

História da tomografia computadorizada

Antonio Carlos Pires Carvalho¹

Esta série de artigos sobre a história da radiologia traz uma satisfação especial a quem, como eu, gosta do assunto. Rever o que foi feito, como e por quem foi feito é sempre interessante. Hoje, é muito fácil sentar-se à frente de um aparelho “meio antigo” e dizer “que porcaria!”. Mas se pensar que alguém precisou ter a idéia e fazer algo, que foi sendo aperfeiçoado aos poucos e hoje em dia “voa”, esse alguém deve lembrar que para voar num 747 ou num Concorde, primeiro teve de existir o 14-Bis. E é desses que criaram os teco-tecos que desejo sempre falar e lembrar.

Falar de tomografia computadorizada é falar de Röntgen, seus trabalhos e as dificuldades inerentes ao exame do corpo humano. Ver por dentro sempre foi o grande objetivo, isto é, sem abrir o paciente. Objetivo que começou a se tornar realidade com os raios X, melhorou com a ultra-sonografia e que teve grande salto de qualidade quando alguém resolveu tentar acoplar um computador a cristais sensíveis a radiações para construir imagens do interior do corpo. Hoje é desse alguém, ou “desses alguéns” que pretendo falar e lembrar. Também se deve agradecer aos detentores de direitos autorais de imagens e textos previamente publicados, que generosamente autorizaram sua reprodução. Agradeço a autorização para reprodução de imagens e texto da Nobel Foundation e da American Mathematical Society.

Desde a sua descoberta, no final do século passado, os raios X têm sido utilizados como método de diagnóstico em medicina, através da radiografia e da radioscopia. Com o passar dos anos, o diagnóstico radiológico passou por significativo avanço tecnológico, pela produção de aparelhos de maior potência e qualidade, resultando em melhor aproveitamento da radiação. Um dos momentos mais importantes dessa evolução foi a introdução do computador, utilizado para a realização de cálculos matemáticos a partir da intensidade dos fótons de raios X. Ambrose e Hounsfield, em 1972, apresentaram um novo método de utilização da radiação para medir descontinuidade de densidades, obtendo imagens, inicialmente do cérebro, com finalidades diagnósticas. Neste método, cujo desenvolvimento transcorria há 10 anos, seriam feitas diversas medidas de transmissão dos fótons de raios X, em múltiplos ângulos e, a partir desses valores, os coeficientes de absorção pelos diversos tecidos seriam calculados pelo computador e apresentados em uma tela como pontos luminosos, variando do branco ao preto, com tonalidades intermediárias de cinza. Os pontos formariam uma imagem correspondente a uma seção axial do cérebro, que poderia ser estudada ou fotografada, para avaliação posterior.

Diz a lenda que Hounsfield, engenheiro da EMI Ltd., com liberdade total para desenvolver pesquisas, estava realizando um trabalho para a Scotland Yard, sobre a possibilidade de utilizar o computador para a reconstrução de “retratos falados” de criminosos, identificação de escrita e impressões digitais, entre outras atividades de uso policial, ou seja, padrões de reconhecimento. Ao final de alguns anos de pesquisa, a polícia londrina desistiu do projeto, achando-o sem utilidade. Ficou o

Descritores:

História da Radiologia; Tomografia computadorizada; G.N. Hounsfield; A.M. Cormack.

Recebido para publicação em 26/4/2007. Aceito, após revisão, em 20/9/2007.

¹ Professor Adjunto do Departamento de Radiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.

Correspondência: Prof. Dr. Antonio Carlos Pires Carvalho. Rua José Higino, 290, ap. 401, Tijuca. Rio de Janeiro, RJ, 20520-200. E-mail: acpcrj@hucff.ufrj.br

autor com anos de estudo em reconstruções matemáticas nas mãos. Ambrose, neurorradiologista, uniu-se ao grupo de trabalho, questionando se o material serviria para ver o interior craniano. Hounsfield acreditava que um feixe de raios X continha mais informação do que aquela que era possível capturar com um filme e pensou que um computador talvez pudesse ajudar a obter essa informação^[1].

Mas vamos tentar ordenar os fatos em ordem cronológica, que em história é importante.

No início de século XX, um matemático austríaco, Johann Radon, desenvolveu uma equação matemática, a “transformada de Radon”, que futuramente seria a base matemática da tomografia computadorizada. Há quem refira que uma “transformada de Lorenz” e a famosa “transformada de Fourier” também influenciaram e que estas equações matemáticas derivam de estudos matemáticos de Galileu, e com isto já estamos retrocedendo ao século XVI para falar de tomografia computadorizada. Voltando ao século XX, Radon demonstrou que um objeto tridimensional poderia ser reproduzido a partir de um conjunto de projeções. Este conceito foi o fundamento para a tomografia computadorizada algumas décadas depois.

Em um *site* da internet, mais exatamente da American Mathematical Society, há uma página que detalha essa e outras equações, para quem quiser se aprofundar mais na parte matemática do assunto^[2]. Dela tirei algumas figuras interessantes que aparecerão aqui, reproduzidas com autorização da American Mathematical Society.

Em 1956, o físico e radioastrônomo Ronald Bracewell usou a “transformada de Fourier” (matemático francês que viveu entre 1768 e 1830) para obter uma solução matemática como base para reconstrução das regiões de radiação de microondas do sol. Barrett e cols.^[3] encontraram artigos publicados em periódicos russos datados de 1957 e 1958 que mostravam que a “equação invertida de Radon” foi descrita em termos integrais como a solução para o problema da tomografia formulado por eles. Esse estudo russo também apresentava um desenho de um modelo semelhante a um computador com televisão para mostrar os dados reconstruídos em uma matriz 100×100 . Mas Barrett e cols. não encontraram evidências de que o modelo tenha sido de fato construído ou alguma imagem, obtida. Um dos autores programou um computador com o algoritmo de reconstrução exatamente como no modelo russo e mostrou que ele trabalhava satisfatoriamente, porém como era computacionalmente insatisfatório, o máximo que se conseguiu foi uma imagem 32×32 de qualidade acei-

tável, sem artefatos. A tomografia computadorizada médica começa a ser desenvolvida nos anos 60, de forma lenta, por falta de apoio matemático. A mais prematura demonstração foi feita por um neurologista, William Oldendorf^[4], que em 1961 construiu manualmente um sistema de reconstrução de uma seção transversal de um objeto constituído de argolas de ferro e alumínio. Embora inventivo, o estudo experimental usou um método considerado tosco de uma retroprojeção simples. O invento, patenteado, resultante era considerado impraticável porque necessitava extensa análise. Oldendorf trabalhou sem o apoio de matemáticos e sem conhecimento dos trabalhos de Radon e Bracewell. Em 1963, Kuhl e Edwards, respectivamente médico e engenheiro, criaram um método de imagem para mostrar a distribuição de radionuclídeos. Realizaram estudos clínicos por anos, mas a qualidade da imagem obtida não era melhor que a dos equipamentos existentes, porque a base matemática para um mapeamento acurado não tinha sido incorporada ao método e os sistemas de computadores existentes eram incapazes de realizar rapidamente os cálculos e a projeção.

A contribuição matemática fundamental para o problema da reconstrução foi feita em 1963 e 1964 por Allan Cormack^[5,6], físico e matemático. Ele estudava a distribuição dos coeficientes de atenuação do corpo para que o tratamento por radioterapia pudesse ser mais bem direcionado para o tumor alvo. E também estava desenvolvendo um algoritmo matemático para a reconstrução tridimensional da distribuição da concentração de radionuclídeos a partir dos dados coletados de um equipamento de “câmara-pósitron” desenvolvido em 1962.

A questão que Cormack respondeu foi: “Supondo que se conheçam todas as linhas integrais através de um corpo de densidade variada, podemos reconstruir esse mesmo corpo?” A resposta foi positiva, e ainda mais construtiva, a partir das informações obtidas pelos raios X. Em termos práticos, sabe-se que uma radiografia mostra informações limitadas porque certas estruturas são obscurecidas por outras de densidade maior. Podemos tirar mais informação se pudermos ver dentro do objeto, que foi o que Radon nos disse, pelo menos em princípio, tornando seu teorema em uma ferramenta prática, e não apenas uma matéria trivial. Para a reconstrução, a transformada de Radon invertida foi a base matemática.

Casselman^[2], em seu artigo *on-line* recente, mostra figuras representando o uso das equações matemáticas, de um disco de metal homogêneo e de um modelo oval com estruturas de densidades variadas, criando a imagem a partir de reconstruções de 32, 64 e 128 *pixels*.

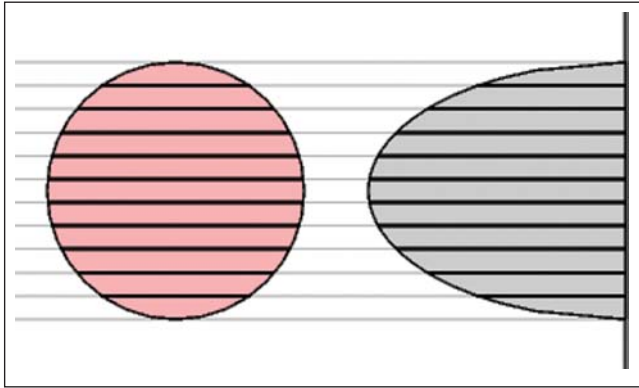


Fig. 1 – Projeção de um disco de metal homogêneo. (Reproduzida com permissão da American Mathematical Society).

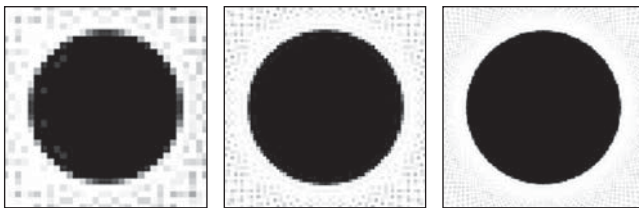


Fig. 2 – Imagem obtida de um disco homogêneo a partir das fórmulas matemáticas em que se baseia a tomografia computadorizada em matrizes de 32, 64 e 128 pixels. (Reproduzida com permissão da American Mathematical Society).

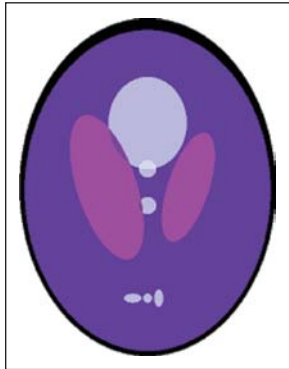


Fig. 3 – Modelo assemelhado a um crânio feito de material com densidades e dimensões diferentes. (Reproduzida com permissão da American Mathematical Society).

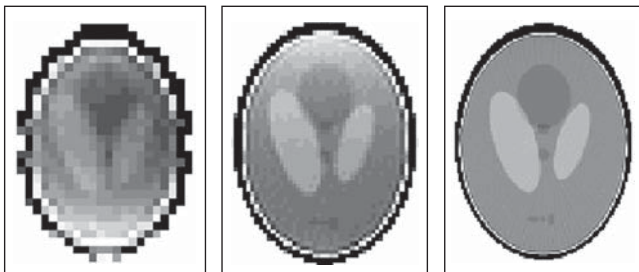


Fig. 4 – Imagens do modelo da Fig. 3 em projeções de 32, 64 e 128 pixels. (Reproduzida com permissão da American Mathematical Society).

É nesse momento que surge a figura de Hounsfield. Engenheiro, experiente com radares, particularmente interessado em computadores, e com total liberdade da EMI para realizar suas pesquisas, foi o criador do primeiro computador totalmente transistorizado da Inglaterra. E já tinha idéias de estudar o interior de objetos tridimensionais a partir da reconstrução obtida pela absorção heterogênea de radiação pelos diferentes componentes. Criou o protótipo e inicialmente usou uma fonte de amerício-241, emissora de raios gama. O tempo de aquisição da imagem foi de nove dias e o computador levou 150 minutos para processar uma simples imagem. A seguir Hounsfield adquiriu um tubo e um gerador de raios X, provavelmente porque os raios X tinham suas propriedades bem conhecidas, sendo uma fonte confiável de informação. Assim, o tempo de aquisição das imagens foi reduzido para nove horas. A idéia de se concentrar na criação de um aparelho voltado para o crânio surge durante discussões com radiologistas experientes: Dr. James Ambrose, do Atkinson Morley Hospital, Dr. Louis Kreel, do Northwick Park Hospital, e Dr. Frank Doyle, do Hammersmith Hospital. Um cérebro, fixado em formol e com algumas alterações, foi conseguido e a imagem obtida mostrou a substância branca e cinzenta, bem como as calcificações.

Após várias imagens experimentais com peças e animais, foi feita a primeira imagem diagnóstica, em uma paciente selecionada pelo Dr. Ambrose, com suspeita de tumor no lobo frontal esquerdo, ainda não-confirmado. A imagem obtida, mostrando a lesão, causou euforia em Hounsfield e na equipe. Estas são suas palavras, mantidas no original. *“When we took the picture, there was beautiful picture of a circular cyst right in the middle of the frontal lobe and, of course, it excited everyone in the hospital who knew about the project”*.

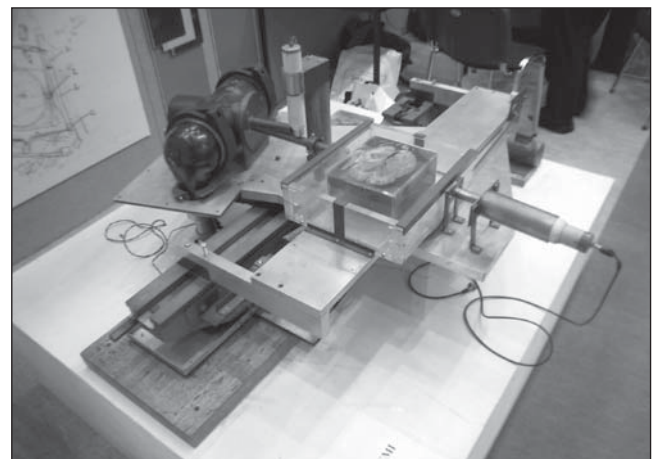


Fig. 5 – Protótipo de Hounsfield. (Figura obtida na Wikipedia, sem restrição de uso).

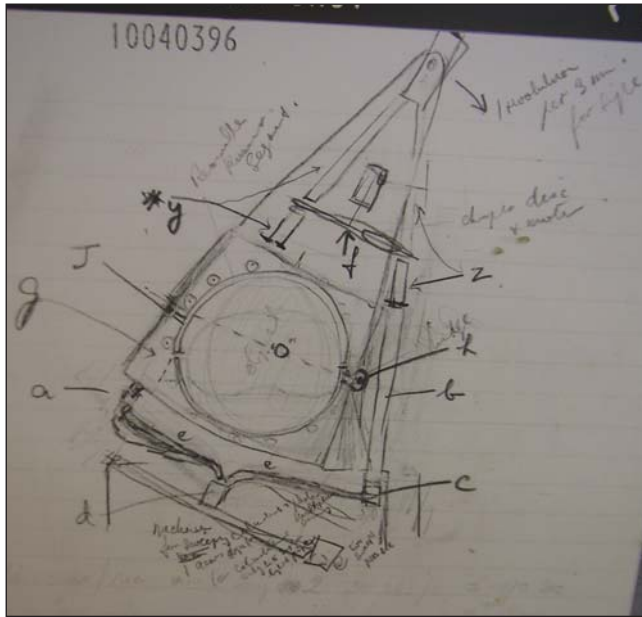


Fig. 6 – Desenho esquemático do protótipo de Hounsfield – pode ser visto na figura anterior, situado na parede atrás dele. (Figura obtida na Wikipedia, sem restrição de uso).

Essas primeiras imagens foram mostradas no congresso anual do British Institute of Radiology, em 20 de abril de 1972. As reações foram de empolgação. Curiosamente, Hounsfield havia mostrado imagens seccionais de peças de cadáveres e de animais no congresso europeu realizado em Amsterdã no ano anterior, sem despertar nenhum interesse. A comunidade médica ali reunida não percebeu nem teve noção da revolução que se aproximava. Nesse mesmo ano de 1971, uma greve dos correios impediu a publicação do trabalho escrito por Hounsfield. Ao início da comercialização do equipamento, o tempo de aquisição de cada corte era de seis minutos e o da reconstrução da imagem já era de dois minutos, porque um minicomputador mais eficiente havia sido adicionado ao sistema. A grande repercussão mereceu destaque no jornal **Times**, em 21 de abril de 1972, sendo mostrada uma foto do primeiro aparelho em uso.

Em 1973, após 18 meses de uso do primeiro equipamento construído para uso clínico, Hounsfield^[7] e Ambrose^[8] apresentaram os resultados e sua experiência em artigos publicados. Neste seu artigo de 1973, um clássico já reimpresso algumas vezes, no qual apresentou a técnica, Hounsfield escreve, e novamente manteve o texto original: *“It is possible that this technique may open up a new chapter in X-Ray diagnosis. Previously, various tissues could only be distinguished from one another if they differed appreciably in density. In this procedure, absolute values of the absorption coefficient of the*

tissues are obtained. The increased sensitivity of computerized X-Ray section scanning thus enables tissues of similar density to be separated and a picture of the soft tissue structure within the cranium to be built up”.

O primeiro tomógrafo do Brasil foi instalado em São Paulo, no Hospital da Real e Benemerita Sociedade Portuguesa de Beneficência, em 1977. Logo depois, o primeiro aparelho do Rio de Janeiro iniciou seu funcionamento, em 28 de julho de 1977, na Santa Casa de Misericórdia.

A tecnologia não parou de evoluir, criando os aparelhos chamados de segunda, terceira e quarta gerações, os modelos helicoidais, cada vez mais rápidos, com imagem mais refinada, tempo de realização do exame mais curto e custo de produção menor, reduzindo acentuadamente os preços dos equipamentos e dos exames. Quando se comparam os números citados acima com um tomógrafo moderno, que consegue adquirir todo o volume do tórax, abdome e pelve de um paciente em poucos segundos, podemos ver o quanto evoluiu a tecnologia. Surgida num momento em que se pensava que a tomografia computadorizada não tinha mais para onde evoluir, a aquisição volumétrica foi patenteada em 1976 e em junho de 1980 imagens tridimensionais com resolução de 1.200×1.200 pixels são obtidas e exibidas quase em tempo real^[9].

Em sua homenagem, as unidades de densidade, inicialmente denominadas números EMI, foram rebatizadas unidades Hounsfield, eternizando sua importância para a medicina moderna.

Hounsfield recebeu o prêmio Nobel de Medicina de 1979, juntamente com Cormack, pela invenção da tomografia computadorizada. Recebeu dezenas de homenagens em vida, entre elas diversos títulos de “Doutor Honoris Causa” de importantes universidades e o título de “Sir”, por sua indicação a Cavaleiro do Império Britânico. Godfrey N. Hounsfield faleceu no dia 12 de agosto de 2004.

Não se pode encerrar este texto sem citar as palavras de Allan M. Cormack no banquete da entrega do prêmio Nobel em 10 de dezembro de 1979.

“Vossas Majestades, Vossas Altezas Reais, Senhoras e Senhores.

Godfrey Hounsfield pediu-me para falar por ambos. Desejamos muito respeitosamente solicitar a Vossa Majestade que transmita à Fundação Nobel e ao Conselho Nobel do Instituto Karolinska nossa intensa gratidão pela honra que nos foi dada pelo recebimento do Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia.

Há ironia neste prêmio. Uma vez que nem Hounsfield nem eu somos médicos. De fato, não é muito exa-

gero dizer que o que Hounsfield e eu sabemos de Medicina e Fisiologia poderia ser escrito em uma pequena folha de prescrição!

Enquanto há ironia na premiação, há também esperança de que, agora nestes dias de especialização aumentando, há uma unidade na experiência humana, uma unidade claramente conhecida por Alfred Nobel, que um engenheiro e um físico, cada um de seu próprio modo, contribuíram um pouco para o avanço da Medicina.” (Reproduzido com permissão da Nobel Foundation).

Uma minibiografia dos principais envolvidos na criação e desenvolvimento da tomografia computadorizada merece fazer parte do encerramento deste trabalho.

Godfrey Newbold Hounsfield – Engenheiro, nasceu em Nottinghamshire, Inglaterra, em 28/8/1919 e faleceu em 12/8/2004. Desde criança tinha grande curiosidade sobre aparelhos mecânicos e elétricos. Aviãos o fascinavam e durante a Segunda Guerra alistou-se como reservista voluntário na RAF e interessou-se muito por eletrônica de radares e rádio, continuando estes estudos no Faraday House Electrical Engineering College de Londres. Em 1951 juntou-se ao grupo de pesquisa da EMI, liderando a equipe que construiu o primeiro computador totalmente transistorizado da Inglaterra, o EMIDEC 1100, em 1958-1959. Mais tarde, estudando padrões de reconhecimento, desenvolveu a idéia básica da tomografia computadorizada. Gostava de música, clássica ou ligeira, e tocava piano.



Fig. 7 – Godfrey N. Hounsfield. (Reproduzido com permissão da Nobel Foundation).

Allan MacLeod Cormack – Físico e matemático, filho de imigrantes escoceses, nasceu em Johannesburgo, África do Sul, em 23/2/1924 e faleceu em Massachusetts, EUA, em 7/5/1998 aos 74 anos, de câncer. Inicialmente matriculado numa escola de engenharia, pois iria seguir carreira semelhante ao pai e irmão, mudou de idéia ao ocorrer mudança curricular e tomar contato com alguns professores de física. Concluiu seu bacharelado em 1944 e o mestrado no ano seguinte. Entre 1947 e 1949 esteve em Cambridge, onde conheceu sua futura esposa. Fez parte de sua formação em física e ciclotron em Harvard e depois mudou-se para os EUA, sendo contratado pela Universidade Tufts, onde viveu o resto de sua vida, com algumas poucas exceções de viagens à terra natal e algumas visitas prolongadas a universidades com grandes departamentos de física. Dedicava grande parte do seu tempo à leitura e considerava sedentária a vida que levava. Gostava de animais. Iniciou os estudos que o levariam ao prêmio Nobel ainda em seu país natal em 1956 e publicou seus trabalhos em 1963 e 1964. Postumamente, recebeu a Ordem de Mapungubwe, a mais alta honraria da África do Sul.



Fig. 8 – Allan M. Cormack. (Reproduzido com permissão da Nobel Foundation).

James Abraham Edward Ambrose – Médico neurorradiologista, nasceu em Pretória, África do Sul, em 5/4/1923 e em faleceu em 12/3/2006. Participou da Segunda Guerra com piloto da caça da RAF, e após o fim da guerra voltou a seu país. Ingressou na faculdade de medicina de Cape Town e graduou-se em 1952. Dois

anos depois foi à Inglaterra para especializar-se em radiologia, concluindo em 1956. Recebeu treinamento em neurorradiologia na Inglaterra e na Suécia. Ao longo dos anos 60 realizou milhares de angiografias de carótidas e pneumoencefalografias. Mas desejava mesmo desenvolver métodos não-invasivos para estudo do cérebro. Por estar no Atkinson Morley's, ouviu falar em um experimento conduzido por um engenheiro para uma nova técnica de imagem. Por ser um eminente radiologista, o Departamento de Saúde o colocou em contato com Hounsfield, que havia sido considerado um excêntrico por outro radiologista eminente. A recepção mais simpática de Ambrose, que viu o potencial da idéia, fez o resto. O Departamento mobilizou recursos e nasceu a tomografia computadorizada. Ambrose recebeu diversas condecorações ao longo de sua vida, embora houvesse um consenso entre seus colegas que ele não tinha recebido o devido crédito e reconhecimento por seu trabalho. Aposentou-se em 1988 e mudou-se para Argyll, uma pequena localidade, onde pôde dedicar-se à pintura e às plantas e vida silvestre. Dizem que se não fosse médico teria sido um horticultor. (Infelizmente, não encontrei imagem do Dr. Ambrose sem restrição de uso e não recebi autorização para reproduzir nenhuma delas.)

Johann Radon – Nasceu em Tetschen, na Bohemia (atual República Tcheca), em 6/12/1887 e faleceu em 25/5/1956. Escreveu sua tese de doutorado sobre variações em cálculos e a defendeu em 1910 na Universidade de Viena. Em 1913 obteve sua livre-docência, com outra tese sobre funções matemáticas. Dos quatro filhos que teve, um morreu com 18 dias de vida, o segundo morreu de doença, outro na guerra em 1943, e somente Brigitte seguiu carreira acadêmica e tornou-se também PhD em matemática. Passou pelas Universidades de Hamburgo e Viena, mas foi em Greifswald que alcançou pela primeira vez em 1922 o posto de professor catedrático. Ao longo de sua vida trocou de universidade algumas vezes, sempre galgando o posto máximo da carreira. Foi membro da Academia de Ciências da

Áustria e da Sociedade Austríaca de Matemática, tendo ocupado a presidência desta.

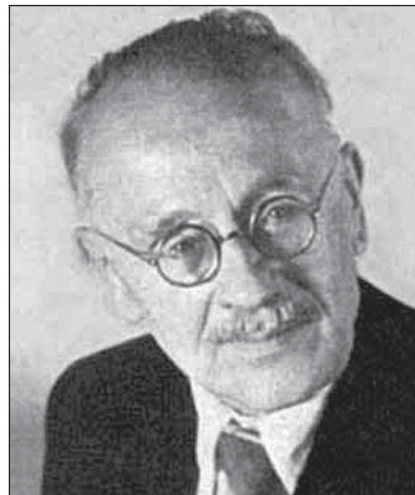


Fig. 9 – Johann Radon. (Figura obtida na internet, sem referência a direitos autorais).

REFERÊNCIAS

1. Rogers LF. "My Word, What Is That?": Hounsfield and the triumph of clinical research. *Radiology* 2003;180:1501.
2. Casselman B. Mental calculation. [Acessado em: 19/1/2007]. Disponível em: <http://www.ams.org/featurecolumn/archive/tomography.html>
3. Barrett HH, Hawkins WG, Joy ML. Historical note on computed tomography. *Radiology* 1983;147:172.
4. Oldendorf WH. Isolated flying spot detection of radiodensity discontinuities displaying the internal structural patterns of a complex object. *IRE Trans Biomed Electronics BME* 1961;8:68-72.
5. Cormack AM. Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications. *J Appl Phys* 1963;34:2722-7.
6. Cormack AM. Representation of a function by its line integrals, with some radiological applications: II. *J Appl Phys* 1964;35:2908-13.
7. Hounsfield GN. Computerised transverse axial scanning (tomography): Part 1. Description of system. *Br J Radiol* 1973;46:1016-22.
8. Ambrose J. Computerised transverse axial scanning (tomography): Part 2. Clinical application. *Br J Radiol* 1973;46:1023-47.
9. Beckmann EC. CT scanning the early days. *Br J Radiol* 2006;79:5-8.