho e dedicação. Obrigado por possibilitarem que nosso ambiente seja de excelência.

**Aos professores da graduação da UFRJ e da especialização da ABO-RJ,**

Como não agradecer a vocês por chegar onde cheguei? Com certeza, isso é fruto de uma base que adquiri ao longo do tempo e isso eu devo a todos vocês.

## Resumo

O sistema estomatognático é constituído por tecidos e órgãos que desempenham funções importantes como respiração, mastigação, deglutição e fonação. Uma função respiratória deficiente pode influenciar negativamente o desenvolvimento craniofacial, gerando alterações na morfologia e no mecanismo de ação do espaço faríngeo, da mandíbula e do osso hioide. A correlação entre estas estruturas não está claramente elucidada na literatura, necessitando-se assim de mais informações acerca do assunto. Desse modo, o objetivo neste trabalho foi avaliar o volume do espaço faríngeo e sua correlação com a morfologia da mandíbula e o osso hioide em pacientes com diferentes tipos faciais e classes esqueléticas. Além disso, outro objetivo foi desenvolver uma fórmula para estimar o volume do espaço faríngeo a partir de medidas lineares. Assim, foram selecionadas, 161 imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico adquiridas no aparelho i-CAT Next Generation<sup>®</sup>. Dessas imagens, 80 eram de indivíduos do sexo masculino e 81 de indivíduos do sexo feminino, com idades entre 21 e 58 anos. A classe esquelética e o tipo facial foram determinados para cada paciente, a partir de reconstruções multiplanares, utilizando-se o software NemoCeph<sup>®</sup>. Dezessete medidas lineares e angulares foram realizadas com o software Carestream 3D Imaging<sup>®</sup> 3.4.3, enquanto a análise volumétrica do espaço faríngeo foi realizada por meio da ferramenta de segmentação semiautomática do software Insight ITK -SNAP<sup>®</sup> 2.4.0. O software MedCalc Statistical<sup>®</sup> 15.8 foi utilizado para as análises estatísticas Coeficiente de correlação intraclasse, ANOVA, Tukey, correlação de Pearson e regressão linear. Foram observadas diferenças estatisticamente significantes entre as diferentes classes esqueléticas nas mensurações Ângulo transverso da mandíbula, Distância ântero-posterior da mandíbula, Distância látero-lateral da mandíbula, Distância ântero-posterior da vértebra C2, Distância látero-lateral da epiglote, Menor distância do espaço faríngeo e Volume do espaço faríngeo. Em relação aos diferentes tipos faciais, as mensurações Distância látero-lateral do osso hioide, Ângulo transverso da mandíbula, Ângulo ântero-posterior da mandíbula, Distância ântero-posterior da vértebra C2, Distância ântero-posterior da epiglote e Menor distância do espaço faríngeo mostraram diferenças estatisticamente significantes. Houve correlação significativa entre o volume do espaço faríngeo e as medidas realizadas, com exceção às mensurações de Ângulo transverso do osso hioide, Distância látero-lateral do osso hioide, Ângulo transverso da mandíbula, Ângulo ântero-posterior da mandíbula e Distância espinha nasal anterior - espinha nasal posterior. O modelo de regressão linear realizado para prever o volume do espaço faríngeo obteve um R<sup>2</sup> de 0.8362. Concluiu-se que houve correlações significativas entre o volume do espaço faríngeo e

as mensurações na mandíbula e no osso hioide, recomendando-se que o sistema estomatognático seja avaliado de uma maneira integral e isolada. Além disso, foi possível desenvolver um modelo de regressão linear com precisão, o que resultou em uma fórmula útil para a predição do volume do espaço faríngeo.

Palavras-chave: Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico. Faringe. Mandíbula. Osso Hioide.

## Abstract

The stomatognathic system consists on tissues and organs that perform important functions such as breathing, chewing, swallowing and phonation. Deficient respiratory function may affect the craniofacial development, leading to changes in the morphology and mechanism of action of the pharyngeal space, mandible and hyoid bone. The correlation between these structures is not clearly elucidated in the literature, requiring further information about this subject. The aim of this study was to evaluate the volume of the pharyngeal space and its correlation with mandible and hyoid bone in patients with different facial types and skeletal classes. In addition, another objective was to develop a formula to determine the volume of the pharyngeal space using only linear measurements. Thus, 161 cone-beam computed tomography images were acquired on the i-CAT Next Generation® device. Out of these images, 80 belonged to males and 81 belonged to females, aged between 21 and 58 years. The skeletal class and facial type were determined for each patient from multiplanar reconstructions using NemoCeph® software. Seventeen linear and angular measurements were performed with the Carestream 3D Imaging® Software 3.4.3, while a volumetric analysis of the pharyngeal space was performed using the semiautomatic segmentation tool of the Insight ITK-SNAP® 2.4.0 software. MedCalc Statistical® software in version 15.8 was used for Intraclass correlation coefficient, ANOVA, Tukey, Pearson's correlation and linear regression analyzes. Statistically significant differences were observed between the different skeletal classes in the Transverse Angle of Mandible, Anterior-Posterior angle of Mandible, Latero-Lateral distance of Mandible, Anterior-Posterior distance of airway space in the region of C2 vertebra, Latero-Lateral distance of airway space in the region of Epiglottis, Shortest Distance of the pharyngeal space and Pharyngeal Space Volume. In relation to the different facial types, Latero-Lateral distance of Hyoid Bone, Transverse Angle of Mandible, Anterior-Posterior distance of Mandible, Anterior-Posterior distance of the airway space in the region of C2, Anterior-Posterior distance of the airway space in the region of Epiglottis and Shortest Distance of the pharyngeal space showed statistically significant differences. There was a statistically significant correlation between the Pharyngeal Space Volume and all the measurements, with exception of the Transverse Angle of Hyoid Bone, Latero-Lateral distance of Hyoid Bone, Anterior-Posterior distance of Mandible, Transverse Angle of Mandible and Anterior Nasal Spine–Posterior Nasal Spine Distance. The linear regression model used to predict the pharyngeal space volume obtained an  $R^2$  of 0.8362. It was concluded that there were significant correlations between the pharyngeal space volume and the mandible and hyoid bone measurements, suggesting that the

stomatognathic system should be evaluated in an integral and isolated way. Furthermore, it was possible to develop a linear regression model with precision, resulting in a useful formula for predicting the volume of the pharyngeal space.

**Keywords:** Cone-beam computed tomography. Pharynx. Mandible. Hyoid bone.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 ARTIGO: Evaluation of Pharyngeal Space and its Correlation with Mandible and Hyoid Bone in Patients with different Skeletal Classes and Facial Types.....	21
3 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS* .....	39
APÊNDICE 1 .....	43
ANEXO 1 – Comprovante de submissão do artigo ao periódico.....	54
ANEXO 2 – Comitê de Ética em Pesquisa. ....	55



## **1 INTRODUÇÃO**

O sistema estomatognático é constituído por tecidos e órgãos que compreendem estruturas ósseas, dentes, músculos, articulações e glândulas, além de sistemas vasculares, linfáticos e nervosos. Dentre as funções desempenhadas por esse sistema destacam-se quatro principais: respiração, mastigação, deglutição e fonação (Discher et al., 2005; Prado et al., 2007).

A literatura apresenta-se escassa em relação a possíveis associações entre função respiratória, morfologia facial e oclusão. Não está claramente elucidado como variações no fluxo de ar do sistema respiratório podem alterar o crescimento e o desenvolvimento dos seres humanos. Alguns autores acreditam que variações durante a respiração podem contribuir no desenvolvimento de má oclusão devido à pressão exercida pelos tecidos moles nas demais estruturas orofaciais, podendo afetar a erupção dos dentes, a forma do arco dentário e, possivelmente, a direção do crescimento mandibular e maxilar (Ogawa et al., 2007; Walsh et al., 2008). Outro estudo afirma que o volume da via aérea é influenciado pela posição do osso hioide, por meio do músculo constritor médio da faringe (Ha et al., 2013). Existe ainda a vertente que acredita que uma má proporção entre as bases ósseas, maxilar e mandibular, ocasiona uma respiração deficiente (Freitas et al., 2006).

A morfologia e o mecanismo de ação do espaço faríngeo, da mandíbula e do osso hioide podem alterar significativamente o funcionamento craniofacial, necessitando, assim, de conhecimento e atenção aprofundados (McNamara, 1981).

O espaço faríngeo é uma estrutura complexa do sistema respiratório, estendendo-se do óstio da narina até a borda inferior da cartilagem cricóide e coincidindo com a sexta vértebra cervical. Alguns autores o classificam em três regiões: nasofaringe, orofaringe e hipofaringe (Muto et al., 2002; Iwasaki et al., 2011). O espaço faríngeo é responsável por funções relacionadas à filtração do ar inalado, removendo agentes infecciosos, alérgicos e tóxicos; defesa, através da mucosa que identifica, metaboliza e remove uma série de elementos xenobióticos; condução, aquecimento e umidificação de 10.000 a 20.000 litros de ar por dia; e contribuição importante para audição, olfação, gustação e fonação. Quando o tamanho do espaço da nasofaringe aparece reduzido, devido à presença de adenóides ou ao estreitamento anatômico, o desequilíbrio funcional resultante pode impactar no crescimento e no desenvolvimento craniofaciais (Shapiro et al., 1988).

A mandíbula deriva do esqueleto visceral (primeiro arco branquial) e, a partir da sexta semana de vida intrauterina, começa a ossificar-se antes de qualquer outro osso do organismo, com exceção da clavícula (Madeira, 1971). Em fase embrionária há uma ossificação bilateral em direção látero-medial. Quando os dois processos se unem, formam o único osso móvel da face, em forma de “U”, onde se desenvolve a arcada dentária inferior (Kribbs et al., 1990). A mandíbula articula-se com os dois ossos temporais por meio da articulação temporomandibular (ATM), sendo capaz de realizar uma série de movimentos que são produtos da atividade sinérgica de diferentes músculos regulados e coordenados pelo sistema nervoso central (Sicher and Du Brul, 1970). Dessa forma, os movimentos mandibulares funcionais, especialmente durante a mastigação e a deglutição, são controlados e guiados por meio de quatro componentes fisiológicos básicos: componentes neuromusculares, articulações temporomandibulares, oclusão e gonfoses (Leite et al., 2010).

Observa-se que a relação entre a mandíbula e o osso hioide é mantida constante desde a idade de três anos, correspondendo à etapa de desenvolvimento e crescimento longitudinal da coluna cervical (Opdebeeck et al., 1978; Bobby et al., 1981; Bibby., 1984).

O osso hioide localiza-se imediatamente acima da laringe, na altura da terceira vértebra cervical (Mukhopadhyay, 2010). Esse é o único osso do corpo que não está articulado com outros ossos do esqueleto humano. Sua origem é derivada dos segundo e terceiro arcos braquiais, a partir dos quais são formados seu corpo, dois cornos maiores e dois cornos menores. A parte superior do corpo, cornos menores e ligamento estilo-hioide são derivados a partir do segundo arco branquial, e a parte inferior do corpo e cornos maiores são derivados do terceiro arco branquial (Ito et al., 2012). Estudos têm descrito, com base na observação visual, a morfologia do osso hioide em formatos de "U", "V", ferradura e assimétrico (Koebeke et al., 1979; Papadopoulos et al., 1989; Miller et al., 1998; Fakhry et al., 2013).

Dez diferentes músculos estão diretamente associados ao osso hioide. Dentre os principais, destacam-se os músculos da faringe (realizam a constrição e a elevam), os músculos da laringe (ajustam as dimensões da passagem do ar), os músculos infra-hioideos (posicionam a laringe e o osso hioide no pescoço), os músculos supra-hioideos (unem o osso hioide à mandíbula e à base do crânio) e os músculos posturais no compartimento muscular do pescoço (posicionam o pescoço e a cabeça) (Graber, 1978).

Na mastigação, durante os movimentos de abertura e fechamento e de lateralidades direita e esquerda, os movimentos mandibulares necessitam enormemente da ancoragem

hioidea, principalmente com a ação dos grupos musculares supra e infra-hioideos. No processo de deglutição é o osso hioide quem dá ancoragem à língua para que ela se posicione mais para posterior e superior, levando o bolo alimentar à região orofaríngea (Dutra et al., 2010).

O padrão facial e esquelético de cada indivíduo está diretamente relacionado à ação muscular. Os músculos são as matrizes funcionais capazes de guiar o crescimento e o desenvolvimento do complexo craniofacial carregando em si uma característica peculiar de armazenar a carga genética (forma, tamanho, tipo de fibras) e reproduzi-la na elaboração do arcabouço craniofacial. Dependendo das características intrínsecas deste complexo muscular, as formas e direções de crescimento se alteram, formando padrões faciais e esqueléticos diferentes (McIntyre and Mossey, 2003; Shah and Jadhav, 2004; Sies et al., 2007). A variável sexo também deve ser levada em consideração ao analisarmos padrões esqueléticos e faciais, uma vez que os indivíduos do sexo feminino atingem sua forma facial adulta numa idade consideravelmente mais jovem do que os do sexo masculino. O surto de crescimento facial na adolescência inicia-se mais tardiamente nos meninos, sendo de maior duração e mais pronunciado do que nas meninas. Isso traduz uma diferença definitiva na morfologia facial entre os sexos masculino e feminino, como descreve Van der Linder (Bianchini, 1998).

O paciente com desproporções maxilomandibulares apresenta desequilíbrio entre as funções estomatognáticas e desarmonia entre as estruturas anatômicas, o que pode ser corrigido por meio de cirurgia ortognática promovendo, ainda, uma melhora na estética facial. As mudanças bruscas de forma decorrentes do processo ortodôntico-cirúrgico propiciam melhores posicionamento e proporção das bases ósseas (Grauer et al. 2009). Esse reposicionamento altera tanto o perfil ósseo quanto os tecidos moles do paciente, que tendem a se adaptar, até mesmo por ação da inércia, ao novo posicionamento dos ossos (Souza et al., 1997). Alguns autores defendem que o paciente submetido à cirurgia ortognática, cujas bases ósseas foram reposicionadas, possuiria uma musculatura que tende a se adaptar a esse novo espaço, devido à plasticidade do sistema estomatognático. Entretanto, as pressões musculares atípicas, com seus padrões adaptativos às características dentofaciais e funcionais do paciente, podem persistir após a cirurgia, promovendo a recidiva do mau posicionamento das bases ósseas (Vreeke et al., 2011).

Com o advento da tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC), com dose menor de radiação em relação à tomografia computadorizada de feixe em leque, tornou-se possível obter imagens em três dimensões e avaliações mais precisas, superando algumas das

limitações apresentadas nos estudos com imagens 2D (Ludlow e Ivanovic, 2008; Loubele et al., 2009; Guijarro-Martínez e Swennen, 2011; Lorenzoni et al., 2012). A análise em três dimensões do volume e da forma do espaço faríngeo é necessária para se entender as adaptações da cavidade oral e da faringe em diferentes condições respiratórias e estímulos proprioceptivos (Grauer et al., 2009). Dada a complexidade da estrutura 3D da via aérea, alguns autores realizaram uma revisão sistemática sobre o tema e concluíram que o uso da TCFC representa uma ferramenta de diagnóstico mais valiosa no estudo do espaço faríngeo em relação à radiografia convencional (Van Vlijmen et al., 2009).

Técnicas que possibilitem o diagnóstico preciso de alterações no espaço faríngeo e que levem em consideração aspectos concernentes à sua morfologia e volume se tornam fundamentais, tanto para assegurar o desenvolvimento normal do complexo craniofacial quanto para garantir a escolha de um plano de tratamento adequado que resulte em benefícios e não em atraso e recidiva do tratamento ortodôntico. Devido à estreita relação entre o espaço faríngeo, mandíbula e osso hioide, além do fato de que as intervenções ortodôntica e/ou ortognática podem afetar o sistema estomatognático, informações acerca da influência das classes esqueléticas e dos tipos faciais sobre essas estruturas, podem proporcionar um melhor direcionamento no diagnóstico e no tratamento dos pacientes.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o volume do espaço faríngeo e sua correlação com a mandíbula e o hioide em pacientes com diferentes tipos faciais e classes esqueléticas. Além disso, outro objetivo foi determinar o volume do espaço faríngeo por meio de uma fórmula usando apenas medidas lineares.

**2 ARTIGO: Evaluation of Pharyngeal Space and its Correlation with Mandible and Hyoid Bone in Patients with different Skeletal Classes and Facial Types**

A versão em inglês desse artigo, intitulado *Evaluation of Pharyngeal Space and its Correlation with Mandible and Hyoid Bone in Patients with different Skeletal Classes and Facial Types*, foi submetida, no dia 09 de janeiro de 2017, à apreciação (Anexo 1), visando à publicação, ao periódico *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, AJO-DO. A estruturação do artigo baseou-se nas “Instruções aos autores” preconizadas pela editora do periódico.

**Original Article**

Evaluation of Pharyngeal Space and its Correlation with Mandible and Hyoid Bone in Patients with different Skeletal Classes and Facial Types

Yuri Nejaim<sup>1</sup>, Johan K. M. Aps<sup>2</sup>, Francisco Carlos Groppo<sup>3</sup>, Francisco Haiter Neto<sup>4</sup>

1 - DDS, MSc, PhD student, Department of Oral Diagnosis, Piracicaba Dental School, State University of Campinas, Piracicaba, SP, Brazil

2 - DDS, MSc, PhD, Clinical Associate Professor, Department of Oral Medicine, Division of Oral and Maxillofacial Radiology, University of Washington, Seattle, USA.

3 - DDS, MSc, PhD, Associate Professor, Department of Physiological Sciences, Piracicaba Dental School, State University of Campinas, Piracicaba, SP, Brazil

4 - DDS, MSc, PhD, Associate Professor, Department of Oral Diagnosis, Piracicaba Dental School, State University of Campinas, Piracicaba, SP, Brazil

**Corresponding author:**

Yuri Nejaim

E-mail address: ynejaim@hotmail.com

Av. Limeira, 901, Areião - Piracicaba, SP – Brazil, 13414-903

Phone: 55 19 21065227

---

## **ABSTRACT**

**Aim:** To evaluate the pharyngeal space volume, the size and shape of mandible and hyoid bone, as well as their relationships, in patients with different facial types and skeletal classes. Furthermore, to determine the volume of the pharyngeal space through a formula using only linear measurements.

**Methodology:** A total of 161 i-CAT Next Generation<sup>®</sup> (Imaging Sciences International, Hatfield, PA) cone-beam CT images (80 males, 81 females, aged between 21 and 58 years old, mean age = 27 years), were retrospectively studied. Skeletal class and facial type were determined for each patient from multiplanar reconstructions using the NemoCeph<sup>®</sup> software (Nemotec, Madrid, Spain). Linear and angular measurements were performed using the Carestream 3D Imaging<sup>®</sup> software 3.4.3 (Carestream Health Inc., Rochester, NY), while volumetric analysis of the pharyngeal space was carried out through the ITK-SNAP<sup>®</sup> 2.4.0 (Cognitica, Philadelphia, PA) segmentation software.

**Results:** The pharyngeal space volume, when correlated with mandible and hyoid bone linear and angular measurements, showed significant correlations with regard to skeletal class and/or facial type. The linear regression performed to predict the volume of the pharyngeal space showed a R of 0.92 and an adjusted R<sup>2</sup> of 0.8362.

**Conclusions:** There were significant correlations between the pharyngeal space volume, the mandible and hyoid bone measurements, suggesting that the stomatognathic system should be evaluated in an integral and non-individualized way. Furthermore, it was possible to develop a linear regression model with precision, resulting in a useful formula for predicting the volume of the pharyngeal space.

**Keywords:** Cone-beam computed tomography; Pharynx; Mandible; Hyoid bone.

## INTRODUCTION

Craniofacial growth and occlusion are influenced, among other things, by the respiratory function. An impaired nasal respiratory function is associated with airway inadequacy, which can result in the habit of mouth breathing. This change in breathing pattern leads to lowering of the mandible and the tongue and an extended head posture. Changes in normal airway function during the active facial growth period can have had a profound influence on facial development by the time a patient comes for orthodontic treatment.<sup>1,2</sup>

Combined orthodontic and orthognathic surgical treatment has become a common treatment modality for the correction of facial deformities. An important aspect of orthognathic surgery is the effect of skeletal movements in the surrounding structures. Maxillomandibular advancement leads to the anterior movement of the soft palate, base of the tongue, hyoid bone, and anterior pharyngeal tissues, resulting in an increase in volume of the nasopharynx, oropharynx, and hypopharynx and therefore increasing the posterior airway space.<sup>3,4</sup> In the other way, mandibular setback surgery can cause relative narrowing of the pharyngeal airway and a significant posterior movement of the hyoid bone.<sup>5,6</sup>

The hyoid bone is connected to the pharynx, mandible, and cranium through muscles and ligaments. The hyoid bone and its connecting muscles are also part of the oropharyngeal complex. Without the hyoid bone, our facility for maintaining an airway, swallowing, preventing regurgitation, and maintaining the upright postural position of the head could not be controlled as carefully.<sup>7</sup>

The use of cone-beam computed tomography (CBCT) in dentistry has increased considerably in the last years. With the introduction of 3D imaging, the possibility for a quantification of the dimension of the pharyngeal space has broadened. Because of its high spatial resolution, adequate contrast between the soft tissue and empty space, and the relatively low radiation dose compared with multi slice computed tomography, CBCT has been used to measure anatomical structures and analyze the pharyngeal space morphology in three dimensions.<sup>8,9,10</sup>

Due to the close relationship between the pharynx, mandible and hyoid bone and the fact that orthodontic or orthognathic interventions may affect the pharyngeal space, information regarding the influence of skeletal classes and facial types on this structures, which is scarce in the literature, would improve the direction of the diagnosis and treatment of orthodontic patients.

The aim of this study was to evaluate the volume of the pharyngeal space, the size and shape of mandible and hyoid bone, as well as their relationships, in patients with different facial types and skeletal classes. Furthermore, to determine the volume of the pharyngeal space through a formula using only linear measurements.

## MATERIAL AND METHODS

This study was approved by the local ethics committee.

This retrospective study was performed on a batch of previously taken CBCT volumes (i-CAT Next Generation<sup>®</sup>, Imaging Sciences International, Hatfield, PA - 120 kVp, 5 mA, 23 x 17 cm field of view, 0.4-mm voxel, and 40 seconds scanning time) for various diagnostic reasons. The CBCT exams were made with each subject sitting upright, and with the Frankfort horizontal plane parallel to the ground and the patient's teeth occluding in maximum intercuspation.

A total of 161 CBCT volumes from 80 males and 81 females, aged between 21 and 58 years old (mean age = 27 years), were included in this study. Patients younger than 21 years of age and patients subjected to orthognathic surgery and with pathologies in the region of head and neck or syndromes were excluded from the study.

Skeletal class (class I, II and III) and facial type (brachycephalic, mesocephalic, and dolichocephalic) were determined, by an orthodontist, for each patient from multiplanar reconstructions (lateral cephalometric) derived from the CBCT images with the NemoCeph<sup>®</sup> software (Nemotec, Madrid, Spain).

To determine the skeletal classes, classified as class I, class II or class III, it was used the SNA, SNB and ANB measures, acquired from the cephalometric analysis of Steiner. The Jarabak's AO-BO measure was used to confirm the skeletal classes classification.

With regard to facial type, differentiation into vertical groups (brachyfacial, mesofacial, dolichofacial) was determined by the VERT index (arithmetic average of five cephalometric measurements: angle of the facial axis, facial depth, mandibular plane angle, lower facial height and mandibular arch) as calculated in Ricketts' cephalometric analysis.



The linear and angular measurements were performed based on Park et. al<sup>11</sup> using the CS 3D Imaging<sup>®</sup> software3.4.3 (Carestream Health Inc., Rochester, NY, USA). The measures were implemented according to the following protocol:

**Anterior Nasal Spine – Posterior Nasal Spine Distance (ANS-PNS Distance):** In the axial reconstruction both points were first identified as the most anterior and most posterior point of the hard palate, respectively. Subsequently, this distance was measured in the sagittal reconstruction (Figure 1A).

**Anterior-Posterior Angle of Mandible (AP Angle of Mandible):** First of all, the left side of the mandible was assessed on the sagittal reconstruction in MIP (maximum intensity projection). Subsequently, three points were marked on the left side of the mandible in the sagittal reconstruction: the most posterior point of the mandibular condyle, the Gonion point and the most inferior border of the mandible body (Figure 1B). Finally, the angle between the 2 lines was measured.

**Shortest Distance of the pharyngeal space (Shortest Distance):** The point of greatest pharyngeal space constriction was measured in the same sagittal reconstruction as where ANS-PNS was measured (Figure 1C).

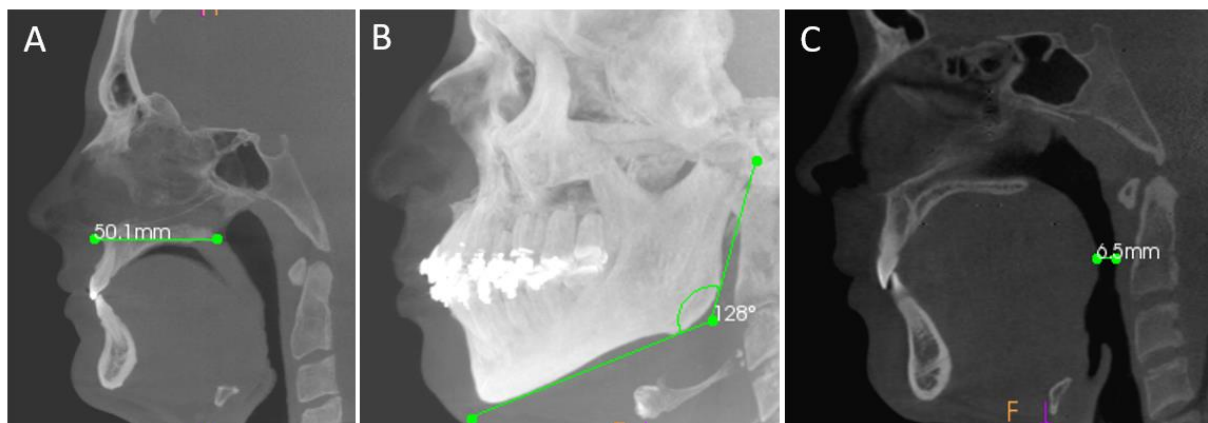


Figure 1- A - Distance ANS – PNS, B - AP Angle of Mandible, C - Shortest Distance.

**Pharyngeal space dimensions:** In the axial reconstruction, measurements of Anterior-Posterior distance (AP) and Latero-Lateral distance (LL) of the pharyngeal space were performed on 4 different levels, which were determined by a line drawn in the midsagittal reconstruction at the level of the most inferior and anterior point of the vertebrae (C1, C2 and C3) and on the most concave point of the base of epiglottis (Figure 2).

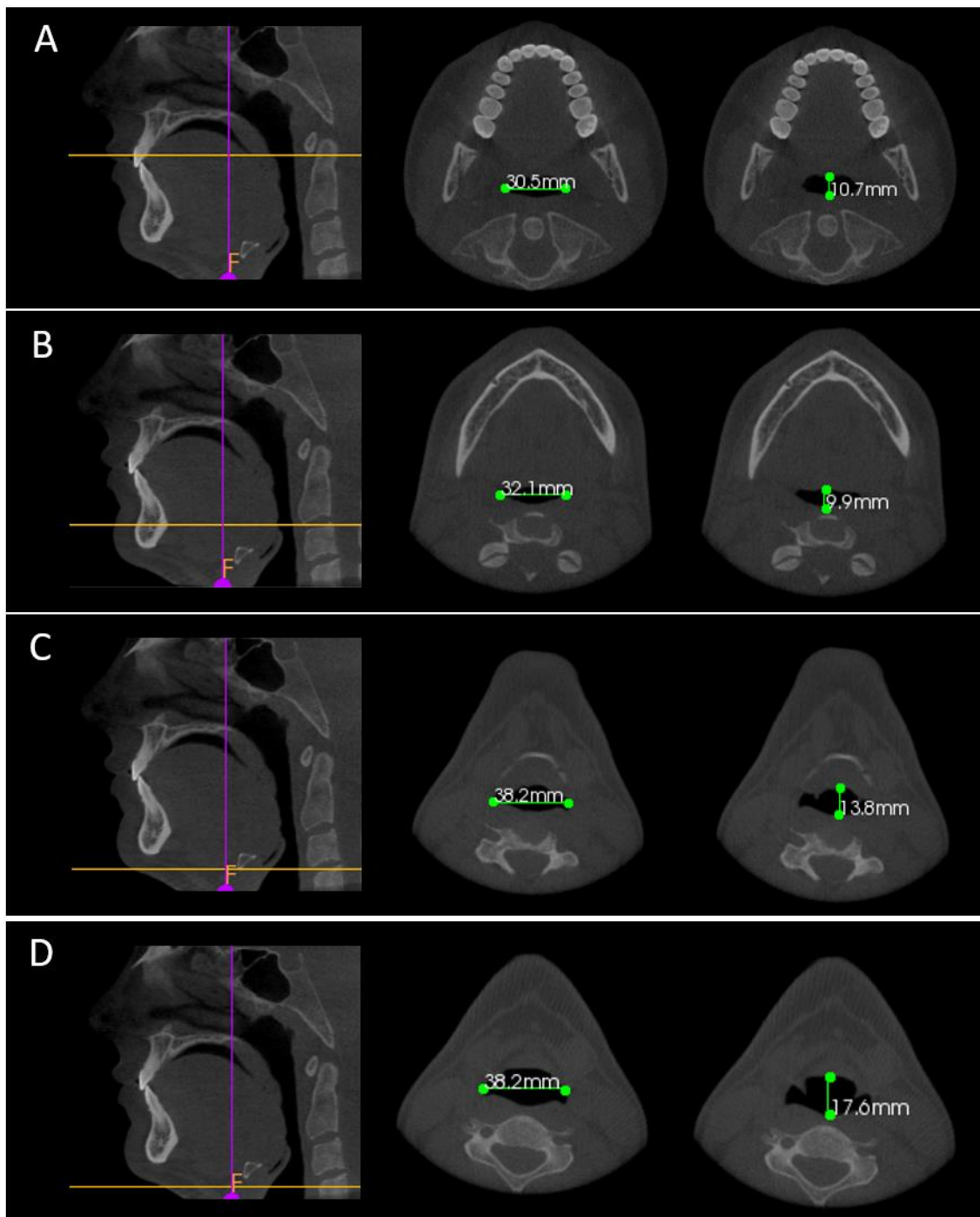


Figure 2 - A - LLC1 and APC1, B - LLC2 and APC2, C - LLC3 and APC3, D - LL Epiglottis and AP Epiglottis.

Transverse Angle of Hyoid Bone (TA Hyoid Bone): To determine this angle, a line connecting the lesser with the greater horn of the hyoid bone, in the axial reconstruction, was drawn on the left and right sides of the hyoid bone (Figure 3A).

Latero-Lateral distance of Hyoid Bone (LL Hyoid Bone): In the same axial reconstruction as above mentioned, the distance between the two greater horns was measured (Figure 3B).

Anterior-Posterior distance of Hyoid Bone (AP Hyoid Bone): In the same axial reconstruction as above mentioned, a line was dropped perpendicular from the most anterior point in the concavity of the body of the hyoid bone to a line connecting the two greater horns (Figure 3C).

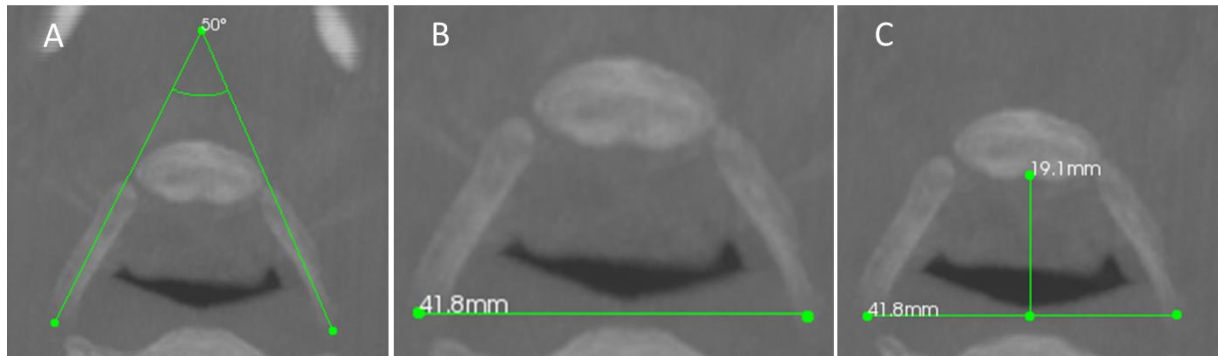


Figure 3 - A - Transverse Angle of Hyoid bone, B - LL Hyoid Bone, C - AP Hyoid Bone.

Transverse Angle of Mandible (TA Mandible): In the axial reconstruction, the angle was measured between two lines connecting the most anterior point of the mandibular symphysis and the Gonion point on left and right sides of the mandible (Figure 4A).

Latero-Lateral distance of Mandible (LL Mandible): In the same axial reconstruction as described above, the distance was measured between the left and right Gonion points (Figure 4B).

Anterior-Posterior distance of Mandible (AP Mandible): In the same axial reconstruction as above mentioned, a line was dropped perpendicular from the most anterior point on the lingual surface of the symphysis to a line connecting the left and right Gonion points (Figure 4C).

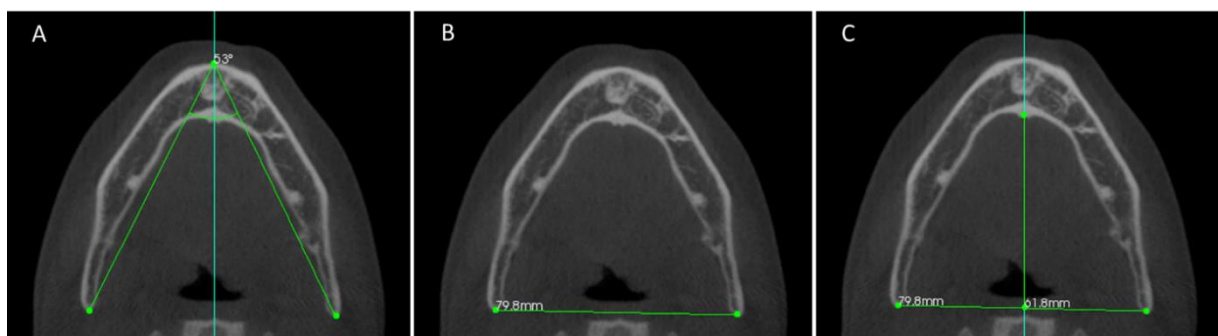


Figure 4 - A – Transverse Angle of Mandible, B - LL Mandible, C - AP Mandible.

The analysis of the Pharyngeal Space Volume (PS Volume) were carried out from the 3D model. The reconstruction of the 3D model was established with the semiautomatic segmentation mode of the software Insight ITK-SNAP<sup>®</sup> 2.4.0 (Cognitica, Philadelphia, PA, USA), which measured the volume of the structure in cubic millimeters (mm<sup>3</sup>). The volume measured in this study corresponded to the union between oropharynx and hypopharynx. For this, we followed the anatomical delimitations described by Grauer et. al <sup>16</sup> establishing a superior reference line traced from the posterior nasal spine to the lowest point of the first cervical vertebra, and an inferior reference line traced on the most inferior point of the fourth cervical vertebra perpendicular to the medial sagittal plane (Figure 5).

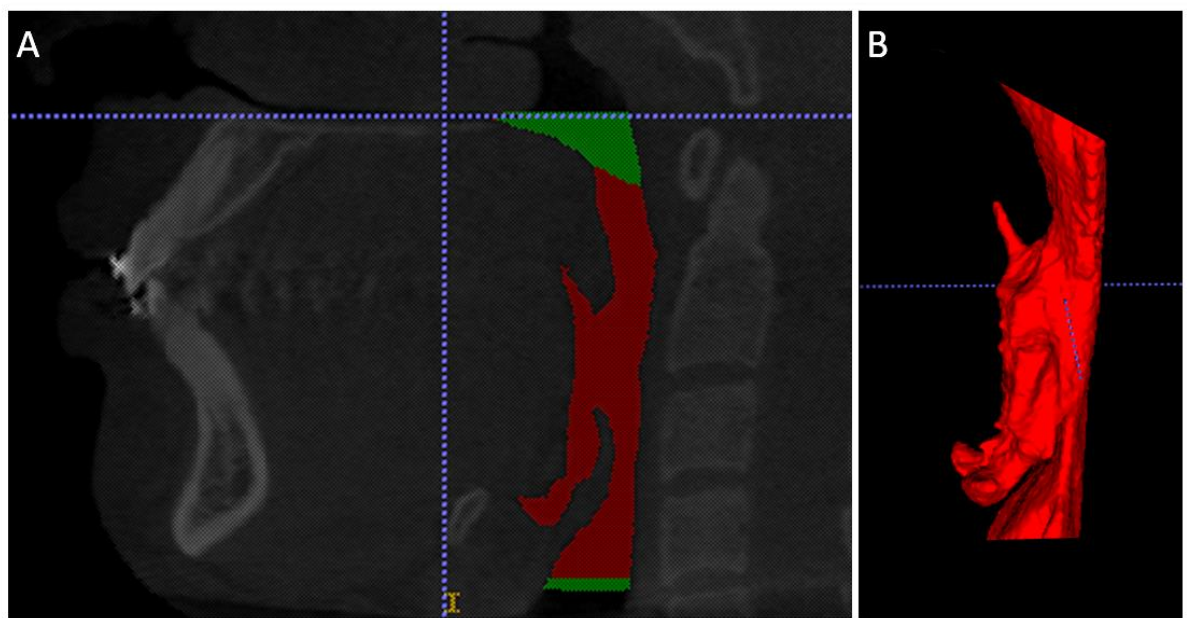


Figure 5 - A - Segmentation of the pharyngeal space using the reference points described in the text (in red) and region not considered for delimitation of the pharyngeal space (in green), B - 3D volume of the union between oropharynx and hypopharynx.

One calibrated examiner performed all software operations and measurements in a subdued and quiet room. The examiner executed all measures 10 times of the same patient, with a day of interval, to assess the reproducibility of the method. The intraclass correlation coefficient was determined to assess the investigator's reproducibility on the measurements.

Statistical analysis was performed using MedCalc Statistical<sup>®</sup> Software version 15.8 (MedCalc Software bvba, Ostend, Belgium; 2015). ANOVA and Tukey's tests with a significance level of 5% were employed to compare the groups (facial type and skeletal class) and Pearson correlation test was used to identify correlations between the volume of the pharyngeal space

and the other variables analyzed. A linear regression was performed to create a formula for predicting the volume of the pharyngeal space.

## RESULTS

The intraclass correlation coefficient for the linear measurements was 0.988 ( $p < 0.0001$ ) and for the angular measurements was 0.99 ( $p < 0.0001$ ).

The distribution of skeletal class and facial type is shown in table 1. No statistically significant differences ( $p < 0,0001$ ) were observed between sexes for facial type or skeletal class.

Table 1. Distribution of patients according to skeletal classes and facial types in the different sexes.

	Female (n=81)	Male (n=80)	Total (n=161)
Skeletal Class I	37 (45.7%)	23 (28.8%)	60 (37.3%)
Skeletal Class II	31 (38.3%)	29 (36.2%)	60 (37.3%)
Skeletal Class III	13 (16.0%)	28 (35.0%)	41 (25.4%)
Brachycephalic	35 (43.2%)	35 (43.8%)	70 (43.5%)
Dolichocephalic	17 (21.0%)	21 (26.2%)	38 (23.6%)
Mesocephalic	29 (35.8%)	24 (30.0%)	53 (32.9%)

It was observed that with regard to skeletal class, Transverse Angle of Mandible, AP Mandible, LL Mandible, LL Hyoid Bone, APC2, LL Epiglottis, Shortest Distance and PS Volume showed statistically significant differences (Table 2).

Table 2. All the measures in millimeters according to the skeletal class.

	Mean ( $\pm$ SEM)		
	Class I (n=60)	Class II (n=60)	Class III (n=41)
Transverse Angle of Hyoid bone	41.7 ( $\pm$ 1.26)	43.5 ( $\pm$ 1.38)	41 ( $\pm$ 1.38)
AP Hyoid Bone	23.2 ( $\pm$ 0.55)	23.5 ( $\pm$ 0.43)	25 ( $\pm$ 0.72)
LL Hyoid Bone	36 ( $\pm$ 0.6) <b>b</b>	38.5 ( $\pm$ 0.65) <b>a</b>	37.5 ( $\pm$ 0.84) <b>ab</b>
Transverse Angle of Mandible	62.5 ( $\pm$ 0.44) <b>a</b>	63.3 ( $\pm$ 0.5) <b>a</b>	60.4 ( $\pm$ 0.72) <b>b</b>
AP Mandible	56.4 ( $\pm$ 0.66) <b>b</b>	57.8 ( $\pm$ 0.73) <b>b</b>	62.8 ( $\pm$ 1.09) <b>a</b>
LL Mandible	80.5 ( $\pm$ 0.66) <b>b</b>	83.9 ( $\pm$ 0.71) <b>a</b>	85.5 ( $\pm$ 0.9) <b>a</b>
AP Angle of Mandible	132 (119)	131 (118.5)	129 (12.5)
APC1	13.1 (10.1)	15 (11.15)	13.4 (4.65)
APC2	10.5 ( $\pm$ 0.4) <b>b</b>	9.5 ( $\pm$ 0.45) <b>c</b>	12.3 ( $\pm$ 0.67) <b>a</b>
APC3	11.7 ( $\pm$ 0.45)	11.1 ( $\pm$ 0.59)	13.1 ( $\pm$ 0.65)
AP Epiglottis	14.9 ( $\pm$ 0.31)	14.4 ( $\pm$ 0.39)	15.3 ( $\pm$ 0.49)
LLC1	29.2 ( $\pm$ 0.85)	30.7 ( $\pm$ 0.92)	31.2 ( $\pm$ 1.14)
LLC2	24.6 ( $\pm$ 0.74)	26.2 ( $\pm$ 0.93)	27.5 ( $\pm$ 1.3)
LLC3	29.6 ( $\pm$ 0.54)	29.9 ( $\pm$ 0.69)	30.9 ( $\pm$ 0.72)
LL Epiglottis	34.2 ( $\pm$ 0.56) <b>b</b>	36.2 ( $\pm$ 0.49) <b>a</b>	36.3 ( $\pm$ 0.68) <b>a</b>
ANS-PNS Distance	54.1 ( $\pm$ 0.6)	54.9 ( $\pm$ 0.54)	54.5 ( $\pm$ 0.59)
Shortest Distance	7.8 ( $\pm$ 0.35) <b>ab</b>	6.9 ( $\pm$ 0.45) <b>b</b>	8.8 ( $\pm$ 0.43) <b>a</b>
PS Volume	14560.2 ( $\pm$ 660.32) <b>b</b>	16110.8 ( $\pm$ 910.7) <b>ab</b>	18840.8 ( $\pm$ 970.38) <b>a</b>

\*Different superscripts indicate statistically significant difference between the indicated groups ( $p > 0.05$ ) by ANOVA

\*\*SEM - Standard Error of Mean

It was observed that with regard to the different facial types, LL Hyoid Bone, Transverse Angle of Mandible, AP Angle of Mandible, APC2, AP Epiglottis, Shortest Distance and PS Volume showed statistically significant differences (Table 3).

Table 3. All the measures in millimeters according to the facial types.

	Mean ( $\pm$ SEM)		
	Brachyfacial (n=70)	Mesofacial (n=53)	Dolichofacial (n=38)
Transverse Angle of Hyoid bone	42.2 ( $\pm$ 1.24)	41.6 ( $\pm$ 1.24)	43.1 ( $\pm$ 1.69)
AP Hyoid Bone	24.2 ( $\pm$ 0.5)	23.4 ( $\pm$ 0.56)	23.5 ( $\pm$ 0.64)
LL Hyoid Bone	37.4 ( $\pm$ 0.65) <b>ab</b>	36.1 ( $\pm$ 0.65) <b>b</b>	38.8 ( $\pm$ 0.72) <b>a</b>
Transverse Angle of Mandible	61.9 ( $\pm$ 0.5) <b>b</b>	61.5 ( $\pm$ 0.5) <b>b</b>	64 ( $\pm$ 0.62) <b>a</b>
AP Mandible	58.9 ( $\pm$ 0.85)	58.2 ( $\pm$ 0.76)	58.5 ( $\pm$ 0.96)
LL Mandible	83.8 ( $\pm$ 0.73)	81.5 ( $\pm$ 0.74)	83.8 ( $\pm$ 0.86)
AP Angle of Mandible	124.4 ( $\pm$ 0.83) <b>c</b>	127.8 ( $\pm$ 0.7) <b>b</b>	132.3 ( $\pm$ 1.12) <b>a</b>
APC1	13.2 ( $\pm$ 0.47)	12.8 ( $\pm$ 0.51)	11.7 ( $\pm$ 0.5)
APC2	11.7 ( $\pm$ 0.5) <b>a</b>	9.9 ( $\pm$ 0.42) <b>b</b>	9.4 ( $\pm$ 0.49) <b>b</b>
APC3	12.5 ( $\pm$ 0.5)	11.3 ( $\pm$ 0.6)	11.4 ( $\pm$ 0.6)
AP Epiglottis	15.6 ( $\pm$ 0.37) <b>a</b>	13.8 ( $\pm$ 0.34) <b>b</b>	14.9 ( $\pm$ 0.4) <b>ab</b>
LLC1	29.5 ( $\pm$ 0.75)	29.7 ( $\pm$ 1)	32.5 ( $\pm$ 1.21)
LLC2	26.3 ( $\pm$ 0.9)	25 ( $\pm$ 0.96)	26.4 ( $\pm$ 1.04)
LLC3	30.2 ( $\pm$ 0.65)	29.3 ( $\pm$ 0.57)	31 ( $\pm$ 0.64)
LL Epiglottis	35.4 ( $\pm$ 0.56)	34.9 ( $\pm$ 0.47)	36.4 ( $\pm$ 0.7)
ANS-PNS Distance	55.2 ( $\pm$ 0.48)	53.9 ( $\pm$ 0.53)	53.9 ( $\pm$ 0.8)
Shortest Distance	8.4 ( $\pm$ 0.39) <b>a</b>	7.3 ( $\pm$ 0.39) <b>b</b>	7 ( $\pm$ 0.48) <b>b</b>
PS Volume	17370.9 ( $\pm$ 810.77) <b>a</b>	15080 ( $\pm$ 752.22) <b>b</b>	15720.9 ( $\pm$ 1050.9) <b>b</b>

\*Different superscripts indicate statistically significant difference between the indicated groups ( $p > 0.05$ ) by ANOVA

\*\*SEM - Standard Error of Mean

A significant correlation between the PS Volume and the measurements performed, except for the Transverse Angle of Hyoid Bone, LL Hyoid Bone, Transverse Angle of Mandible, AP Angle of Mandible and ANS-PNS Distance was found. When the sample was divided into skeletal classes and facial types, it was observed that there was a significant correlation in all the subgroups in the following measurements: APC2, APC3, AP Epiglottis, LLC1, LLC2, LLC3 and Shortest Distance. Furthermore, it was noticed that there was significant correlation between the PS Volume and the measurements of AP Hyoid Bone, AP Mandible, LL Mandible, APC1 and LL Epiglottis, although only in few subgroups (Table 4).

Table 4. Correlation (Pearson – rP) between PS Volume and all other variables, segmented in groups (facial types or occlusal classes) or not (total).

PS Volume	rP (p value)						
	Total	Brachy	Dolicho	Meso	Class I	Class II	Class III
Transverse Angle of Hyoid bone	-0.1604 (p=0.0421)	-0.1872 (p=0.1207)	-0.1962 (p=0.2378)	-0.0921 (p=0.5121)	-0.0746 (p=0.571)	-0.2432 (p=0.0612)	-0.1051 (p=0.5133)
AP Hyoid Bone	<b>0.3229</b> (p<0.0001)	<b>0.3755</b> (p=0.0014)	0.2397 (p=0.1472)	0.2754 (p=0.0459)	0.2097 (p=0.1079)	<b>0.2804</b> (p=0.03)	<b>0.4316</b> (p=0.0048)
LL Hyoid Bone	0.0369 (p=0.6419)	0.1221 (p=0.3138)	-0.0422 (p=0.8012)	-0.0945 (p=0.5011)	0.0834 (p=0.5264)	-0.0615 (p=0.6406)	0.0451 (p=0.7796)
Transverse Angle of Mandible	-0.1398 (p=0.077)	-0.1894 (p=0.1163)	-0.2298 (p=0.1652)	0.0262 (p=0.8522)	0.024 (p=0.8556)	-0.2253 (p=0.0835)	-0.013 (p=0.9355)
AP Mandible	<b>0.2907</b> (p=0.0002)	<b>0.339</b> (p=0.0041)	<b>0.3534</b> (p=0.0295)	0.1191 (p=0.3955)	0.0124 (p=0.9252)	<b>0.4292</b> (p=0.0006)	0.0979 (p=0.5425)
LL Mandible	<b>0.2594</b> (p=0.0009)	<b>0.3328</b> (p=0.0049)	0.0652 (p=0.6974)	0.2274 (p=0.1016)	0.217 (p=0.0958)	0.2288 (p=0.0787)	0.1102 (p=0.4926)
AP Angle of Mandible	-0.0868 (p=0.2736)	-0.1177 (p=0.332)	0.0059 (p=0.972)	0.0771 (p=0.5832)	-0.1524 (p=0.245)	-0.0687 (p=0.6019)	-0.1736 (p=0.2776)
APC1	<b>0.3404</b> (p<0.0001)	0.2557 (p=0.0326)	<b>0.4575</b> (p=0.0039)	<b>0.3892</b> (p=0.004)	<b>0.4055</b> (p=0.0013)	<b>0.3496</b> (p=0.0062)	0.1686 (p=0.292)
APC2	<b>0.6123</b> (p<0.0001)	<b>0.6222</b> (p<0.0001)	<b>0.624</b> (p<0.0001)	<b>0.5574</b> (p<0.0001)	<b>0.6357</b> (p<0.0001)	<b>0.722</b> (p<0.0001)	<b>0.4405</b> (p=0.0039)
APC3	<b>0.6696</b> (p<0.0001)	<b>0.7733</b> (p<0.0001)	<b>0.5362</b> (p=0.0005)	<b>0.5971</b> (p<0.0001)	<b>0.612</b> (p<0.0001)	<b>0.7019</b> (p<0.0001)	<b>0.6708</b> (p<0.0001)
AP Epiglottis	<b>0.5244</b> (p<0.0001)	<b>0.6182</b> (p<0.0001)	<b>0.3946</b> (p=0.0142)	<b>0.3808</b> (p=0.0049)	<b>0.4381</b> (p=0.0005)	<b>0.6279</b> (p<0.0001)	<b>0.467</b> (p=0.0021)
LLC1	<b>0.5641</b> (p<0.0001)	<b>0.6274</b> (p<0.0001)	<b>0.5416</b> (p=0.0004)	<b>0.604</b> (p<0.0001)	<b>0.5547</b> (p<0.0001)	<b>0.6069</b> (p<0.0001)	<b>0.495</b> (p=0.001)
LLC2	<b>0.6727</b> (p<0.0001)	<b>0.7286</b> (p<0.0001)	<b>0.5015</b> (p=0.0013)	<b>0.72</b> (p<0.0001)	<b>0.6201</b> (p<0.0001)	<b>0.6589</b> (p<0.0001)	<b>0.7177</b> (p<0.0001)
LLC3	<b>0.5747</b> (p<0.0001)	<b>0.6066</b> (p<0.0001)	<b>0.5235</b> (p=0.0007)	<b>0.5777</b> (p<0.0001)	<b>0.4022</b> (p=0.0014)	<b>0.6273</b> (p<0.0001)	<b>0.6467</b> (p<0.0001)
LL Epiglottis	<b>0.3004</b> (p=0.0001)	<b>0.2929</b> (p=0.0139)	0.295 (p=0.0722)	<b>0.3377</b> (p=0.0134)	0.2034 (p=0.119)	<b>0.2854</b> (p=0.0271)	<b>0.3394</b> (p=0.0299)
ANS PNS Distance	0.128 (p=0.1056)	0.1585 (p=0.1899)	0.1553 (p=0.3518)	-0.0349 (p=0.8042)	0.1964 (p=0.1327)	0.0167 (p=0.8992)	0.2208 (p=0.1654)
Shortest Distance	<b>0.6615</b> (p<0.0001)	<b>0.6358</b> (p<0.0001)	<b>0.6746</b> (p<0.0001)	<b>0.6727</b> (p<0.0001)	<b>0.7258</b> (p<0.0001)	<b>0.7632</b> (p<0.0001)	<b>0.4089</b> (p=0.0079)



The linear regression model led to the formula: PS Volume = -2533.1 + (27.1 x LLC2) + (52 x Shortest Distance) + (46.3 x APC3) + (11.2 x LL Mandible) + (13.3 x LLC1) + (23.1 x AP Hyoid Bone) + (15.8 x LL Epiglottis) + (25.1 x APC1) – (11.3 x ANS-PNS Distance) + (11.9 x LLC3). The inclusion of other variables, such as age (p=0.61), sex (p=0.063), skeletal class (p=0.34) or facial type (p=0.20) did not improve the model (Table 5). ANOVA showed that the model is valid. The R was 0.92 and the adjusted R<sup>2</sup> was 0.8362, showing that the model can be very useful to predict the PS Volume.

Table 5. The best (ANOVA, F=82.7; p<0.0001) linear regression (stepwise) model for PS Volume.

	Non-standardized coefficient (B)	Standard deviation	Standardized coefficient (Beta)	t	Sig.	VIF
Constant	-2533.1	371.2		-6.8	<0.0001	
LLC2	27.1	4.1	0.30	6.6	<0.0001	2.0043
Shortest Distance	52	9.8	0.25	5.3	<0.0001	2.1900
APC3	46.3	6.9	0.30	6.7	<0.0001	1.9403
LL Mandible	11.2	4.2	0.10	2.7	0.0088	1.4238
LLC1	13.3	4.1	0.15	3.3	0.0013	1.9209
AP Hyoid Bone	23.1	5.8	0.15	4	0.0001	1.3197
LL Epiglottis	15.8	5.9	0.10	2.7	0.0083	1.4981
APC1	25.1	7.3	0.15	3.4	0.0008	1.7510
ANS-PNS Distance	-11.3	5.6	-0.08	-2	0.0428	1.3168
LLC3	11.9	5.9	0.09	2	0.0436	1.8444

## DISCUSSION

The pharyngeal space is a region which allows the passage of air inspired or expired from the nasal cavity to the glottis. It is composed of the union between three different anatomical areas: nasopharynx, oropharynx and hypopharynx.<sup>12</sup> In the present study, the volume corresponding only to the union between the oropharynx and hypopharynx was evaluated, because these two areas are connected through muscles and ligaments to the hyoid bone and mandible. Since the growth of the hyoid bone and mandible varies with the facial type and skeletal class, the authors believe that this variation could influence the volume of the pharyngeal space.

The understanding about the morphology and relationship of structures in the head and neck of patients with different facial types and skeletal classes may help predicting unfavorable growth

and anatomical variations, which may lead to better treatments, including orthognathic surgery, for patients with cranio-facial disorders.<sup>1,13,14</sup>

There are studies that evaluated the volume of the pharyngeal space in the different skeletal classes, although they reported controversial results. Some authors have not found a statistically significant difference<sup>15,16</sup>, while others have described that class II had lower values when compared with classes I and III, with statistically significant differences.<sup>17,18</sup> Furthermore, there is a study that compared males and females, classes I and III, and found a statistically significant difference only between females.<sup>1</sup> In our research, we have found a statistically significant difference between classes I and III, with higher values in class III individuals. The authors believe that these variations may be related to the different methodologies adopted, including different sample sizes, ethnicities, exam types (two dimensional or three dimensional) and software programs used. From other studies, it is known that when the volume of the pharyngeal space is compared between the different facial types, statistically significant differences were observed<sup>15,16</sup>, which is in accordance with our results.

Linear and angular measurements were performed in the mandible and hyoid bone to classify different degrees of Obstructive Sleep Apnea (OSA) in some studies. These have found that the smaller is the measure, the more severe is the degree of OSA.<sup>19,20,21</sup> In our study, we have performed the same measurements for the different skeletal classes and facial types. Our results have shown that some of these measurements presented statistically significant differences. Thus, due to the variation observed in the measurements, the authors believe that skeletal class and facial type can be factors that influence the degree of OSA.

Studies performed to assess the pharyngeal space through linear measurements along all its extension to compare the before and after maxillomandibular advancement observed that the measures increased after the maxillomandibular advancement.<sup>4,11</sup> Our study executed the same measurements to compare possible differences between skeletal classes and facial types, and only the APC2 showed a statistically significant difference.

In order to assess the volume of the pharyngeal space by professionals who do not have access to segmentation software programs, we created a formula through linear regression analysis using only linear measurements, obtaining 92% accuracy. As far as we know, there are no other studies that developed a formula with this goal, and our model showed to be very useful to predict the volume of the pharyngeal space.

## CONCLUSION

It was concluded that there were significant correlations between the volume of the pharyngeal space and mandible and hyoid bone measurements, suggesting that the stomatognathic system should be evaluated in an integral and isolated way. Furthermore, it was possible to develop a linear regression model with precision, resulting in a useful formula for predicting the volume of the pharyngeal space.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors deny any conflicts of interest related to this study.

## REFERENCES

1. Hong J-S, Oh K-M, Kim B-R, Kim Y-J, Park Y-H, Three-dimensional analysis of pharyngeal airway volume in adults with anterior position of the mandible. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2011, 140: e161-e169.
2. Aboudara C, Nielsen LB, Huang JC, Maki K, Miller AJ, Hatcherf D, Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135: 468-79.
3. Efendiyevaa R; Aydemirb H; Karasuc H; Toygar-Memikog̃ lud U. Pharyngeal airway space, hyoid bone position, and head posture after bimaxillary orthognathic surgery in Class III patients Long-term evaluation. *Angle Orthod.* 2014; 84: 773–781.
4. El AS, El Hakan, Palomo JM, Baur DA, A 3-Dimensional Airway Analysis of an Obstructive Sleep Apnea Surgical Correction with Cone Beam Computed Tomography. *J Oral Maxillofac Surg* 2011; 69: 2424-2436.
5. Jiang YY, Xu X, Su HL, Liu DX, Gender-related difference in the upper airway dimensions and hyoid bone position in Chinese Han children and adolescents aged 6–18 years using cone beam computed tomography. *Acta Odontologica Scandinavica.* 2015; 73: 391–400.

6. Park JW, Kim NK, Kim JW, Kim MJ, Chang Y, Volumetric, planar, and linear analyses of pharyngeal airway change on computed tomography and cephalometry after mandibular setback surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138:292-9.
7. Sheng CM, Lin LH, Su Y, Tsai HH, Developmental Changes in Pharyngeal Airway Depth and Hyoid Bone Position from Childhood to Young Adulthood. *Angle Orthod.* 2009; 79: 484–490.
8. Chen H, Aarab G, Parsa A, Lange J, Van der Stelt PF, Lobbezoo F. Reliability of three-dimensional measurements of the upper airway on cone beam computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 2016; 122: 104-110.
9. Di Carlo G, Polimeni A, Melsen B, Cattaneo PM, The relationship between upper Airway and craniofacial morphology studied in 3D. A CBCT study. *Orthod Craniofac Res* 2015;18(1): 1-11.
10. Abramson ZR, Susarla S, Tagoni JR, Kaban L, Three-Dimensional Computed Tomographic Analysis of Airway Anatomy. *J Oral Maxillofac Surg* 2010, 68: 363-371.
11. Park SB, Kim YI, Son WS, Hwang DS, Cho BH, Cone-beam computed tomography evaluation of short- and long-term airway change and stability after orthognathic surgery in patients with Class III skeletal deformities: bimaxillary surgery and mandibular setback surgery, *Int. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2012; 41: 87–93
12. Seo HG, Oh BM, Leigh JH, Han TR, Correlation Varies with Different Time Lags Between the Motions of the Hyoid Bone, Epiglottis, and Larynx during Swallowing. *Dysphagia* 2014; 29:591–602.
13. Bhat M, Enlow DH. Facial variations related to headform type. *Angle Orthod* 1985, 55(1): 269-80.
14. Al-Khafaji TJ, Dental Arch Dimensions of Patients with Class III Malocclusion of Iraqi Sample Aged (14-24) (A comparative study). *Medical Journal of Babylon* 2011, 8(1): 33-48.
15. Brasil DM, Kurita LM, Groppo FC, Haiter-Neto F, Relationship of craniofacial morphology in 3-dimensional analysis of the pharynx, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2016;149: 683-91.

16. Grauer D, Cevidanes LSH, Styner MA, Ackerman JL, Proffit WR, Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: Relationship to facial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009, 136:805-14.
17. Claudino LV, Mattos CT, Ruellas ACO, Sant' Anna AF, Pharyngeal airway characterization in adolescents related to facial skeletal pattern: A preliminar study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013, 143:799-809.
18. Ceylan I, Oktay H. A study on the pharyngeal size in different skeletal patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 108:69-75.
19. Ito K, Ando S, Akiba N, Watanabe Y, Okuyama Y, Moriguchi H, Yoshikawa K, Takahashi T, Shimada M, Morphological study of the human hyoid bone with three-dimensional CT images – Gender difference and age-related changes. *Okajimas Folia Anat. Jpn* 2012, 89(3): 83 – 92.
20. Ha JG, Min HJ, Ahn SH, Kim CH, Yoon JH, Lee JG, Cho HJ, The Dimension of Hyoid Bone Is Independently Associated with the Severity of Obstructive Sleep Apnea. *PLoS ONE* 2013, 8(12): e81590.
21. Saigusa H, Suzuki M, Higurashi N, Koderia K, Three-dimensional Morphological Analyses of Positional Dependence in Patients with Obstructive Sleep Apnea Syndrome. *Anesthesiology* 2009, 110:885–90.

### **3 CONCLUSÃO**

Concluiu-se que houve correlações significativas entre o volume do espaço faríngeo e as mensurações realizadas na mandíbula e no osso hioide, recomendando-se que o sistema estomatognático seja avaliado de uma maneira integral e não individualizada. Além disso, foi possível desenvolver um modelo de regressão linear com precisão, o que resultou em uma fórmula útil para a predição do volume do espaço faríngeo.

**REFERÊNCIAS\***

Bianchini EMG. Mastigação e ATM: Avaliação e terapia. In: MARCHESAN, I.Q. eds. Fundamentos em fonoaudiologia: aspectos clínicos da motricidade oral. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998. P. 108.

Bibby RE. The hyoid bone position in mouth breathers and tongue thrusters. *Am J Orthod.* 1984; 85(5): 431-3.

Bobby RE, Preston CB. The hyoid triangle. *Am J Orthod.* 1981; 80(1): 92-7.

Discher DE, Janmey P, Wang YL. Tissue cells feel and respond to the stiffness of their substrate. *Science.* 2005; 310(5751): 1139-43.

Dutra EH, Caria PH, Rafferty KL, Herring SW. The buccinator during mastication: A functional and anatomical evaluation in mini pigs. *Archives of oral biology.* 2010; 55(9): 627-638.

Fakhry N, Puymeraill L, Michel J, Santini L, Lebreton-Chakour C, Robert C, Giovanni A, Adalian P, Dessi P, Analysis of Hyoid Bone Using 3D Geometric Morphometrics: An Anatomical Study and Discussion of Potential Clinical Implications. *Dysphagia.* 2013; 28: 435–445.

Freitas MR, Alcazar NM, Janson G, de Freitas KM, Henriques JF. Upper and lower pharyngeal Airway in subjects with Class I and Class II malocclusions and different growth patterns. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006; 130: 742-5.

Graber L. Hyoid changes following orthopedic treatment of mandibular prognathism. *Angle Orthod.* 1978; 48: 33–38.

Grauer D, Cevidanes LSH, Styner MA, Ackerman JL, Proffit WR, Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: Relationship to facial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009; 136: 805-14.

Guijarro-Martínez R, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011; 40(11): 1227-37.

\*De acordo com as normas da UNICAMP/FOP, baseadas na padronização do International Committee of Medical Journal Editors – Vancouver Group. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o PubMed.

- Ha JG, Min HJ, Ahn SH, Kim CH, Yoon JH, Lee JG, Cho HJ, The Dimension of Hyoid Bone Is Independently Associated with the Severity of Obstructive Sleep Apnea. *PLoS ONE*. 2013; 8(12): e81590.
- Ito K, Ando S, Akiba N, Watanabe Y, Okuyama Y, Moriguchi H, Yoshikawa K, Takahashi T, Shimada M, Morphological study of the human hyoid bone with three-dimensional CT images – Gender difference and age-related changes. *Okajimas Folia Anat*. 2012; 89(3): 83 – 92.
- Iwasaki T, Saitoh I, Takemoto Y, Inada E, Kanomi R, Hayasaki H, et al. Evaluation of upper airway obstruction in Class II children with fluid-mechanical simulation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011; 139: 135-45.
- Koebke J, Saternus KS. Morphology of the adult human hyoid bone. *Z Rechtsmed*. 1979; 84: 7–18.
- Kribbs PJ, Chesnut CH, Ott SM, Kilcoyne RF. Relationships between mandibular and skeletal bone in a population of normal women. *J Prosthet Dent*. 1990; 63(1): 86-9.
- Leite AF, Figueiredo PT, Guia CM, Melo NS, de Paula AP. Correlations between seven panoramic radiomorphometric indices and bone mineral density in postmenopausal women. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010; 109(3): 449-456.
- Lorenzoni DC, Bolognese AM, Garib DG, Guedes FB, Sant’Anna EF. Cone-beam computed tomography and radiographs in dentistry: aspects related to radiation dose. *Int J Dent*. 2012; 2012: 813768-78
- Loubele M, Bogaerts R, VanDijck E, Pauwels R, Vanheusdena S, Suetens P, et al. Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. *Eur J Radiol*. 2008; 71(3): 461-8.
- Ludlow JB, Ivanovic M. Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008; 106: 106-14
- Madeira MC. Biomecânica do esqueleto facial. *Arquivo do Centro de Estudos de Odontologia. UFMG*. 1971; 8: 41-53.
- McIntyre GT, Mossey PA. Size and shape measurement in contemporary cephalometrics. *Eur J Orthod*. 2003; 25(3): 231-242.



- McNamara JA Jr. Influence of respiratory pattern on craniofacial growth. *Angle Orthod.* 1981; 51: 269-300.
- Miller KW, Walker PL, O'Halloran RL. Age and sex-related variation in hyoid bone morphology. *J Forensic Sci.* 1998, 43: 1138-43.
- Mukhopadhyay PP. Morphometric features and sexual dimorphism of adult hyoid bone: A population specific study with forensic implications. *J Forensic Leg Med.* 2010; 17: 321-324.
- Muto T, Takeda S, Kanazawa M, Yamazaki A, Fujiwara Y, Mizoguchi I. The effect of head posture on the pharyngeal airway space (PAS). *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2002; 31: 579-83.
- Ogawa T, Enciso R, Shintaku WH, Clark GT. Evaluation of cross section airway configuration of obstructive sleep apnea. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007; 103: 102-8.
- Opdebeeck MD, Bell WH, Eisenfeld J, Mishelevich D. Comparative study between the SFS and LFS rotation as a possible morphogenic mechanism. *Am J Orthod.* 1978; 74(5): 509-21.
- Papadopoulos N, Lykaki-Anastopoulou G, Alvanidou E. The shape and size of the human hyoid bone and a proposal for an alternative classification. *J Anat.* 1989; 163: 249- 60.
- Prado FB, Caria PHF. Morphological comparison between Brazilian's Mandibles and Populations of four different continents. *Int J Morphol. (Online)* 2007; 25: 323-327.
- Shah GV, Jadhav HR. The study of cephalic index in students of Gujarat. *J Anat Soc India.* 2004; 53(1): 25-26.
- Shapiro PA. Effects of nasal obstruction on facial development. *J Allergy Clin Immunol.* 1988; 81: 967-71.
- Sicher H, Du Brul EL. *Oral anatomy*, 5. ed. St. Louis: C. V. Mosby Co., 1970.
- Sies ML, de Farias SR, Vieira MM. Oral breathing: relationship between facial type and dental occlusion in Adolescentes. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2007; 12(3): 191-8.
- Souza LCM, Campiotto AR, Freitas RR. Cirurgia ortognática e fonoaudiologia. In: Lopes Filho O, editor. *Tratado de Fonoaudiologia*. São Paulo: Roca, 1997. p. 781-804.

## Referências

---

Van Vlijmen OJC, Bergé SJ, Swennen GRJ, Bronkhost EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM. Comparison of cephalometric radiographs obtained from cone-beam computed tomography scan and Conventional radiography. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009; 67(2): 92-97.

Vreeke M, Langenbach GE, Korfage JA, Zentner A, Grunheid T. The masticatory system under varying functional load. Part 1: Structural adaptation of rabbit jaw muscles to reduced masticatory load. *Eur J Orthod.* 2011; 33(4): 359-364.

Walsh JH, Leigh MS, Paduch A, Maddison KJ, Philippe DL, Armstrong JJ, et al. Evaluation of pharyngeal shape and size using anatomical optical coherence tomography in individuals with and without obstructive sleep apnoea. *J Sleep Res.* 2008; 17: 230-8.

**APÊNDICE 1****METODOLOGIA DETALHADA**

O presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas – FOP/UNICAMP – protocolo nº 092/2014 (Anexo 1).

**SELEÇÃO DA AMOSTRA**

Foram utilizadas 161 imagens por TCFC, sendo 80 de indivíduos do sexo masculino e 81 do sexo feminino, com idades entre 21 e 58 anos (média de idade de 27 anos). As imagens foram selecionadas por um radiologista, a partir de um arquivo de exames de pacientes atendidos na Clínica de Radiologia Odontológica da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas – FOP/UNICAMP, Brasil, no período de fevereiro/2014 a agosto/2014. Foram excluídas da amostra imagens de pacientes menores de 21 anos de idade, pacientes submetidos à cirurgia ortognática, e aqueles com presença de patologia na região de cabeça e pescoço.

**OBTENÇÃO DAS IMAGENS**

As imagens por TCFC foram adquiridas por meio do tomógrafo i-CAT Next Generation® (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, EUA), com os parâmetros de exposição de 120 kVp e 5 mA, tempo de aquisição de 40 s e de reconstrução de 62 s, com voxel de 0,4 mm e FOV (*Field of View*) de 23 x 17 cm. As imagens foram adquiridas nesse FOV por apresentarem indicação para tratamento ortodôntico ou cirúrgico-ortognático, e foram selecionadas por permitirem a completa visualização do osso hioide, da mandíbula e do espaço faríngeo. Todas as imagens utilizadas nesse estudo foram obtidas com os pacientes posicionados sentados, com a posição da cabeça estabilizada pelos próprios dispositivos do aparelho, de modo que o plano sagital mediano ficasse perpendicular ao plano horizontal e o Plano de Frankfurt paralelo ao plano horizontal. Todas as imagens foram obtidas com os pacientes posicionados em máxima intercuspidação interdentária.

**MENSURAÇÕES LINEARES, ANGULARES E VOLUMÉTRICAS**

Foram realizadas mensurações lineares no osso hioide, na mandíbula e no espaço faríngeo. Também foram obtidas medidas angulares no osso hioide e na mandíbula, e o volume correspondente ao espaço faríngeo.

Para a realização das mensurações lineares e angulares nas estruturas supracitadas foram utilizadas as reconstruções multiplanares e as ferramentas próprias do software CS 3D Imaging® Software 3.4.3 (Carestream Health Inc., Rochester, NY, EUA), em um notebook Dell Inspiron® 5537 (Dell Inc., Round Rock, TX, EUA) com tela de 15 polegadas e resolução de 1366 x 768 pixels.

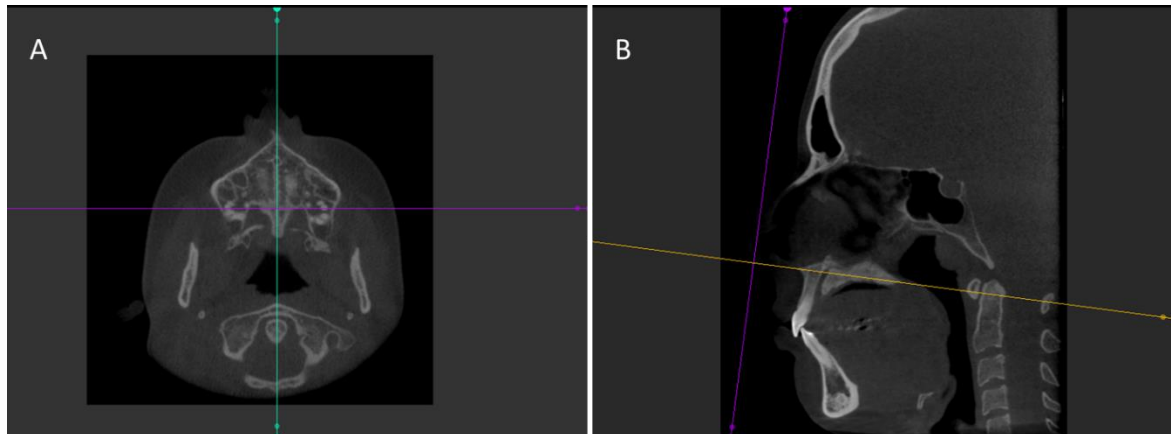
Anteriormente à análise das medidas, todas as imagens foram classificadas por um ortodontista quanto ao tipo facial e à classe esquelética dos pacientes, utilizando-se o software NemoCeph® (Nemotec, Madri, Espanha).

Para determinar a classe esquelética foram utilizadas as medidas SNA°, SNB° e ANB°, obtidas a partir da análise cefalométrica de Steiner. Por meio dessas medidas, os pacientes foram classificados em Classe I – valor de ANB entre 0 e 4 graus, Classe II – valor de ANB maior que 4 graus ou Classe III – valor de ANB menor que 0 graus. Para confirmar a correta classificação esquelética, foi mensurada a distância AO-BO por meio da análise cefalométrica de Jarabak.

Para a classificação dos pacientes em relação ao tipo facial, foi calculado o índice VERT por meio da análise cefalométrica de Ricketts. Esse índice é composto pela média aritmética de cinco mensurações cefalométricas: eixo facial, profundidade facial, ângulo plano mandibular, altura facial inferior e arco mandibular. De acordo com os valores obtidos, os pacientes foram classificados como braquifaciais, mesofaciais ou dolicofaciais.

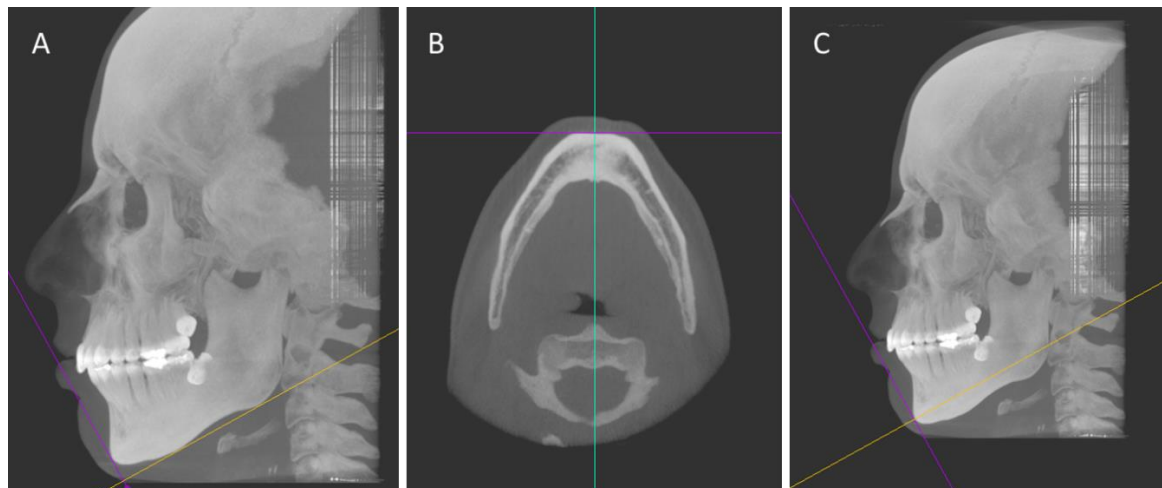
As mensurações lineares e angulares foram realizadas após a correta orientação das imagens. Desse modo, para as medidas realizadas no espaço correspondente ao espaço faríngeo, as linhas de orientação do software foram posicionadas de forma que passassem pelas espinhas nasais anterior e posterior, nas reconstruções axial e sagital (Figura 1A e 1B). Para a obtenção das medidas angulares e lineares em mandíbula, a linha de orientação do software foi posicionada de forma tangente à borda inferior da mandíbula na reconstrução sagital (Figura 2A). Na reconstrução axial, a linha de orientação foi posicionada sobre o longo eixo da espinha geniana (Figura 2B). Posteriormente, na reconstrução sagital, a linha de orientação foi movida superiormente até o encontro da espinha geniana (Figura 2C). Para a realização das medidas angulares e lineares no osso hioide, a linha de orientação do software foi posicionada, na reconstrução sagital, sobre o longo eixo desse osso (Figura 3).

Figura 1 – Padronização dos exames de tomografia computadorizada de feixe cônico.



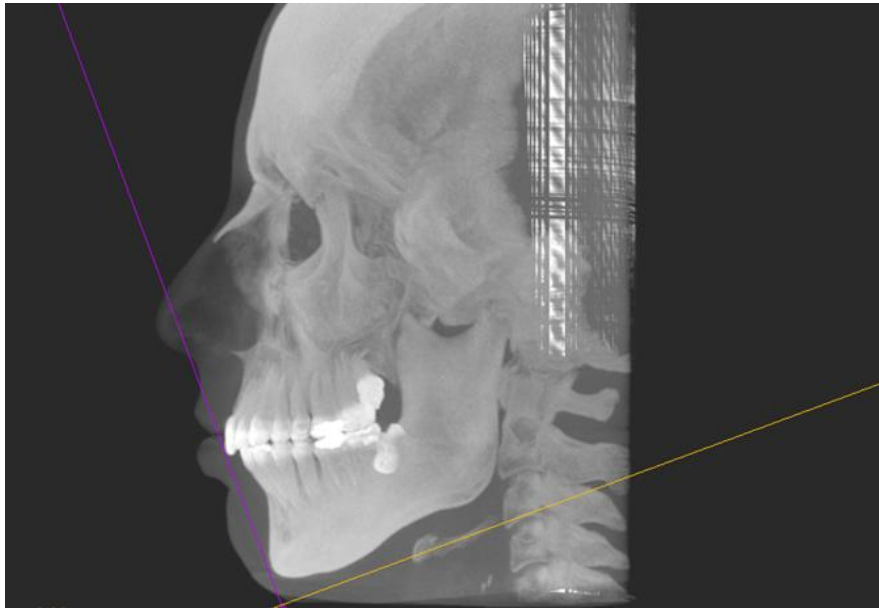
A – Posicionamento das linhas de orientação do software para realização das mensurações do espaço faríngeo na reconstrução axial, B - Posicionamento das linhas de orientação do software para realização das mensurações do espaço faríngeo na reconstrução Sagital.

Figura 2 – Padronização dos exames de tomografia computadorizada de feixe cônico.



A – Posicionamento da linha de orientação do software de forma tangente à borda inferior da mandíbula na reconstrução sagital, B - Posicionamento da linha de orientação do software sobre o longo eixo da espinha geniana na reconstrução axial, C - Posicionamento final das linhas de orientação do software para realização das mensurações na mandíbula na reconstrução sagital.

Figura 3 – Posicionamento da linha de orientação do software sobre o longo eixo do osso hioide na reconstrução sagital.



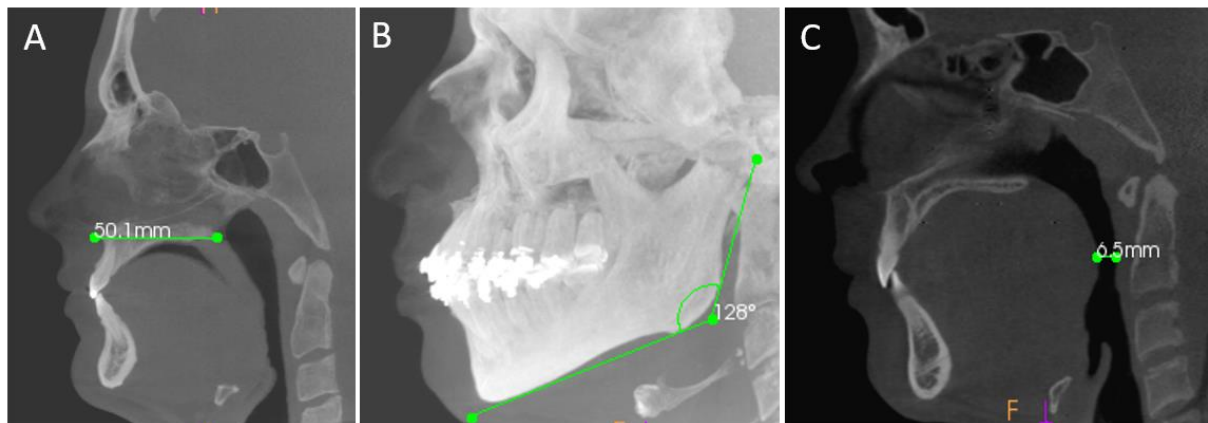
As mensurações realizadas na mandíbula, no osso hioide e no espaço faríngeo estão descritas e ilustradas abaixo:

- Distância espinha nasal anterior - espinha nasal posterior: mensurada entre o ponto mais anterior e o ponto mais posterior do palato duro, na reconstrução sagital (Figura 4A).
- Ângulo ântero-posterior da mandíbula: formado entre o ponto mais posterior do côndilo da mandíbula, o ponto gônio e o ponto mais inferior da borda inferior do corpo da mandíbula. Mensurado no lado esquerdo da mandíbula, na reconstrução sagital em MIP (Figura 4B).
- Menor distância do espaço faríngeo: mensurada como a menor distância entre as paredes anterior e posterior do espaço faríngeo, na reconstrução sagital (Figura 4C).
- Dimensão do espaço faríngeo: obtida, na reconstrução axial, como a distância ântero-posterior e a distância látero-lateral do espaço faríngeo em quatro diferentes níveis (C1, C2, C3 e ponto mais côncavo da base da epiglote), observados na reconstrução sagital (Figura 5).
- Ângulo transverso do osso hioide: ângulo formado entre a junção das linhas traçadas nos lados direito e esquerdo do osso hioide, e que transpassam seus cornos menor e maior. Obtido na reconstrução axial (Figura 6A).

## Apêndice 1

- Distância látero-lateral do osso hioide: distância entre os cornos maiores do osso hioide, mensurada no plano axial (Figura 6B).
- Distância ântero-posterior do osso hioide: distância entre o ponto mais anterior do corpo do osso hioide e a linha que conecta seus cornos maiores. Mensurada no plano axial (Figura 6C).
- Ângulo transverso da mandíbula: ângulo formado entre a junção das linhas traçadas sobre o ponto mais anterior da sínfise mandibular e o ponto gônio, bilateralmente. Obtido na reconstrução axial (Figura 7A).
- Distância látero-lateral da mandíbula: mensurada, no plano axial, como a distância entre o ponto Gônio do lado esquerdo e o ponto Gônio do lado direito (Figura 7B).
- Distância ântero-posterior da mandíbula: distância do ponto mais anterior da face lingual da sínfise mandibular à linha que conecta os pontos Gônio dos lados direito e esquerdo. Mensurada na reconstrução axial (Figura 7C).

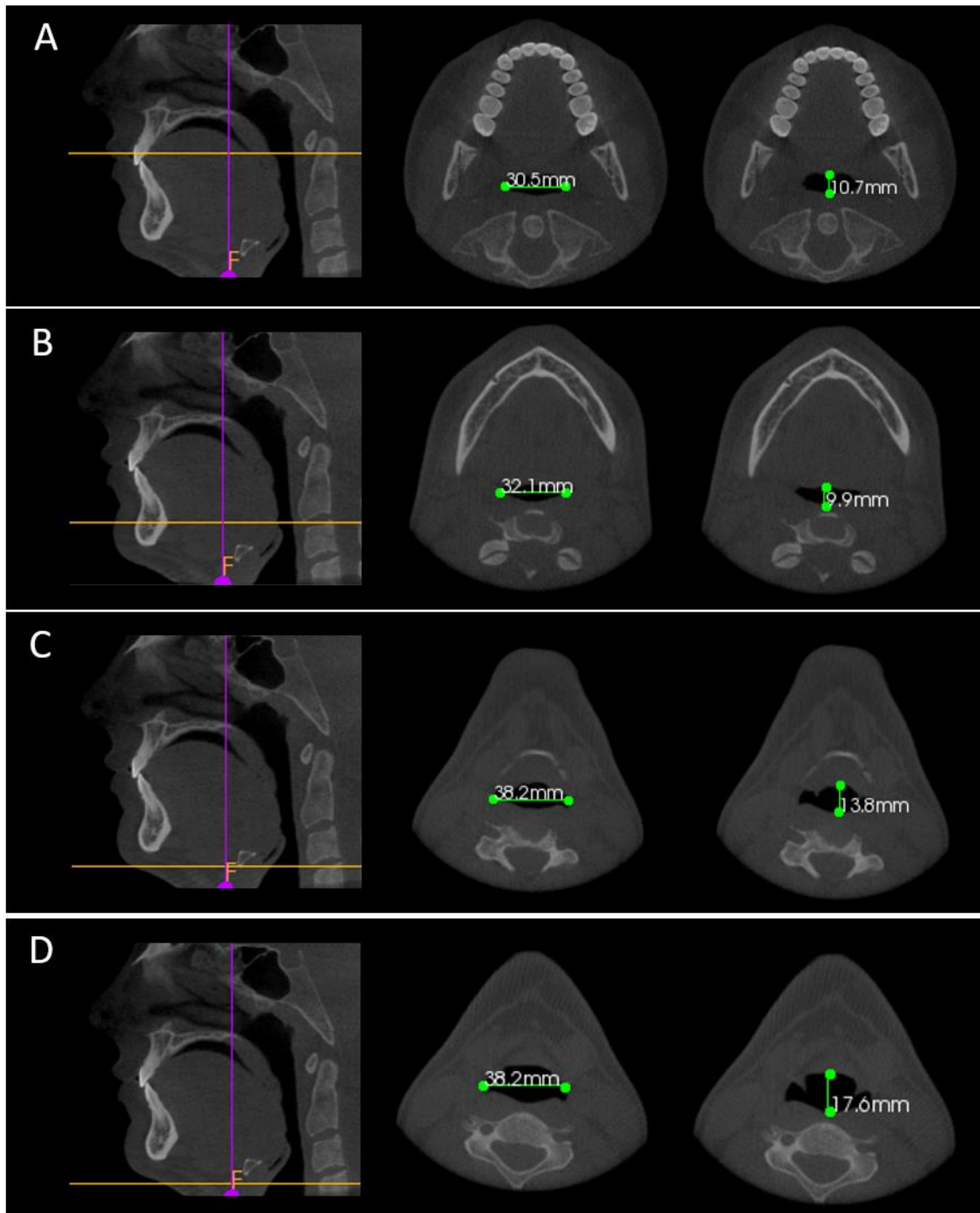
Figura 4 – Mensurações lineares e angular.



A - Distância Espinha Nasal Anterior (ENA) – Espinha Nasal Posterior (ENP), B - Ângulo ântero - posterior da mandíbula, C - Região de maior constrição do espaço faríngeo.

## Apêndice 1

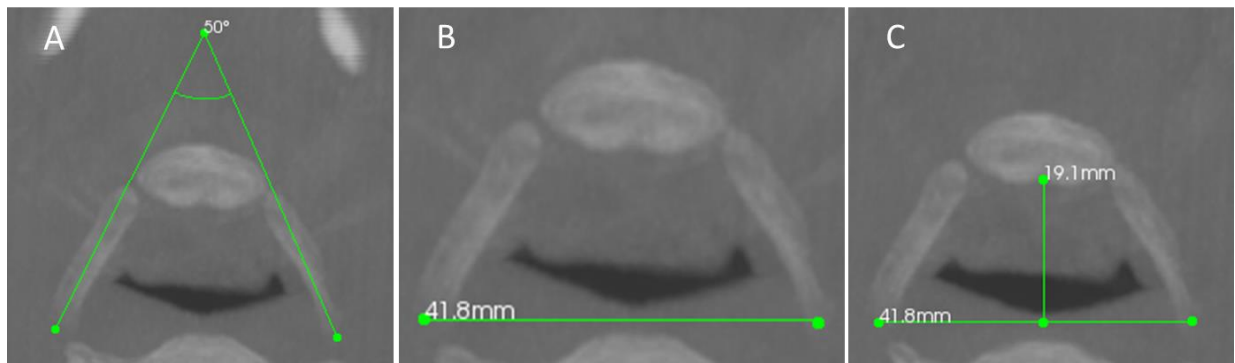
Figura 5 – Mensurações de distância ântero - posterior e de largura transversa do espaço faríngeo em quatro diferentes níveis (C1, C2, C3 e base da epiglote)



A - Mensurações no nível de C1, B - Mensurações no nível de C2, C - Mensurações no nível de C3, D – Mensurações no nível de base da epiglote.

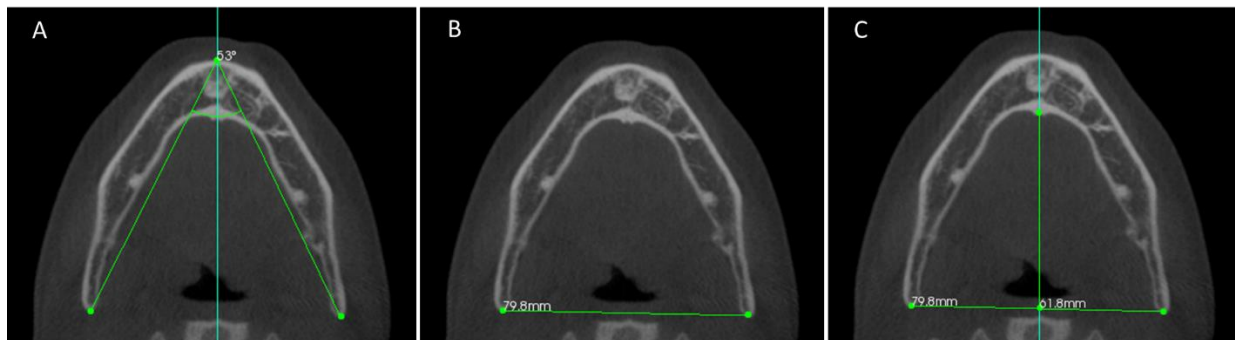


Figura 6 – Mensurações no osso hioide.



A - Ângulo transverso do osso hioide, B - Distância látero - lateral do osso hioide, C - Distância ântero - posterior do osso hioide.

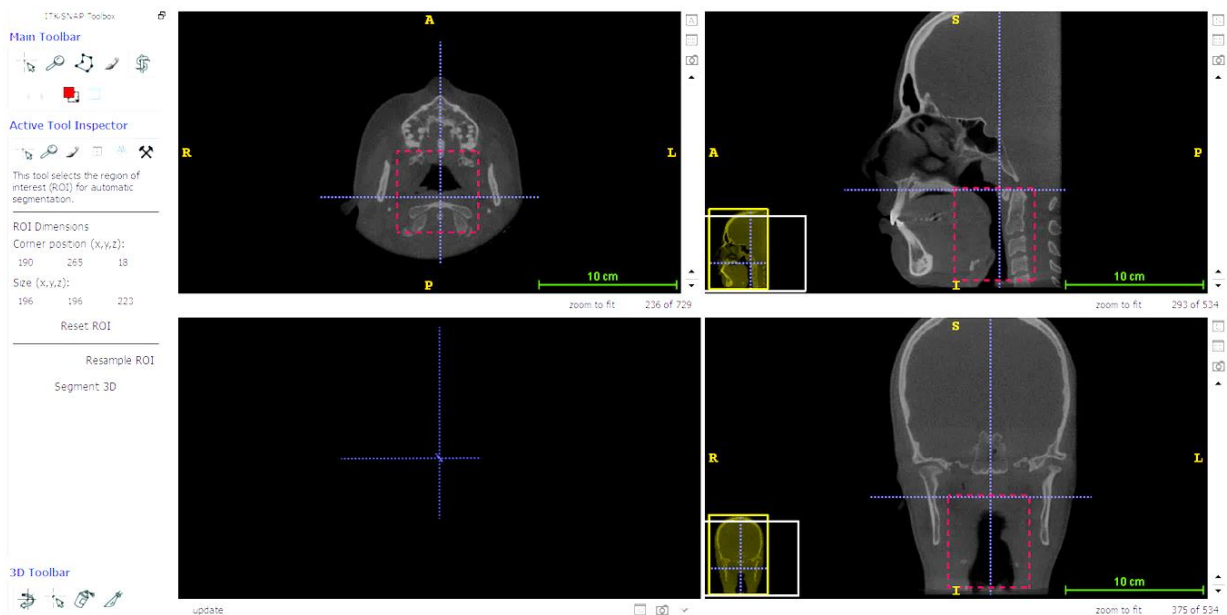
Figura 7 – Mensurações na mandíbula.



A - Ângulo transverso da mandíbula, B - Distância látero - lateral da mandíbula, C - Distância ântero - posterior da mandíbula.

As análises volumétricas do espaço faríngeo foram realizadas a partir do modelo 3D. A reconstrução do modelo foi estabelecida por meio da ferramenta de segmentação semiautomática do software Insight ITK-Snap<sup>®</sup> 2.4.0 (Cognitica, Filadélfia, PA, EUA), que mediu o volume da estrutura em milímetros cúbicos. O volume medido nesse estudo foi o correspondente à união entre a orofaringe e a hipofaringe. Os limites para seleção da área de interesse a ser segmentada foram delimitados de maneira que as linhas de referência superior, inferior, anterior, posterior, lateral e medial do software abrangessem toda a região do espaço faríngeo (Figura 8).

Figura 8 - Seleção da área de interesse para mensuração do volume do espaço faríngeo

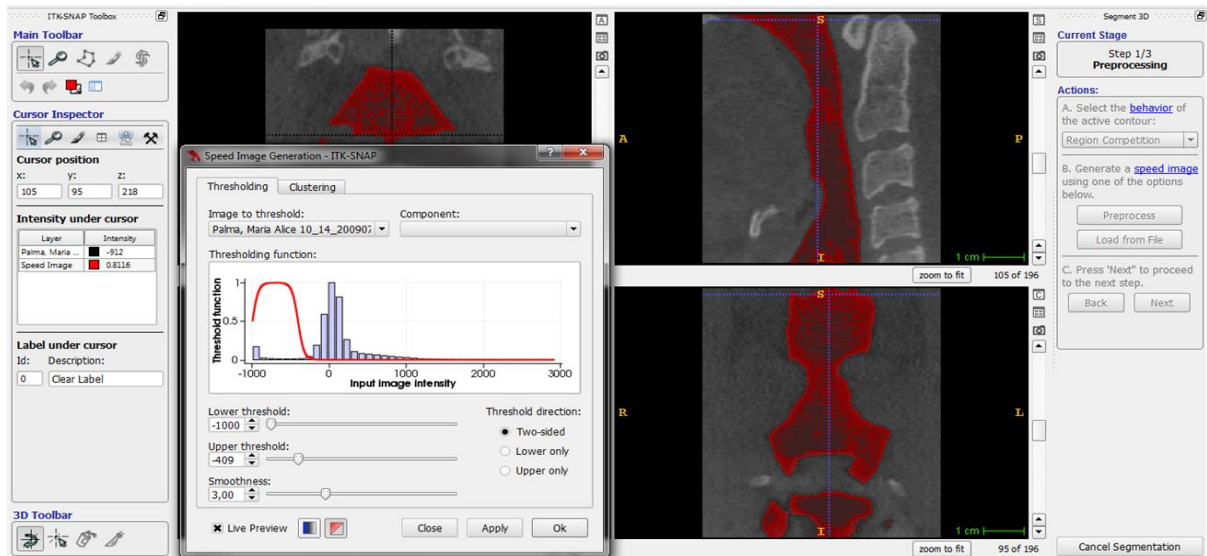


A segmentação do espaço faríngeo foi realizada no software em 3 passos:

**1º Passo:** Seleção do recurso de imagem “region competition” para ativação do contorno evolução, por meio do pré-processamento da imagem. Para o preenchimento do volume a ser segmentado, foram estabelecidos parâmetros de “threshold” de -1000 ao valor mínimo, e variando de -400 a -850 ao valor máximo, com esfumaçamento fixo em 3,00. Esses parâmetros variaram de acordo com os valores de densidade presentes no exame de imagem de cada paciente. Foi utilizada a opção de display combinado para a verificação do completo preenchimento dos volumes do espaço faríngeo (Figura 9).

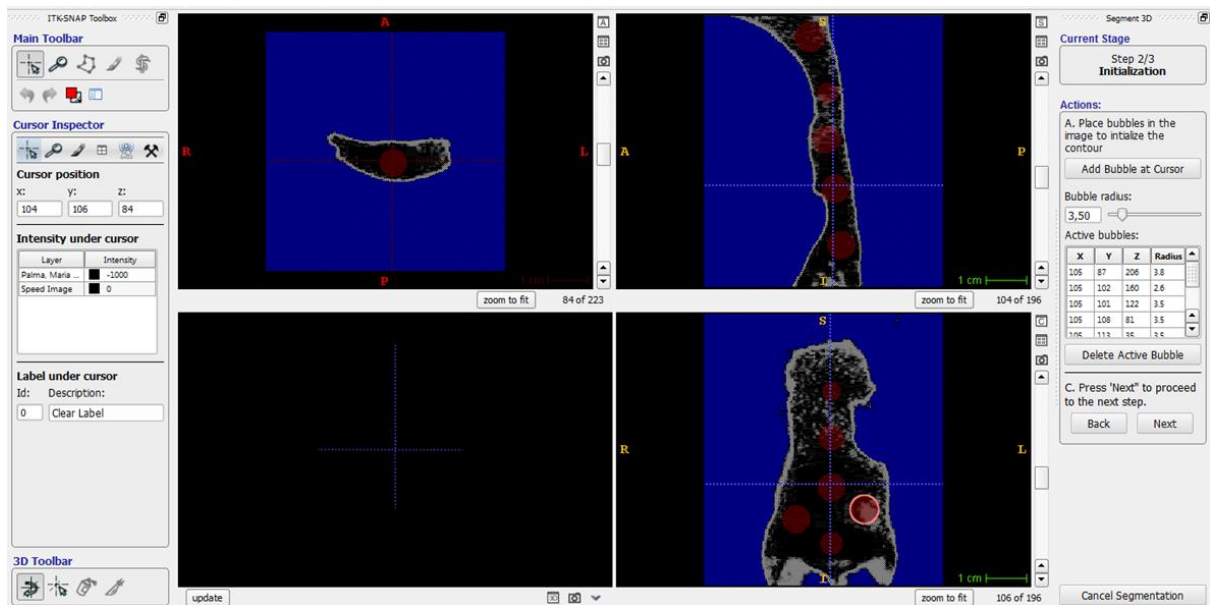
## Apêndice 1

Figura 9 - Seleção do recurso de imagem “region competition” para ativação do contorno evolução, por meio do pré-processamento da imagem.



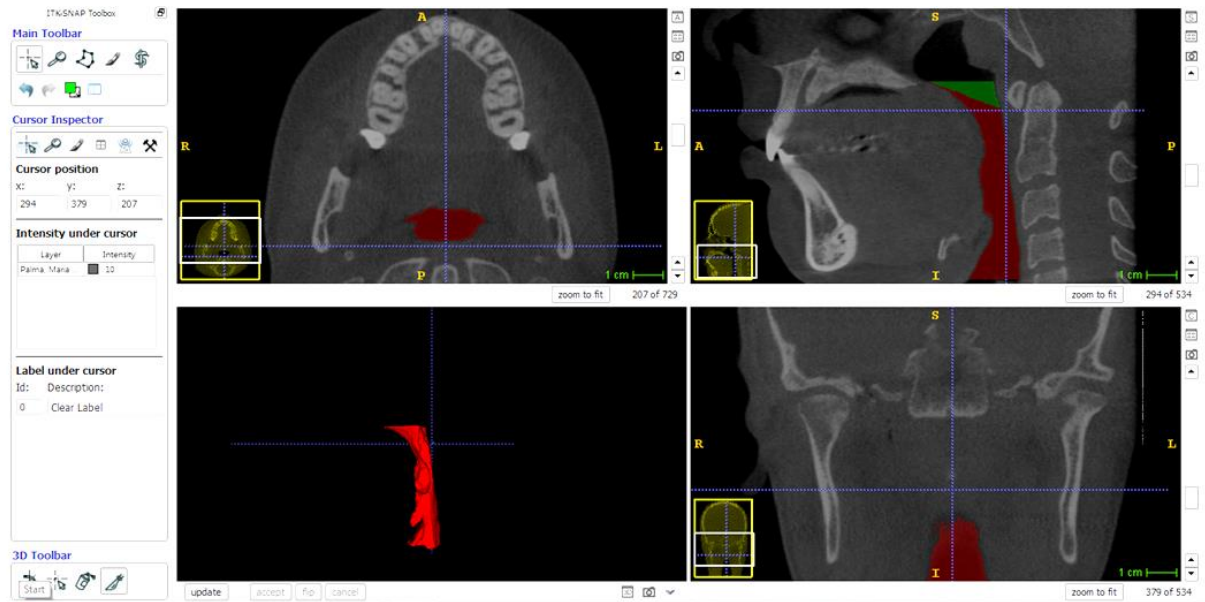
**2º Passo:** Colocação de bolhas de raios ajustáveis ao longo da imagem, para inicialização do contorno de evolução ativo (Figura 10).

Figura 10 - Colocação de bolhas de raios ajustáveis ao longo da imagem.



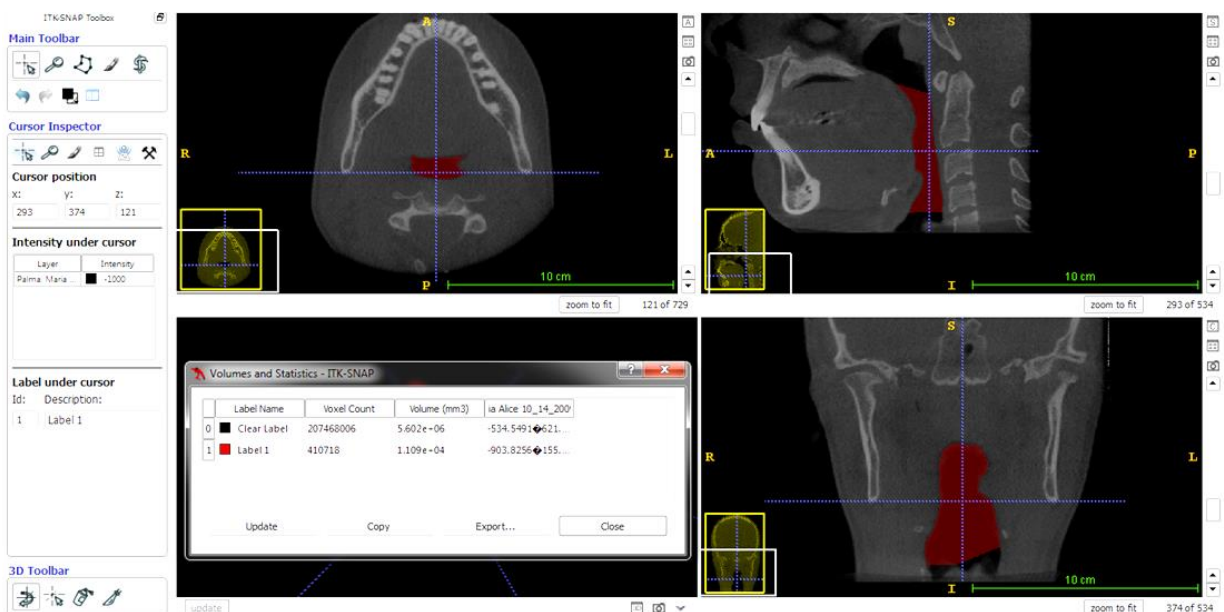
**3º Passo:** Seleção da velocidade (fixada em 5) para o preenchimento do volume a ser segmentado, com início e finalização do preenchimento ainda nesse passo. (Figura 11)

Figura 11 - Início e finalização do preenchimento do espaço correspondente ao espaço faríngeo.



Ao fim da segmentação, a imagem do volume do espaço faríngeo foi reconstruída na janela 3D do software. Os volumes das estruturas foram mensurados pelo próprio software em milímetros cúbicos ( $\text{mm}^3$ ) (Figura 12).

Figura 12 – Preenchimento completo e valor do volume em  $\text{mm}^3$  do espaço faríngeo.



**ANÁLISE ESTATÍSTICA**

Um radiologista oral previamente treinado realizou todas as mensurações em uma sala com ambiente e iluminação adequados. Essas medidas foram realizadas 10 vezes no mesmo paciente, com intervalo de 1 dia entre elas, para avaliar a reprodutibilidade do método. O coeficiente de correlação intraclassa foi determinado para avaliar a reprodutibilidade das medições executadas pelo examinador.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o software MedCalc Statistical® versão 15.8 (MedCalc Software BVBA, Ostend, Bélgica). Os testes ANOVA e Tukey, com nível de significância de 5%, foram utilizados para comparar os grupos (tipos faciais e classes esqueléticas) e a correlação de Pearson foi utilizada para verificar correlações entre o volume do espaço faríngeo e as outras variáveis do estudo. Uma regressão linear foi realizada para possibilitar a criação de uma fórmula para prever o volume do espaço faríngeo.

**ANEXO 1 – Comprovante de submissão do artigo ao periódico**

## Submission Confirmation for



American Journal of Orthodontics &lt;eesserver@eesmail.elsevier.com&gt;

seg 09/01/2017 23:48

Para: ynejaim@hotmail.com ↗

Dear Dr. nejaim,

Your submission entitled "Evaluation of Pharyngeal Space and its Correlation with Mandible and Hyoid Bone in Patients with different Skeletal Classes and Facial Types" has been received by journal American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics

You will be able to check on the progress of your paper by logging on to Elsevier Editorial Systems as an author. The URL is <http://ees.elsevier.com/ajodo/>.

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics

## ANEXO 2 – Comitê de Ética em Pesquisa.



**COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA**  
**FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**  
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**



## CERTIFICADO

O Comitê de Ética em Pesquisa da FOP-UNICAMP certifica que o projeto de pesquisa "**Avaliação do volume do espaço das vias aéreas e sua correlação com os ossos mandibular e hióide em pacientes com diferentes tipos faciais e classes esqueléticas**", protocolo nº **092/2014**, dos pesquisadores **YURI NEJAIM, FRANCISCO HAITER NETO, LEONARDO VIEIRA PERONI, GINA DELIA ROQUE TORRES e DANIELI MOURA BRASIL** satisfaz as exigências do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde para as pesquisas em seres humanos e foi aprovado por este comitê em 09/12/2015.

The Ethics Committee in Research of the Piracicaba Dental School, University of Campinas, certify that the project "**Evaluation of the volume space of the airways and their correlation with the mandible and the hyoid bone in patients with different facial skeletal types and classes**", register number **092/2014**, of **YURI NEJAIM, FRANCISCO HAITER NETO, LEONARDO VIEIRA PERONI, GINA DELIA ROQUE TORRES and DANIELI MOURA BRASIL**, comply with the recommendations of the National Health Council – Ministry of Health of Brazil for research in human subjects and therefore was approved by this committee on Dec 09, 2015.

**Prof. Jacks Jorge Junior**

Coordenador  
 CEP/FOP/UNICAMP

Nota: O título do protocolo aparece como fornecido pelos pesquisadores, sem qualquer edição.  
 Notice: The title of the project appears as provided by the authors, without editing.