

## **A CONTRIBUIÇÃO DA DIFRAÇÃO DOS RAIOS-X PARA CONFIGURAÇÃO MOLECULAR**

**SOUZA, Adriana Araújo de<sup>1</sup>**  
**BITTENCOURT, Marco Aurélio<sup>2</sup> – Orientador**

**RESUMO:** A pesquisa bibliográfica aborda a importância dos raios-X em seu contexto e principalmente a sua contribuição para a configuração molecular. O objetivo da pesquisa é conhecer a configuração molecular para a obtenção de informações mais específicas como: as possíveis ações diferenciadas dessas estruturas presente em moléculas quirais sobre o organismo vivo, enfatizando a importância da pesquisa científica para o desenvolvimento de teorias e técnicas. A contribuição da difração dos raios-X para configuração molecular faz-se cada vez mais necessário para a compreensão da ação de moléculas quirais ao organismo humano.

**Palavras-chave:** Raios-X. Difração de Raios-X. Configuração Molecular.

### **1. INTRODUÇÃO**

A descoberta da radioatividade em especial dos raios-X e da sua difração, transformou não só a história da ciência, mas principalmente marcaram uma época, trazendo consigo uma série de fatos e personagens, além de uma contribuição significativa para uma melhor qualidade de vida. Sobre a contribuição desta ciência para a sociedade, MERÇON & QUADRAT (2004:29), citam a seguinte afirmação feita por HOBSBAWM (1995:504): “nenhum período da história foi mais penetrado pelas ciências naturais e nem mais dependente delas do que o século XX. [...]”.

Em meio a um período de descobertas do mundo que permeia a invisível, ou seja, átomos e moléculas, a radioatividade tem um importante papel para o desenvolvimento de teorias e criação de modelos atômicos. É diante dessa importância que é feito esse trabalho, o qual tem por finalidade compreender o envolvimento da difração de raios-X para designação da configuração das moléculas.

### **2. EM BUSCA DA VERDADE: A TEORIA ATÔMICA**

---

<sup>1</sup> Acadêmica (4º ano – noturno) de Licenciatura Plena em Química - FAFIUV-PR. Email: <adrianna\_souza@yahoo.com.br>.

<sup>2</sup> Professor de Química Nuclear – FAFIUV/PR – Grad. em Licenciatura Plena em Química FAFIUV/PR. Sgt de Engenharia do Exército Brasileiro – ESA/MG. Esp. em Metodologia da Ação Docente – UNIUV/PR. Pós Graduando em Análises Químicas Aplicadas – FAFIUV/PR. Email: <bittquimico@yahoo.com.br>.

A busca do homem em compreender os fenômenos a sua volta, certamente foi e é um fator importantíssimo para o desenvolvimento das ciências, em especial para a química. Foi com essa vontade de entender a natureza do mundo a sua volta que por meio de um filósofo grego DEMÓCRITO (460-370 a.C.), foi dado à palavra “átomo” um conceito científico, pois segundo Demócrito quando a matéria era dividida em pedaços cada vez menores, o que ao final, obter-se-ia uma minúscula partícula que não poderia ser mais dividida, mas que ainda teria as mesmas propriedades da matéria antes da divisão. Foi então, usando este conceito, na explicação de eventos macroscópicos que Demócrito denominou a partícula indivisível de átomo. Apesar de não fornecer todas as explicações esperadas, a idéia de Demócrito foi à base para todas as teorias subseqüentes sobre o átomo. KOTZ & TREICHEL (2002).

Hoje, sabemos que a estrutura do átomo é divisível além de ser constituída por 30 partículas diferentes, onde as principais são: elétrons, prótons e nêutrons além de se agruparem para formar moléculas com estruturas simples ou complexas. OLIVEIRA (2002); SOLOMONS (2001).

### **3. BOHR E O ESPECTRO**

Dentre os modelos atômicos criados para explicar o átomo, o modelo planetário proposto pelo físico dinamarquês Niels Bohr em 1913 conseguiu relacionar a distribuição dos elétrons na eletrosfera com sua quantidade de energia com base nas idéias de Rutherford e da idéia de quantização de Planck. Segundo Bohr, os elétrons se encontravam no átomo em estados estacionários de energia onde não há emissão de radiação, quando os átomos são aquecidos ou submetidos a uma descarga elétrica, a passagem de um nível “inferior” para outro “superior” implica na absorção ou emissão de energia desses elétrons, esta última ocorre quando o elétron retorna a órbitas de menor energia emitindo radiações eletromagnéticas. Mas, não é só a luz que pode ser emitida pelos saltos dos elétrons. Se um feixe de elétrons acelerado por intenso campo elétrico incidir sobre átomos de metais pesados (multieletrônicos), a decorrente excitação pode dar origem a raios-X. SANTOS (2002c); TOLENTINO & FILHO (1996).

#### **4. O ELÉTRON E A LUZ: CARÁTER DUAL**

Tanto no modelo atômico de Rutherford quanto no modelo atômico de Bohr, o elétron é considerado como sendo uma partícula, mas em 1920, foi demonstrado que os elétrons comportavam-se em alguns casos como ondas. A fim de comprovar essa descoberta, o físico francês Louis de Broglie lançou uma idéia inovadora em sua tese de doutorado em 1924:

Se fótons apresentam características de onda e de partículas [...], se os elétrons são partículas, mas também apresentam características ondulatórias, talvez todas as formas de matéria tenham características duais de onda e partícula. (apud PENTEADO, et. al. , 2005: 219)

A teoria ondulatória da luz proposta pelo físico Cristian Huygens em 1687 diz que a luz é constituída por atividade oscilatória de um meio não identificado, onde os elétrons que estão presentes nos átomos que constituem a matéria, ao receberem energia por colisões excitam-se, e passam a ocupar níveis de energia mais altos, porém ao retornarem aos níveis energéticos originais, a energia que havia recebido é devolvida ao meio sob forma de luz. A natureza ondulatória do elétron foi obtida passando um feixe de elétrons através de uma fina lamina metálica, onde anéis de difração foram observados fotograficamente. LEE (1999-2003).

Atualmente a difração<sup>3</sup> de elétrons tornou-se uma importante ferramenta utilizada para ilustrar a estrutura de moléculas.

#### **5. DOS RAIOS CATÓDICOS AOS RAIOS-X**

Ao estudar os raios-X, diversas observações, comentários e hipóteses sugerem que vários pesquisadores andaram "rondando a porta da descoberta dos raios-X", mas foi Röntgen quem os descobriu.

Em 1838, Michael Faraday (1791-1862) ligava decisivamente seu nome à descoberta dos raios catódicos ao realizar uma série de experimentos com descargas elétricas em gases rarefeitos. Porém, por causa das dificuldades técnicas com a produção de vácuo de boa qualidade, somente em 1858 esses trabalhos voltaram a serem estudados pelo físico alemão Julius Plücker (1801-1868), o qual produziu

---

<sup>3</sup> Interferência em ondas de luz visível.

resultados que repercutiram durante quarenta anos desafiando a inteligência humana. Dezoito anos mais tarde, a comunidade científica esperava que um bom entendimento do fenômeno fosse obtido, pois em 1876 interpretando os raios estudados por Faraday e Plücker, o físico alemão Eugen Goldstein (1850-1931) afirmava que esses raios eram ondas no éter denominando-os de raios catódicos (*Kathodenstrahlen*), porém para o inglês Crookes, os raios catódicos eram moléculas carregadas, as quais constituíam o quarto estado da matéria<sup>4</sup>. Essa polêmica foi encerrada em 1897 quando o físico inglês Sir Joseph John Thomson (1856-1940) demonstrou que os raios catódicos eram na verdade elétrons. SANTOS (2002a).

A "ampola de Crookes" ou tubo de Crookes foi um aparelho decisivo para a descoberta dos raios-X. Ela é feita de vidro ou quartzo e dentro dela se faz o vácuo. Ela contém duas placas metálicas ligadas a uma fonte de tensão elétrica. A placa ligada ao pólo negativo é chamada de cátodo e a outra, ligada ao pólo positivo, é o ânodo. Quando os elétrons saem do cátodo e atingem o ânodo ou a parede interna do tubo dá-se uma troca de energia e a tensão entre o cátodo e o ânodo fica bem elevada surgindo um feixe luminoso (elétrons) que sai do cátodo e atravessa o tubo onde energia cinética dos elétrons é convertida, parte em calor e parte em radiação eletromagnética os quais foram chamados de "raios catódicos". OS RAIOS-X (2007).

Hoje, sabemos que essa radiação é o que conhecemos como raios-X. No final de 1895, Röntgen estava trabalhando com o comportamento do ar e com outras misturas gasosas encerradas em uma válvula<sup>5</sup> e com uma tela fluorescente de platinocianeto de bário, quando observou um novo tipo de raio diferente dos raios catódicos saídos do tubo e começou a estudá-lo submetendo vários objetos a esses raios observando que todos os objetos ao entrarem em contato com esses raios pareciam transparentes; foi em um desses experimentos que Röntgen viu os ossos de sua mão: para comprovar o que viu, registrou em chapa fotográfica suas observações. OS RAIOS-X (2007). Com a realização de alguns experimentos, Röntgen descobriu que: a fluorescência era causada por uma radiação invisível; essa radiação eram mais penetrante que os raios ultravioleta

---

<sup>4</sup> Atualmente essa denominação é usada quando nos referimos ao plasma, que é exatamente o que se tem quando se produz uma descarga elétrica num gás rarefeito.

<sup>5</sup> Tubo de raios catódicos.

e que podia ionizar o ar; que esses raios era capaz de atravessar camadas espessas de certos materiais e impressionar filmes fotográficos.

No dia 22 de dezembro de 1895, Röntgen fez a primeira radiografia da História: Ele fez a radiação atravessar por quinze minutos a mão da sua mulher, Bertha. Essa descoberta marcou a história, pois pela primeira vez, podia-se ver dentro do corpo humano sem precisar abri-lo. Por não saber o que eram esses raios, Röntgen denominou-os de raios-X. CHASSOT (2005).

Em 1897 o inglês J. J. Thomson investigando as propriedades dos raios catódicos mostrou que esses raios são formados por partículas carregadas negativamente, porém não sabia do que se tratava, uma vez que esse tipo de radiação interage pouco com a matéria. Somente dois anos após a descoberta dos raios-X por Röntgen, Thomson descobriu que essas partículas eram os elétrons. OS RAIOS-X (2007).

De acordo com SANTOS (2002a) podemos entender como são gerados os raios-X com base no modelo atômico de Bohr: quando o elétron proveniente do cátodo incide no ânodo, ele pode expulsar um elétron orbital; a órbita de onde o elétron será expulso, depende da energia do elétron incidente e dos níveis de energia do átomo do ânodo; a lacuna deixada por este elétron será preenchida por um elétron mais externo. Neste processo, a radiação X será emitida, com frequência.

De acordo a descrição feita por CHASSOT (1995), os raios-X é uma espécie de radiação eletromagnética, que possui comprimento de onda, da ordem de  $10^{-11}$  a  $10^{-10}$  m (01 e 100 Å). Ela é obtida a partir da emissão de elétrons de um dispositivo que os aceleram por uma diferença de potencial. Estes elétrons são freados bruscamente, utilizando um anteparo, chamado de "alvo". Quando os elétrons acelerados são freados bruscamente, a radiação-X é formada.

## **6. A DIFRAÇÃO DE RAIOS-X**

No final do século XIX os cientistas ainda não conseguiam decifrar os raios X. Alguns afirmavam que esses raios penetrantes deveriam ser ondas eletromagnéticas, como previsto por Hertz<sup>6</sup>. KOTZ & TREICHEL (2002). Para por fim as dúvidas, era

---

<sup>6</sup> Físico alemão. O primeiro cientista a gerar e detectar ondas eletromagnéticas em 1887, oito anos após a morte de Maxwell.

preciso verificar se um feixe de raios-X podia apresentar interferência. OS RAIOS-X (2007). Esse teste seria decisivo, pois a interferência<sup>7</sup> é um fenômeno exclusivo de ondas, porém os cientistas não conseguiam visualizar a idéia de interferência nos raios-X, até que o cientista alemão Max Von Laue percebeu que o problema encontrava-se no comprimento de onda. Segundo Max Von Laue, para observar a interferência em ondas de luz visível é preciso passar dois ou mais feixes através de fendas bem próximas umas das outras onde a distância entre essas fendas não pode ser muito maior que o comprimento de onda da luz, porém essas fendas não eram suficientemente juntas para que se pudesse observar a difração de raios-X. Para Von Laue o comprimento de onda dos raios-X seria tão minúsculo que tornava impossível produzir fendas ou trilhas tão próximas, foi então que, observando os cristais os quais têm planos bem regulares e bem próximos uns dos outros que Von Laue deduziu que se os raios-X tiverem comprimento de onda comparável com a distância entre os planos dos cristais, seria possível difratar um feixe de raios-X passando-os através de um cristal. A experiência foi feita pelos assistentes de Von Laue, W. Friedrich e P. Knipping vieram confirmar sua idéia: realmente, apareceram manchas na placa fotográfica que indicavam claramente a difração, mas faltava ainda uma teoria para explicar como essas manchas se formavam e porque apareciam em direções bem específicas. Portanto, Max Von Laue concebeu a possibilidade de realizar difração de raios-X, e diante dos experimentos pode-se dizer que: a difração é um efeito que se explica com facilidade pelas propriedades ondulatórias da luz, ou seja, a difração é uma interferência entre várias ondas. Sendo assim, a interferência na difração de raios-X, será causada por diferenças de fases entre as ondas as quais são por sua vez causadas por diferenças nos caminhos que elas percorrem. As ondas começam em fase, mas por razões descobertas por Laue, umas se atrasam das outras, surgindo uma diferença de fase entre elas e conseqüentemente a interferência entre ambas. KOTZ & TREICHEL (2002); OS RAIOS-X (2007).

O desenvolvimento da teoria de Laue deu-se por meio dos estudos dos cientistas William Henry Bragg e William Lawrence Bragg, pai e filho.

Conforme esses cientistas, como o espaçamento entre os átomos do cristal tem um valor comparável com o comprimento de onda dos raios X, o feixe se refletirá nos planos dos átomos como em um espelho. Essa idéia pode ser compreendida quando se

---

<sup>7</sup> É quando duas ondas resolvem ocupar a mesma região do espaço.

observa o que se passa com duas ondas que incidem em planos vizinhos, pois os máximos "altos" de cada onda e um dos raios incidem no plano de baixo e percorre uma distância um pouco maior que o outro raio. A diferença entre os dois caminhos é exatamente o comprimento de onda. Portanto, a interferência será destrutiva dos raios refletidos (ou "difratados", no caso) faz com que estes saiam em fase, porém esse caso só acontece para um ângulo de incidência bem determinado.

Existe também o caso especial em que um feixe incide em um ângulo que segue paralelo. Nesse caso, a diferença de caminhos é menor, isto é, caminho é exatamente meio comprimento de onda e os raios difratados encontra-se em uma diferença de fase: um alto de um corresponde a um baixo do outro e, portanto, haverá interferência construtiva e os dois raios se anularão, ou seja, nessa direção não haverá raios-X refletidos.

Diante dessa análise a Lei de Bragg pode ser exposta da seguinte forma: diferença de caminhos é  $2 d \sin\theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo entre a direção dos raios-X e o plano de átomos do cristal. A interferência será construtiva e, portanto, haverá um feixe difratado apenas no caso em que essa diferença de caminhos for um número inteiro de comprimentos de onda dos raios-X, isto é, se  $2 d \sin = n$  ( $n =$  inteiro), haverá um feixe difratado.

Na Química, a difração de raios-X pode gerar informações valiosas sobre características da estrutura de um composto uma vez que é possível a partir do uso da difração de raios-X obter informações precisas sobre a possível estrutura do composto. Estas informações geradas pelo fenômeno físico da difração, ou seja, a interação dos elétrons com a rede cristalina e também da interferência, iniciam-se quando os raios incidem sobre um cristal e ocorre a penetração do raio na rede cristalina, a partir disso, teremos várias difrações e também interferências construtivas e destrutivas. Para analisar a difração, basta colocar um dispositivo capaz de captar os raios difratados e traçar o espalhamento, ou seja, o desenho da forma da rede cristalina ou estrutura que refletiu e difratou os raios-X. MEDEIROS (2004).

## **7. AFINAL, PORQUE É IMPORTANTE CONHECER A CONFIGURAÇÃO MOLECULAR?**

A determinação da configuração de moléculas e complexos moleculares<sup>8</sup> é sem dúvida uma das áreas fundamentais da química, uma vez que o arranjo dos átomos mesmo em moléculas pequenas pode ser muito complexo, pois cada composto formado apresenta seu conjunto característico de propriedades físicas e químicas. Portanto, descobrir como se encontram dispostos esses átomos nas moléculas, ou seja, como determinar a estrutura dos compostos, tem sido um dos problemas fundamentais da Química Orgânica. MORRISON (1996). Deste modo, partindo dessa abordagem científica, pode-se dizer que, conhecer a configuração dos compostos através do arranjo dos átomos nas moléculas orgânicas, torna-se relevante uma vez que pesquisando essa questão por meio de estudos físicos, químicos e teóricos podemos obter informações mais gerais quanto as possíveis ações diferenciadas dessas estruturas sobre o organismo vivo. MORRISON (1996); SOLOMONS (2001).

Diante dessa importância estrutural, VOLLHARDT & SHORE, levanta as seguintes questões:

Como podemos identificar a estrutura de um enantiômero puro de um composto quiral? E, uma vez que saibamos a resposta, existe uma forma de nomear essa estrutura inequivocadamente e distingui-la de seu enantiômero? (VOLLHARDT & SHORE, 2004:172).

É neste contexto que estudos teóricos, empíricos e quânticos sobre estrutura molecular têm aumentado consideravelmente. A maioria das técnicas que são adequadas para os estudos das moléculas individuais, é utilizada também no estudo de complexos moleculares. Dependendo do estado físico em que o composto químico se encontra, diferentes métodos experimentais podem ser empregados visando à ilustração da estrutura molecular. As respostas para estas perguntas citadas anteriormente esta nos métodos físicos, o qual tem mostrado ser de grande valor na obtenção de informações sobre a estrutura molecular. Dentre os métodos que dependem da interação entre radiação e matéria, cita-se a difração de raios-X de cristais simples. ALMEIDA (2000).

## 7.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X E CONFIGURAÇÃO MOLECULAR

---

<sup>8</sup> Também conhecida como arranjo espacial ou configuração dos átomos nas moléculas.

Em 1951, o problema da estrutura molecular ainda não tinha sido resolvido até que nesse ano J. M. Bijvoet<sup>9</sup> estudando um composto que quase há um século atrás levou Pasteur a descoberta da isomeria óptica, ou seja, o sal do ácido tartárico, anunciava ter determinado a verdadeira estrutura molecular em um composto opticamente ativo através de uma técnica especial de difractometria dos raios-X<sup>10</sup>. MORRISON (1996). A difração de elétrons como praticado ordinariamente permite a determinação de dimensões de moléculas simples com considerável perfeição. Portanto, a espectroscopia de raios-X nos oferece uma possibilidade real de determinar parâmetros geométricos para amostras na forma cristalina, pois a matéria pode espalhar a radiação com ou sem mudança na energia. Quando há transferência de energia, existe em geral mudança no comprimento de onda da radiação, e usualmente há absorção ou emissão em comprimentos de onda específicos. No sentido mais amplo, estes efeitos são estudados por técnicas espectroscópicas<sup>11</sup>. Uma vez que medidas espectroscópicas de frequência podem ser feitas com alta perfeição, parâmetros moleculares podem também ser determinado com grande precisão. Quando não há transferência de energia entre radiação e molécula (isto é, o espalhamento ocorre sem mudança no comprimento de onda), o espalhamento é dito elástico. Os raios espalhados de moléculas diferentes, ou de partes diferentes de uma mesma molécula, irão se reforçar, ou interferir em direções apropriadas, e, portanto, efeitos de difração deverão ocorrer. Este princípio pode ser aplicado mesmo quando moléculas estão orientadas ao acaso como, por exemplo, no estado gasoso.

## **8. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A descoberta dos raios-X por Röntgen foi sem dúvida uma revolução na Ciência, em outras palavras, uma contribuição singular para o início de uma descoberta não menos importante: a difração desses raios, a qual tem contribuído significativamente para a determinação do arranjo espacial dos átomos nas moléculas e conseqüentemente para a identificação correta dos enantiômeros presentes em uma dada molécula quiral. Portanto, não há a menor dúvida de que a difração de raios-X vem

---

<sup>9</sup> Diretor do Laboratório Van't Hoff na Universidade de Utrecht.

<sup>10</sup> Método de difração anômala.

<sup>11</sup> Estudo das radiações por meio do espectro fornecido pelo prisma.

desempenhando um papel crescente no estudo do mundo natural, contribuindo com o conhecimento progressivo que permeia a humanidade: os átomos e seu arranjo espacial. Com esse estudo, pode-se perceber não só o quanto o termo radioatividade permeia o universo científico, mas também a importância da análise dos fatos em seu contexto para o seu desenvolvimento no tempo presente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, W. B. de. Determinação da Estrutura Molecular do Ciclooctano por Métodos ab initio e Difração de Elétrons na Fase Gasosa. *Química Nova*, Vol. 23, N°5, SP: set/out, 2000.

CHASSOT, A. **Raios-X e Radioatividade**. *Química Nova na Escola*, N°2, Novembro, 1995.

KOTZ, J. C. TEICHEL, JR. P. **Química e Reações Químicas**, 4° Ed., LTC S. A., Vol. 1, Rio de Janeiro, 2002.

MORRISON, **Química Orgânica**. 13° Ed. S. I., Gulbenkian, 1996.

MERÇON, F.; QUADRAT, S. V. **a Radioatividade e a História do Tempo Presente**. *Química Nova na Escola*, N°19, Maio, 2004.

MEDEIROS, M. A. **Difração de Raios-X**. Disponível em: <[www.quiprocura.net/raiox.html-7k](http://www.quiprocura.net/raiox.html-7k)>. Acesso em: 25 jul. 07.

OLIVEIRA, J. R. de (Organizador). **Biofísica para Ciências Biomédicas**. Porto Alegre: Edipucrs, 2002. p. 313.

OS RAIOS-X. Disponível em: <[www.abrr.hpg.ig.com.br/ccabrrrx.htm](http://www.abrr.hpg.ig.com.br/ccabrrrx.htm)>. Acesso em: 25 jul. 2007.

SANTOS, C. A. dos. **A Descoberta dos Raios-X**. Texto revisado em 02 abr. 2002a. Acesso em: <[www.if.ufrgs.br/tex/fis142/raiosa/rxconc.html-13k](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/raiosa/rxconc.html-13k)>. Acesso em: 26 jul. 2007.

\_\_\_\_\_. **Conceitos Elementares de Raios-X**. Texto revisado em 02 abr. 2002b. Disponível em: <[www.bicristalografia.df.ibilce.unesp.br/x/al/difracao\\_wfapdf](http://www.bicristalografia.df.ibilce.unesp.br/x/al/difracao_wfapdf)>. Acesso em: 25 jun. 2007.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos do Modelo Atômico de Bohr**. Texto revisado em 02 abr. 2002c. Disponível em: <[www.if.ufrgs.br/tex/fis142/modeloboehr/modeloboehr /modeloboehrconc.html](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/modeloboehr/modeloboehr /modeloboehrconc.html)>. Acesso em : 27 jul. 2007.

\_\_\_\_\_. **Modelo Atômico de Bohr: Fatos Históricos**. Texto revisado em 02 abr. 2002d. Disponível em: <[www.if.ufrgs.br/tex/fis142/modeloboehr/modeloboehr/ modeloboehrhist.html](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/modeloboehr/modeloboehr/ modeloboehrhist.html)>. Acesso em: 27 jul. 2007.

SEARA DA CIENCIA. **Os Raios-X**. Disponível em: <[www.seara.ufc.br/especiais /fisica/raiosx/raiosx-6htm-8k](http://www.seara.ufc.br/especiais /fisica/raiosx/raiosx-6htm-8k)> Acesso em: 26 jul. 2007.

SOLOMONS, T. W. G. et al. **Química Orgânica**. 7ª Edição, Editora LTC Rio de Janeiro, Vol. 1, 2001.

TOLENTINO, M.; FILHO, R. C. R. **Átomo e Tecnologia**. Química Nova na Escola, N°3, maio, 1996.

VOLLHARD, K. P. C.; SCHORE, N. E. **Química Orgânica: Estrutura e Função**. 4ª Ed., Bookman: Porto Alegre, 2004. (Capítulo 5).