



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

FÍSICA

RAFAELA PEREIRA ALVARENGA

COSTA SENA E A TEORIA DO FERROMAGNETISMO DE PIERRE WEISS

OURO PRETO

2022

Rafaela Pereira Alvarenga

COSTA SENA E A TEORIA DO FERROMAGNETISMO DE PIERRE WEISS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Física da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. Armando de Oliveira Brizola (UFOP)

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Hostalácio Freire de Andrade (CDTN)

Trabalho realizado durante a Pandemia de SARS-COVID 19 - 2020/2021

OURO PRETO

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A473c Alvarenga, Rafaela Pereira.
Costa Sena e a teoria do ferromagnetismo de Pierre Weiss.
[manuscrito] / Rafaela Pereira Alvarenga. - 2022.
53 f.: il.: color., mapa.

Orientador: Prof. Dr. Armando de Oliveira Brizola.
Coorientador: Dr. Leandro Hostalácio Freire de Andrade.
Monografia (Licenciatura). Universidade Federal de Ouro Preto.
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Graduação em Física .

1. Magnetismo. 2. Ciência. 3. Pesquisa científica. I. Andrade, Leandro Hostalácio Freire de. II. Brizola, Armando de Oliveira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 53

Bibliotecário(a) Responsável: Luciana De Oliveira - SIAPE: 1.937.800



FOLHA DE APROVAÇÃO

Rafaela Pereira Alvarenga

Costa Sena e a Teoria do Ferromagnetismo de Pierre Weiss

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de licenciado em Física

Aprovada em 20 de Maio de 2022

Membros da banca

Prof. Dr. Armando Brizola (DEFIS) - Orientador
Prof. Dr. Leandro Hostalácio (CDTN) - Coorientador
Prof. Dr. Carlos Felipe (DEFIS)
Profa. Dra. Rosana Areal de Carvalho (ICHS)

Armando Brizola, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em



Documento assinado eletronicamente por **Armando de Oliveira Brizola, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/07/2022, às 13:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Felipe Saraiva Pinheiro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/07/2022, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0328243** e o código CRC **0286887C**.

Dedico esse trabalho ao meu avô Geraldo (in memoriam), que foi o mais incentivador, inteligente e humano dos seres que já tive a honra de conviver.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Armando e Leandro, pela disponibilidade para com este trabalho, por dividirem suas bagagens científicas e humanas, sou muito grata por ter vocês dois fazendo parte da minha história acadêmica e conseqüentemente da minha vida. Levarei cada ensinamento e entusiasmo de vocês para onde eu for, aguardando também possíveis novas colaborações.

Agradeço também à professora Rosana, quanta doçura em uma pessoa só. Obrigada por suas pontuações e ajudas neste trabalho. Mostrou que a ciência é colaboração.

Agradeço a minha prima Maria José, por sanar as minhas dúvidas quando o assunto era geologia. Ao PET-Física UFOP, pelo fomento da bolsa e por valorizar a pesquisa dentro do grupo.

Agradeço também a minha base, minha família, em especial ao meu noivo Edson, meu irmão Fernando, minha vó Margarida, meu pai e minha mãe, por serem pessoas que com suas possibilidades me ajudaram de diversas formas, obrigada por tudo.

RESUMO

A presente monografia tem como objetivo analisar a possível relação científica do geólogo brasileiro Costa Sena com o físico francês Pierre Weiss. A pesquisa é composta pela identificação de trabalhos, pesquisas e menções à Costa Sena nos âmbitos local e internacional, principalmente que o vincule à Pierre Weiss. A dinâmica do trabalho baseia-se em uma análise da linha de tempo abrangendo as últimas décadas do século XIX e as primeiras décadas do século XX. Para tanto, a pesquisa inclui análise de contexto sócio histórico da Escola de Minas de Ouro Preto, contextualização da ciência, no campo do magnetismo, no Brasil e Europa no final do século XIX, além de uma menção técnica sucinta sobre propriedades magnéticas dos materiais, domínios magnéticos e campo molecular. Para bem entender e classificar a relação entre Pierre Weiss e Costa Sena, propomos uma definição precisa do termo relação científica.

Palavras-chave: Relação científica; Magnetismo; Ciência; Pesquisa científica; Costa Sena; Pierre Weiss.

ABSTRACT

The present monograph aims to analyze the possible scientific relationship between the Brazilian geologist Costa Sena and the French physicist Pierre Weiss. The research is composed by the identification of works, researches and mentions of Costa Sena at the local and international scopes, mainly that links him with Pierre Weiss. The methodology of the work is based on a timeline analysis covering the last decades of the 19th Century and the first decades of the 20th Century. To accomplish that, the research includes analysis of the socio- historical context of the Escola de Minas de Ouro Preto, contextualization of science, in the field of magnetism, in Brazil and Europe at the end of the 19th century, in addition to a brief technical mention about magnetic properties of materials, magnetic domains and molecular field. To better understand and classify the relationship between Pierre Weiss and Costa Sena, we propose a precise definition of the term scientific relationship.

Keywords: Scientific relationship; Magnetism; Science; Scientific research; Costa Sena; Pierre Weiss.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 BREVE HISTÓRIA DO MAGNETISMO E SEU DESENVOLVIMENTO NO BRASIL	10
3 CONTEXTUALIZAÇÃO TÉCNICA DO MAGNETISMO.....	17
4 APRESENTAÇÃO DOS PERSONAGENS FUNDAMENTAIS DO NOSSO TRABALHO	22
4.1 Pierre Weiss.....	22
4.2 Costa Sena	24
5 A ESCOLA DE MINAS DE OURO PRETO.....	27
6 RELAÇÃO CIENTÍFICA	36
7 LINHA DO TEMPO	38
8 CONCLUSÃO.....	46
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

No ano de 1876 era inaugurada a Feira Universal da Filadélfia no estado americano da Pensilvânia nos Estados Unidos da América. Recém egresso de uma das mais sangrentas guerras do século XIX, a Guerra de Secessão, o país procurava mostrar ao resto do mundo, em particular à velha Europa, sua potência científica e industrial. O Imperador brasileiro Dom Pedro II, homem ilustrado e grande incentivador das ciências, era um assíduo frequentador dessas feiras científicas. Segundo Vaiano (2022) Dom Pedro II, ao ser apresentado para o protótipo primitivo de um telefone inventado por Graham Bell (1847-1922) pronunciou a célebre frase: “Mas isso fala!”. O contraste entre os Estados Unidos, país que naquela época incentivava a consolidação da ciência e indústria local e que aboliu a escravidão em 1865, e o Brasil, país cuja produção baseava-se na mão de obra escrava, nos permite compreender o espanto do Imperador. Entretanto, o pendor científico do Imperador não se arrefeceu: por incentivo de D. Pedro II, por volta dessa época, era fundada a Escola de Minas de Ouro Preto sob a direção de Henri Gorceix. O objetivo era claramente o desenvolvimento das ciências no Brasil, ao menos na área de mineração/geologia, ativos importantes até hoje.

A Escola de Minas de Ouro Preto teve um papel importante no desenvolvimento científico e industrial do Brasil nas últimas décadas do século XIX, como veremos adiante. Um personagem importante na trajetória da Escola de Minas como instituição de ensino e pesquisa foi o Sr. Joaquim Cândido da Costa Sena. Seu legado é lembrado até os dias atuais, pois seu nome foi dado a uma ala administrativa de um dos principais prédios do Campus da Universidade Federal de Ouro Preto, o Instituto de Ciências Exatas e Biológicas - ICEB.

Quando voltamos a nossa atenção para o desenvolvimento científico no campo das ciências físicas no Velho Continente nas últimas décadas do século XIX nos deparamos com a história do desenvolvimento do magnetismo. Essa área da física encontrou nessa época um enorme desenvolvimento, principalmente na França. Uma das principais contribuições da chamada “Escola francesa de magnetismo” foi a Teoria do Campo Molecular do Monsieur Pierre Weiss. Esse eminente físico francês em seus trabalhos de pesquisa mencionou o Sr. Costa Sena. Essa menção nos levou a buscar compreender a possível relação científica entre o Sr. Costa Sena e M. Pierre Weiss, autor de importantes modelos que são ainda usados para

compreensão das propriedades magnéticas de materiais. Uma das mais importantes teorias sobre o magnetismo em física.

O objeto do presente trabalho, compreender, definir e analisar a possível relação científica entre esses dois pesquisadores, levou-nos a uma revisão do tema magnetismo¹, a uma análise do *status* científico dessa área, ao estudo do papel da Escola de Minas nesse contexto, à interpretação de relação científica e a um melhor entendimento da posição científica do Brasil na comunidade científica de então. Um auxílio importante em nosso trabalho foi a elaboração de uma linha de tempo referente aos principais personagens de nosso estudo e suas realizações.

¹ O tema magnetismo foi escolhido pois nessa área há indícios de uma relação científica entre o Brasil e a França.

2 BREVE HISTÓRIA DO MAGNETISMO E SEU DESENVOLVIMENTO NO BRASIL

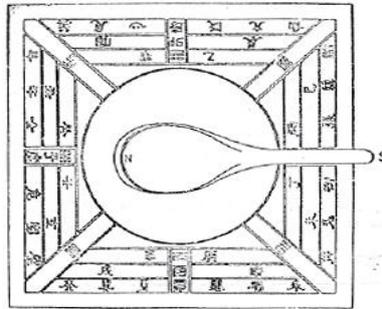
O magnetismo é um dos campos de estudo mais antigos da ciência. Desde milhares de anos de nossa era, quando nossos ancestrais já conheciam as propriedades singulares da magnetita, ou pedra magnética, os fenômenos magnéticos sempre chamaram atenção, especialmente por sua ação à distância. Para Néel (2000), os fenômenos magnéticos são ciência pura, estão presentes em todas as escalas dimensionais, das partículas elementares aos aglomerados de galáxias, passando pela estrutura e história da nossa Terra.

O entendimento do magnetismo progrediu, mesmo que lentamente no início. Os pioneiros na área foram pessoas que viveram na Suméria, na China e na Grécia. Já nos últimos séculos houve uma verdadeira explosão de conhecimento, de técnicas de estudos e aplicações industriais desse campo da ciência (GIGNOUX *et al.*, 2000).

Em tumbas egípcias sumérias foram encontradas contas tubulares de ferro de origem meteórica, considerados os vestígios mais antigos de objetos ferromagnéticos trabalhados por mãos humanas. O que não se sabe é se sua virtude atrativa foi descoberta naquela época. Os antigos egípcios não se dedicavam à metalurgia do ferro, o interesse por esse procedimento surgiu depois que os Hititas praticaram a indústria do aço, isso por volta de 3500 anos atrás (GIGNOUX *et al.*, 2000).

A primeira aplicação tecnológica dos materiais magnéticos é datada antes de nossa era com a invenção da bússola pelos chineses considerada a primeira aplicação tecnológica dos materiais magnéticos (REZENDE, 2000). A mais antiga ferramenta diretiva foi construída com uma pedra magnética natural esculpida e polida em forma de uma colher: o cabo da colher quando colocada ao chão apontava para o sul conforme a Figura 1.

Figura 1- Bussola chinesa



Fonte: JÚNIOR (2010, p. 198)

Assim, o caráter de diretividade em relação aos pólos geográficos terrestres das pedras magnéticas é conhecido há muito tempo. É importante notar que ferramentas diretivas magnéticas apontam para o sul, supondo que um polo magnético possa aproximadamente coincidir com o polo norte geográfico² (GIGNOUX *et al.*, 2000). A invenção desse instrumento contribuiu para os deslocamentos terrestres e marítimos dos povos, principalmente os da Ásia e da Europa contribuindo para importantes mudanças socioeconômicas e geopolíticas. Também serviu para aguçar a curiosidade dos cientistas (REZENDE, 2000).

As propriedades da chamada pedra magnética, que é um minério de ferro, foram relatadas na era antiga pelos gregos, sendo chamado de magnetita, pois fora encontrado na Magnésia, região da Ásia Menor. Era natural que suas propriedades intrigassem por séculos vários estudiosos de áreas distintas do conhecimento por sua propriedade de atrair e repelir pedaços de ferro e de se orientar na Terra. Passando-se séculos, no ano de 1269, foi publicado

² Por muito tempo se pensou que o norte geográfico e o norte magnético eram um só. Em 1831, o explorador inglês James Ross verificou que não eram iguais ao chegar ao Ártico e ver que a bússola apontava para o chão, o norte magnético (as linhas de força eram verticais e a única posição em que a agulha aquietava era na vertical). O norte geográfico resulta do movimento de rotação da Terra, enquanto o norte magnético é o resultado do campo magnético gerado pelo movimento do metal fundido do núcleo externo em torno do núcleo metálico sólido da Terra. Os dois nortes, portanto, expressam fenômenos geofísicos diferentes. Usando esse princípio os chineses inventaram a bússola e os europeus se lançaram às grandes navegações. Uma agulha imantada aponta sempre para o polo norte magnético e, de modo aproximado, para o norte geográfico (MOLINA, 2012).

o primeiro livro de física experimental que discorria sobre as propriedades dos magnetos, escrito em latim por Pierre Pélerin de Maricourt³ (REZENDE 2000).

Resende (2000) menciona que, mesmo com uma história milenar, somente nos últimos dois séculos foi que o estudo do magnetismo permitiu a descoberta de características importantes que possibilitaram grande avanço científico e tecnológico.

No século XIX, o magnetismo e o eletromagnetismo tiveram um papel fundamental para o desenvolvimento das sociedades. Em 1820 era enunciada a descoberta, por Oersted e Ampère, de que uma corrente elétrica gerava um campo magnético, lançando as sementes para a invenção do motor elétrico. Vinte anos depois, em 1840, Faraday e Henry descobriram o fenômeno da indução eletromagnética, que abriu caminho para a invenção do gerador elétrico. Com tais invenções, logo surgiram empresas de geração e distribuição de energia elétrica, que com a disseminação do seu uso provocou uma grande revolução na indústria e na sociedade da época. Presente na base dos funcionamentos dos relês empregados no telégrafo e dos fones e microfones usados na telefonia, outro grande marco possibilitado pelo magnetismo foi o advento das telecomunicações, ocorrido no final do século XIX e que tanto admirou Dom Pedro II (REZENDE 2000).

Maxwell, no ano 1873, publicou o livro *Treatise on Electricity and Magnetism*, que continha a sintetização das equações do eletromagnetismo. Nessa época já eram bem conhecidas as propriedades dos materiais magnéticos mais utilizados, como o ferro puro e suas ligas (REZENDE, 2000).

Em 1888 Oberlin Smith (1840-1926) propôs teoricamente a aplicação de materiais magnéticos em gravações magnéticas. Seis anos mais tarde, em 1894, o engenheiro dinamarquês Valdemar Poulsen criou o gravador magnético conhecido como Telegraphon⁴. O

³ Estudioso francês do século XIII que realizou experimentos sobre magnetismo e escreveu o primeiro tratado existente sobre as propriedades dos ímãs. Seu trabalho se destaca ainda pela primeira descrição detalhada de uma bússola.

⁴ Poulsen aplicou essa técnica a um fio de aço esticado no qual move um eletroímã conectado a um microfone de telefone e percebe que a reprodução do som gravado pode ser obtida substituindo o microfone por um fone de ouvido. O primeiro telégrafo usava um fio de aço como meio magnético. Este fio com espessura de 0,5 a 1 mm é enrolado em um carretel. Conforme o carretel gira, o fio passa por uma cabeça de gravação (carretel) que magnetiza o fio localmente. Para ler o som, uma cabeça de leitura (que pode ser igual à cabeça de gravação) transforma variações no campo magnético da fita em um sinal elétrico (SOUZA FILHO; GAZOLA; OLIVEIRA; ASTRATH, 2018).

principal componente deste tipo de gravador é a cabeça indutora, que tem a função de registrar informações sonoras (SOUZA FILHO; GAZOLA; OLIVEIRA; ASTRATH, 2018).

Pierre Curie, no final do século XIX, realizou medidas de magnetização em função da temperatura para variados materiais, determinando a conhecida curva na qual a magnetização diminui com o aumento da temperatura e vai para zero acima de uma temperatura crítica, que foi conhecida desde então como temperatura de Curie, T_c . Suas medidas, resultado de um trabalho monumental, estimularam outros físicos teóricos, como Paul Langevin (1872-1946), que em 1905 explicou o diamagnetismo e o paramagnetismo, e Pierre Weiss (1865-1940), personagem do qual trataremos em detalhes posteriormente, que em 1907 fez o primeiro modelo para um material ferromagnético (REZENDE, 2000).

Como em outras áreas da física, o magnetismo experimentou um grande avanço na Segunda Guerra Mundial (1939/1945). Desenvolveu-se o gravador de áudio com fita magnética no final da década de 1930 e início dos anos 1940. Outro desenvolvimento tecnológico importante da época foi a descoberta dos ferrites. Ao contrário das ligas metálicas, os ferrites são isolantes, podendo ser usados em altas frequências, pois não há perdas dissipativas, tais como correntes parasitas. Sua descoberta possibilitou o desenvolvimento de uma nova classe de dispositivos para faixas de frequências de microondas, o que levou ao desenvolvimento de tecnologias de monitoramento como os radares (REZENDE, 2000).

Já nos anos recentes, no artigo *Magnetismo na Terra Brasilis*, Rezende (2000, p. 3) menciona como a área do magnetismo começou a ser relevante para a formação técnica de estudantes, assim como sua inserção nas ciências físicas como uma área *per se*:

A partir da década de 1950, as propriedades dos materiais magnéticos passaram então a integrar os livros didáticos e os especializados da nova área da física que se formava, a Física do Estado Sólido. Ao mesmo tempo a pesquisa em magnetismo ganhou dimensão, surgiram revistas especializadas na área, encontros e conferências de magnetismo, e a área firmou-se como um importante ramo da física e da ciência.

A física da Matéria Condensada, antes conhecida como Física do Estado Sólido, investiga as propriedades físicas da matéria, é uma área de investigação básica que procura explicar as propriedades e fenômenos da matéria estruturada ou não, a partir de conceitos e

das equações fundamentais da mecânica quântica e física estatística. Além de estudos das propriedades elétricas, ópticas, magnéticas, mecânicas e térmicas, a Física da Matéria Condensada tem uma enorme aplicação na tecnologia moderna (SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA, 1987). Isso indica o porquê de o magnetismo ser atualmente um dos campos da Física da Matéria Condensada mais férteis, atraindo estudiosos de áreas teóricas e experimentais (REZENDE, 2000).

No Brasil, devido à falta de tradição de pesquisa científica no país que remonta ao Século XIX⁵, o magnetismo veio a surgir tardiamente com colaborações de físicos estrangeiros e de retorno de brasileiros que foram se especializar no exterior. O primeiro artigo científico do Brasil na área de pesquisa do magnetismo foi publicado em 1964 no *Physics Letters*. Um nome de destaque foi o de Afonso Gomes, que trabalhou com Adrian De Graff na Universidade de São Paulo (USP), estudando algumas propriedades importantes do elemento Cério (Ce), que tornou-se um importante elemento nos compostos de heavy fêrmions⁶. Após um tempo, Afonso Gomes foi para a França trabalhar com Jacques Friedel (1921-2014), voltou para o Brasil no final dos anos 60, criou a escola de magnetismo no CBPF (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) formando pessoas que se tornaram importantes pesquisadores. Uma dessas pessoas foi Amos Troper (1945), que durante algum tempo dirigiu o CBPF (REZENDE, 2000).

Com a implantação de grupos de pesquisa em magnetismo em algumas universidades o país se desenvolveu nessa área. Na USP, com ajuda de De Graff, juntamente com o laboratório de baixas temperaturas, a pesquisa em magnetismo frutificou na década de 70. Nei Oliveira e Carlos Becerra montaram o melhor laboratório do país em medidas magnéticas a baixas temperaturas. Eles estudaram as transições de fase e os fenômenos críticos em vários sistemas, beneficiados com a interação com Silvio Salinas (1942), que estudava o assunto teoricamente. Ainda na USP nos anos 70 e 80, Frank Missel criava um laboratório de preparação de materiais magnéticos importante tanto por sua tecnologia como por investigações de ligas amorfas, que mais tarde possibilitou o esclarecimento das origens da

⁵ Como relata o parecer de 1882, escrito por Rui Barbosa “O vício essencial dessa espécie de instrução, entre nós, está em ser, até hoje, quase exclusivamente literária”. Afirmando que o pouco de ciência que se ensinava baseava-se na repetição e decoração e não no desenvolvimento da capacidade de pensar e analisar.

⁶ Na física do estado sólido, os materiais pesados de fêrmion são um tipo específico de composto intermetálico, contendo elementos com elétrons 4f ou 5f em bandas de elétrons não preenchidas. Os elétrons são um tipo de fêrmion e, no caso de tais materiais, às vezes são chamados de elétrons pesados.

coercividade de ímãs de NdFeB, também chamado de ímã de neodímio-ferro-boro ou ímã de neodímio (REZENDE, 2000).

Nos anos 80 e 90, Cylon Gonçalves da Silva, pesquisador teórico na UNICAMP, liderou um dos mais importantes projetos da ciência brasileira daquela época: a concepção e construção de uma fonte de luz síncrotron, que deu origem ao laboratório nacional do país, o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), atualmente chamado de Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (REZENDE, 2000).

Na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Rezende (2000) informa que a pesquisa em magnetismo iniciou-se nos anos 70. Entre as contribuições importantes encontra-se o estudo de excitações magnéticas diversas, observações pioneiras de caos e controle do caos em instabilidades de ondas de spin, e mais recentemente, de excitações dinâmicas em filmes e multicamadas magnéticas. Com trabalhos em antiferromagnetos desordenados, em mecânica estatística de sistemas magnéticos complexos e a recente descoberta do magnetoimpedância, a UFPE foi projetada internacionalmente.

No outro extremo do Brasil, a pesquisa também começou nos anos 70. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) montou diversos laboratórios com técnicas de medidas de propriedades de transporte, térmicas e magnéticas, de efeito Mössbauer⁷ e de correlação angular, usados para caracterizar novas ligas intermediárias. Nos últimos anos, pesquisadores passaram a trabalhar na área de filmes finos e multicamadas magnéticas, em parte em razão do sucesso da participação de Mário Baibich na descoberta do efeito magnetorresistência gigante em 1989. Pesquisa que contribuiu para a outorga do prêmio Nobel de 2007 ao seu orientador Albert Fert e a Peter Grunberg (REZENDE, 2000).

Para além das instituições citadas, Rezende (2000) apresenta que vários grupos teóricos ou experimentais, de diferentes tamanhos foram sendo formados na década de 80 e 90 como a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Universidade de Brasília (UnB), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/RJ), Universidade de São

⁷ O efeito Mössbauer é um fenômeno descoberto pelo físico alemão Rudolf Mössbauer em 1957. Envolve emissão ressonante e sem recuo e absorção de fótons de radiação gama por átomos ligados em uma estrutura sólida e forma a base da espectroscopia Mössbauer.

Paulo campus São Carlos (USP/São Carlos), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Universidade Federal do Paraná (UFPR), além de instituições menores.

Dentro da Física de Matéria Condensada, a área de magnetismo foi e ainda é uma das mais tradicionais e ativas no Brasil.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO TÉCNICA DO MAGNETISMO

Tomamos como ponto de partida meados do Século XIX, quando os conhecimentos sobre magnetismo se limitavam a apresentações qualitativas dos experimentos de Michael Faraday (1791-1867) que faziam distinção entre o que era paramagnetismo, diamagnetismo e ferromagnetismo. Nessa época Pierre Weiss iniciou suas pesquisas, coletando importantes dados experimentais. Já em 1895 Pierre Curie (1859-1906) enunciou as leis quantitativas deduzidas de seus experimentos sobre as variações térmicas das propriedades magnéticas. (VOLTZ; PIERRON-BOHNES; CADEVILLE, 2017)

De um modo geral, a partir das leis quantitativas pode-se caracterizar os comportamentos diamagnéticos e paramagnéticos de um dado material. Sob a ação de um campo magnético H e um momento magnético M , denominado magnetização, observa-se experimentalmente para esses materiais uma relação linear entre a causa H e o efeito M , representada na fórmula

$$M=\chi H,$$

onde χ é a susceptibilidade magnética. Essa relação é usada até hoje para caracterizar as propriedades dos materiais magnéticos diamagnéticos e paramagnéticos, como explicado a seguir. (VOLTZ; PIERRON-BOHNES; CADEVILLE, 2017)

Segundo Halliday e Resnick (2016), autores da coleção fundamentos de física utilizados na graduação do curso de física e áreas afins, as propriedades magnéticas dos materiais podem ser definidas a partir de um modelo simples no qual cada elétron de um átomo possui um momento dipolar magnético orbital e um momento magnético de spin, que se combinam vetorialmente. Na rede cristalina os momentos magnéticos de um átomo, por sua vez, combinam vetorialmente com as resultantes dos momentos magnéticos de outros átomos em uma amostra de um dado material. Os resultados de todas essas combinações determinam propriedades magnéticas, que podem ser classificadas em três tipos básicos: diamagnetismo, paramagnetismo e ferromagnetismo. Vamos entender melhor cada uma.

A propriedade magnética denominada diamagnetismo está presente em todos os materiais, mas é muito fraca, devido aos seus dipolos elementares que não são permanentes.

Quando submetido a um campo magnético externo, o material diamagnético apresenta um momento dipolar magnético no sentido oposto desse campo. Quando o campo magnético externo não é uniforme, o material diamagnético é submetido a uma força que aponta da região em que o campo é mais intenso para a região do campo magnético menos intenso. Sua susceptibilidade magnética χ , que é a capacidade que os materiais têm de magnetizar-se quando estimulado por um campo magnetizante, será sempre negativa e independente da temperatura. Os materiais diamagnéticos na presença de um campo magnético não uniforme são submetidos a uma força que os afasta da região em que o campo magnético é mais intenso, sofrendo uma repulsão. (HALLIDAY; RESNICK, 2016)

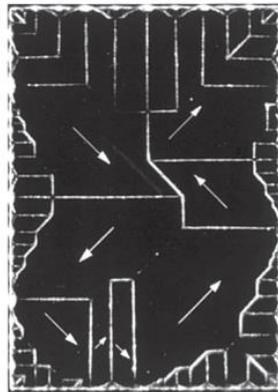
A propriedade magnética denominada paramagnetismo, por sua vez, é observada em átomos, moléculas ou defeitos na rede cristalina contendo um número ímpar de elétrons (por exemplo, sódio, óxido nítrico gasoso (NO) e radicais orgânicos livres), em elementos de transição, terras raras- compreende um grupo de 17 elementos químicos, correspondendo a escândio (Sc), ítrio (Y) e os 15 elementos lantanídeos (La-Lu) (SOUSA FILHO; GALAÇO; SERRA, 2019) - e actinídeos (por exemplo, Mn^{2+} , Gd^{3+} , U^{4+}) e em alguns metais (KITTEL, 1978). Os átomos desses elementos possuem momentos dipolares magnéticos diferentes de zero e seus momentos são orientados aleatoriamente, levando a um campo magnético resultante nulo. O campo magnético externo pode alinhar parcialmente os momentos dipolares magnéticos atômicos, dessa forma o material apresenta um campo magnético resultante no mesmo sentido que o campo externo, que desaparece quando é removido. Esse alinhamento dos dipolos magnéticos atômicos faz com que sua susceptibilidade magnética seja positiva e inversamente proporcional à temperatura absoluta, $\chi=C/T$ (Lei de Curie). (HALLIDAY; RESNICK, 2016)

Uma contribuição para a compreensão das propriedades ferromagnéticas dos materiais veio com Pierre Weiss, que explicou e justificou teoricamente importantes propriedades observadas experimentalmente. A propriedade magnética ferromagnetismo é observada somente em alguns elementos como o ferro, níquel, cobalto, gadolínio e disprósio, além de compostos e ligas desses elementos. Nesses materiais seus momentos magnéticos de spin de átomos vizinhos se alinham, fenômeno conhecido como acoplamento de troca, no qual os spins dos elétrons de um átomo interagem fortemente com os spins dos elétrons de átomos vizinhos, ocasionando regiões com fortes momentos magnéticos, observando-se o princípio de exclusão de Pauli. É esse alinhamento resultante que proporciona aos materiais

ferromagnéticos um magnetismo permanente. Nos materiais ferromagnéticos, quando sua temperatura ultrapassa da temperatura de Curie T_c , também conhecida como temperatura crítica, a agitação térmica prevalece sobre o acoplamento de troca e o material se torna, em primeira aproximação, paramagnético, descrito por $\chi=C/(T-T_c)$ (Lei de Curie-Weiss) (HALLIDAY; RESNICK, 2016)

Para melhor entender os domínios magnéticos⁸ há uma pergunta no Halliday e Resnick (2016): “Por que os objetos de ferro, como um prego, por exemplo, nem sempre se comportam como ímãs permanentes?” Para a resposta os autores consideram uma pequena amostra de um material ferromagnético, utilizando o ferro como exemplo. O material em seu estado normal vai apresentar vários domínios magnéticos, com regiões alinhadas dos dipolos atômicos praticamente perfeitas, mas acontece que os domínios não estão todos alinhados, na verdade, a orientação dos domínios pode levar ao cancelamento dos momentos magnéticos, como pode ser observado na figura 2⁹.

Figura 2: Domínios Magnéticos



Fonte: HALLIDAY e RESNICK (2016, p.751)

⁸ Quem propôs a importante teoria dos domínios magnéticos mencionada pelo Halliday foi o Pierre Weiss, personagem que será melhor explorado neste trabalho.

⁹ Micrografia da distribuição de domínios magnéticos em um monocristal de níquel; as linhas brancas mostram as paredes dos domínios. As setas brancas traçadas na fotografia mostram a orientação dos dipolos magnéticos dentro de cada domínio e, portanto, a orientação do dipolo magnético total de cada domínio. O cristal como um todo não apresenta magnetização espontânea se o dipolo magnético total da amostra (soma vetorial dos dipolos magnéticos de todos os domínios) for igual a zero. (HALLIDAY; RESNICK, 2016)

Quando se magnetiza uma amostra de um material ferromagnético, sujeitando-o a um campo magnético externo que aumenta gradualmente, ocorrem dois efeitos que, juntos, produzem uma curva, chamada curva de magnetização. O primeiro efeito, conhecido como deslocamento de parede de domínio, diz respeito ao aumento do tamanho de domínios que estão orientados paralelamente ao campo externo aplicado, enquanto os de outras orientações diminuem de tamanho. O segundo efeito, por sua vez, é uma rotação dos domínios no sentido de se alinharem na direção do campo externo. O que leva a dizer que um material ferromagnético submetido a um campo magnético externo adquire um grande momento magnético na direção do campo magnético externo. Se o campo não é uniforme, o material ferromagnético é atraído da região onde o campo magnético é menos intenso para a região onde o campo é mais intenso. (HALLIDAY; RESNICK, 2016)

Em 1907 Pierre Weiss publicou uma contribuição fundamental sobre a natureza do ferromagnetismo com a hipótese do campo molecular. Partindo do tratamento sobre paramagnetismo de Langevin, que dizia que devido a átomos dotados de um momento magnético permanente, a magnetização do material resultaria da orientação coletiva dos momentos atômicos, que tendem a se alinhar na direção do campo magnético, enquanto a agitação térmica tende a desorientá-los. Weiss generalizou o modelo de Langevin para o caso do ferromagnetismo levando em consideração a interação entre os momentos magnéticos individuais dos átomos que, em meios ferromagnéticos, não poderiam mais ser desprezados. Assim, além de seu campo externo, cada átomo está sob efeito do campo magnético de seu ambiente, o que Weiss denominou campo médio uniforme, que em primeira aproximação assumiu ser proporcional à magnetização, mais conhecido como hipótese do campo molecular. (VOLTZ; PIERRON-BOHNES; CADEVILLE, 2017)

Com essa hipótese adicionada à teoria de Langevin, Pierre Weiss conseguiu explicar algumas propriedades empíricas fundamentais do ferromagnetismo. Uma delas é a temperatura de Curie (T_c), nas temperaturas menores que T_c ($T < T_c$), na qual mesmo na falta de um campo externo, o material exhibe a magnetização espontânea que é produzida pela orientação cooperativa de momentos atômicos que estejam sob a ação do campo molecular (VOLTZ; PIERRON-BOHNES; CADEVILLE, 2017).

Novas descobertas em ciência respondem algumas perguntas, mas criam diversas outras. No caso de Pierre Weiss sua descoberta deixou alguns estudiosos da época

interessados em seu trabalho, (VOLTZ; PIERRON-BOHNES; CADEVILLE, 2017). Por exemplo, Gabriel Föex interessa-se particularmente nos limites da validade da lei de Curie e na sua influência entre os momentos magnéticos em soluções e cristais de sais de elementos em transição. Podemos citar também Robert Forrer (1866-1947) que colaborou no estudo de fenômenos magnetocalóricos e a descontinuidade de calores específicos na temperatura de Curie. Por outro lado, Neel explorando a validade do modelo de Weiss propôs o modelo do antiferromagnetismo e do superparamagnetismo, sendo agraciado pelo prêmio Nobel em 1970).

4 APRESENTAÇÃO DOS PERSONAGENS FUNDAMENTAIS DO NOSSO TRABALHO

Nos desenvolvimentos até aqui mencionamos nomes de diversos pesquisadores em magnetismo e nessa seção focaremos nas biografias dos dois personagens principais deste trabalho, Monsieur Pierre Weiss e o Sr. Costa Sena. Em outras seções iremos detalhar alguns aspectos biográficos de outros personagens relevantes ao nosso estudo.

4.1 Pierre Weiss

Figura 3: Pierre Weiss



Fonte: PIERRE-ERNEST WEISS. In: WIKIPÉDIA

Pierre Ernest Weiss nasceu em Mulhouse na Alsácia, França, em março de 1865. A região da Alsácia-Lorena historicamente foi muito disputada pela França e pela Alemanha. Em 1870 a Alsácia foi anexada à Alemanha e Weiss em sua maioridade optou pela nacionalidade francesa em vez da alemã. Weiss conduziu seus estudos secundários em Mulhouse e posteriormente formou-se no Instituto Federal Suíço de Tecnologia de Zurique

(ETH), onde obteve o diploma de engenheiro mecânico em 1887. Em 1888 Weiss ingressou na École Normale Supérieure (ENS) du Lycée Saint-Louis, em Paris, e após um tempo na ENS permaneceu lá como professor assistente, enquanto paralelamente obtinha sua licença em ciências físicas e matemáticas na Faculdade de Ciências de Paris. Durante seu tempo em Paris Weiss conheceu várias instituições nas quais se formaram matemáticos e físicos eminentes, como: Élie Cartan (1869-1951), Henri Lebesgue (1875- 1941), Émile Borel (1871-1956), Aimé Cotton (1869- 1951), Jean Perrin (1870-1942) e Paul Langevin (1872- 1946).

Em 1895 Weiss recebeu o título de Maître de Conférences (professor) da faculdade de Ciências da Universidade de Rennes, na França. Em 1896 ele defendeu sua tese de doutorado em ciências físicas cujo título foi *Recherches sur l'aimantation de la magnetite cristallisée et de quelques alliages de fer et d'antimoine*. Essa tese é de importância vital para estabelecermos as conexões científicas em nosso trabalho. Em sua tese de doutorado os seus supervisores foram o físico Jules Violle (1841-1923) e o físico e matemático Marcel Brillouin (1854-1948), já a banca foi composta pelo químico e mineralogista Charles Friedel (1832-1899), personagem importante no nosso trabalho, o físico Edmond Bouty (1846-1922) e o financista Henry Pellatt (1859-1939).

Em 1899 encontramos Weiss assumindo o cargo de professor na Universidade de Lyon, no entanto mais tarde ele aceita a proposta da ETH de Zurich, onde se torna professor de física e diretor do instituto de física em 1902. O ano de 1907 foi marcante para Weiss, pois naquela época ele publicou um importante trabalho sobre a natureza do ferromagnetismo, no qual apresentava o conceito de campo molecular, uma ideia precursora para a época. É também nesse momento em sua vida que ele conhece Albert Einstein e Peter Debye, também professor em Zurique. Durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), ele volta para França e junto com o físico francês Aimé Cotton (1869-1951) desenvolvem um sistema acústico para rastreamento de artilharia, conhecido como método Cotton-Weiss.

Em 1919, Estrasburgo passa a não fazer mais parte do Império Alemão e retorna à França. Após beneficiar-se de importantes investimentos alemães, Weiss participou dos esforços realizados para reintegrar a instituição ao sistema Francês. Raymond Poincaré, o então presidente francês e primo do famoso cientista Henri Poincaré, declarou que a universidade de Estrasburgo precisava superar a sua administração alemã anterior, e para tanto foram criadas muitas faculdades e institutos subordinados à Universidade de

Estrasburgo para promover a pesquisa. Nesse contexto, Weiss optou por tornar-se professor de física na Faculdade de Física da Universidade de Estrasburgo e diretor do Instituto de Física. Além disso, Weiss fundou em Estrasburgo um instituto voltado para a pesquisa do magnetismo. Com recursos recebidos do governo francês consegue reunir em Estrasburgo muitos de seus antigos colaboradores, tais como o físico Gabriel Foex (1887-1963), o arqueólogo Robert Forrer (1866-1947) e o físico Edmond Bauer (1880-1963). Em 1939, dadas às incertezas da Guerra iminente, Pierre Weiss segue seu amigo, o físico Jean Perrin (1870-1942), que juntos vão para a Universidade de Lyon, onde Weiss morre em 1940. Sobre seus alunos, ganham destaque o físico, explorador e inventor suíço Auguste Picard (1884-1962), o físico espanhol Blas Cabrera (1946) e Louis Néel (1904-2000). Néel, jovem associado da ENS, chegou ao laboratório de Weiss para preparar sua tese em 1928. Ele se tornou seu assistente em 1932 e sucedeu a Weiss em sua posição na cadeira de Física da Universidade de Estrasburgo em 1937. Em 1970 Néel é agraciado com o Prêmio Nobel de Física por seu trabalho sobre magnetismo.

4.2 Costa Sena

Figura 4: Costa Sena



Fonte: COLOMBAROLLI (2022)

Da Europa para o Brasil, nosso outro personagem é Joaquim Cândido da Costa Sena, nascido em 13 de agosto de 1852 na cidade de Conceição do Serro, atual Conceição do Mato Dentro em Minas Gerais. Em sua terra natal completou os estudos humanísticos no Colégio do Caraça, depois ingressou no ensino superior, iniciando seus estudos na Escola Politécnica

do Rio de Janeiro e concluindo os mesmos em Ouro Preto (MG), onde se graduou em engenharia de minas pela Escola de Minas de Ouro Preto em 1880. Nessa época, a Escola de Minas de Ouro Preto, sob administração de Gorceix, despontava como um centro de excelência na formação de engenheiros de Minas. O notório sucesso de Costa Sena em sua vida acadêmica o levou a ser aprovado em um concurso para o cargo de repetidor-preparador de mineralogia e geologia, além de se tornar professor interino a partir de 1885, atuando no ensino de Física e Química, e efetivando-se em 1890. Continuando sua trajetória acadêmica, em 1893 assumiu a cátedra de mineralogia e geologia, na qual permaneceu até ser nomeado diretor da Escola de Minas em 1900, cargo no qual permaneceu por 19 anos.

Durante sua vida, Costa Sena desenvolveu alguns trabalhos científicos importantes na área de mineralogia e geologia, como veremos, além de ser atuante na política na então província de Minas Gerais. Em 1895 ele foi designado delegado do governo de Minas para a Exposição de Minerais em Santiago no Chile. Por conta do evento organizou um mostruário e um catálogo descrevendo os recursos minerais do estado. Já em 1891, filiado ao Partido Republicano Mineiro, foi eleito senador estadual e em 1898 foi eleito vice-presidente de Minas junto com o então presidente Silviano Brandão (1848-1902). Assumiu inteiramente, durante cinco meses, a presidência de Minas em 1902 devido ao afastamento de Brandão.

Suas relações internacionais permitiram à Costa Sena ser membro efetivo da Sociedade de Mineralogia de Paris, da Sociedade Imperial de Mineralogia de São Petersburgo, da Sociedade Geológica de Paris, da Sociedade de Geologia de Berlim, da Sociedade Geológica da América e do Instituto de Engenheiros do Chile, recebendo várias honrarias nacionais e internacionais. Essas relações não se limitavam a relações científicas: em 1913, por exemplo, Costa Sena aparece como o organizador da mostra permanente de minerais nas dependências da representação do Ministério da agricultura, do comércio e da indústria em Paris. No que diz respeito a relações científicas, Costa Sena, por ser membro da Sociedade de Mineralogia de Paris, pôde estabelecer vínculos com membros franceses desta mesma Sociedade tais como Charles Friedel, já mencionado como membro da banca de defesa da tese de doutorado de Weiss. A natureza dessas relações científicas é analisada no nosso trabalho.

Costa Sena morreu em 1919 e sua atuação, tanto científica quanto administrativa, foi de grande relevância para o desenvolvimento e a história da Escola de Minas, e

consequentemente da Universidade Federal de Ouro Preto. Sua memória foi reverenciada quando, da inauguração do Campus do Morro do Cruzeiro e da construção do prédio do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas (ICEB), seu nome foi adotado pela ala administrativa do ICEB.

5 A ESCOLA DE MINAS DE OURO PRETO

Quase que como um quebra cabeça, estamos apresentando as peças do trabalho para juntá-las de modo a fazer um sentido. Para tanto, optamos por criar esse tópico sobre a Escola de Minas, pois essa instituição possui um papel importante para nossos personagens, suas relações científicas, a relação do Brasil com pesquisas exteriores e, mesmo que diante de muitas divergências como veremos, para o progresso científico no Brasil.

A criação da Escola de Minas, segundo Carvalho (2002), motivada pela tradição de áreas como a geologia e mineralogia no Brasil, tinha como objetivo o ensino da geologia e mineralogia, que poderiam contribuir para uma melhoria da economia regional, então em decadência.

O Iluminismo, introduzido por Pombal em Portugal na reforma da Universidade de Coimbra em 1772, cerca de um século antes da criação da Escola de Minas, lançou sementes no que viria a ser o ensino e a ciência no Brasil nos séculos seguintes. O Iluminismo caracterizou-se por uma maior ênfase em história natural como a botânica, mineralogia, química, física e matemática, em oposição ao ensino de cursos como direito e teologia pré-reforma pombalina. A reforma encontrou no Brasil um dedicado grupo de estudiosos, tais como José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838) preceptor de Dom Pedro II e Manuel Ferreira da Câmara Bitencourt (1762- 1835). Nessa época o principal objeto de estudo eram as riquezas naturais aqui contidas, como a fauna, a flora e estudos minerais. Esses estudos tinham por objetivo enviar relatórios a Portugal para subsidiar ações de exploração da colônia. Curiosamente o primeiro a enviar esse relatório foi o Marquês de Pombal (1699-1782), em busca de riquezas exploráveis (CARVALHO, 2002).

Nos primeiros anos do século XIX, no governo de D. Rodrigo de Souza Coutinho (1755-1812), observou-se um maior estímulo ao desenvolvimento científico, estimulado pelo iluminismo de D. Rodrigo, caracterizado pela fé no poder da ciência e pela preocupação pragmática de aplicar os conhecimentos científicos. Acredita-se que havia uma preocupação da elite portuguesa em integrar o Brasil na cultura ocidental. (CARVALHO, 2002).

Com a Independência do Brasil, em 1822, surgiu a preocupação imediata com novas políticas para o novo governo. José Bonifácio, um estudioso de diversas áreas e preceptor do futuro Imperador Pedro II, dedicou-se em tempo integral a construir o novo país, deixando de lado a pesquisa científica. A economia colonial, fortemente baseada na agricultura e na extração mineral, exigia para seu desenvolvimento a formação de mão de obra qualificada. Em particular, a partir de meados do século XIX a cultura cafeeira em Minas Gerais necessitava de uma formação técnica apropriada para seu desenvolvimento. Assim sendo, uma das formações técnicas exigida por essa nova economia era, por exemplo, a engenharia civil, pois necessitava de construtores de estrada de ferro e da engenharia de pontes e calçadas, antes serviços realizados pela Escola Militar. Em Minas Gerais havia estabelecimentos que não utilizavam técnicos brasileiros, mas sim, profissionais estrangeiros. A demanda tecnológica do Brasil em torno de 1870 pode ser resumida por essa economia primitiva. (CARVALHO, 2002)

Apesar da falta de motivação ideológica e uma demanda objetiva, iniciava-se um movimento no sentido da criação de uma escola técnica voltada para a formação de profissionais a serem empregados na exploração mineral em Minas Gerais. Em particular, os estudos geológicos realizados por Agassiz¹⁰(1807-1873) em 1865, então visitando o Brasil, despertaram o interesse pelas pesquisas geológicas, sobretudo por parte do imperador D. Pedro II, o entusiasta da ciência. Formou-se então, em 1870, uma comissão especial para o levantamento das riquezas minerais de Minas Gerais sob a coordenação de Frederick Hartt¹¹ (1840-1878), geólogo de Cornell, que esteve também na visita de Agassiz. Apesar da curta existência a comissão reuniu excelentes geólogos, quase todos estrangeiros, e que desenvolveram a maior parte da produção científica brasileira até o final do século, realizada sobretudo no Museu Nacional. (CARVALHO, 2002)

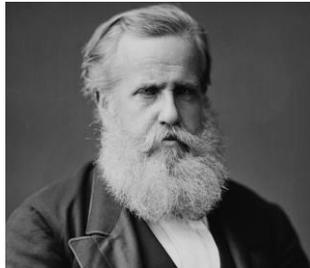
Em maio de 1871 e março de 1872, D. Pedro II (Figura 5) quando em viagem à Europa, entrou em contato com Auguste Daubrée, seu colega na Academia de Ciências de

¹⁰ Jean Louis Rodolphe Agassiz (M tier, 28 de maio de 1807 — Cambridge, 14 de dezembro de 1873) foi um zo logo, geólogo su o, notório por sua Expedi o Thayer.

¹¹ Charles Frederick Hartt (Fredericton, 23 de agosto de 1840 - Rio de Janeiro, 18 de março de 1878) foi um geólogo canadense-americano. Acompanhou Louis Agassiz, de quem foi aluno, em sua viagem ao Brasil. Durante esta expedi o, explorou o litoral brasileiro, entre a Bahia e o Rio de Janeiro, reunindo grande cole o zoológica e tornando-se autoridade em história natural da América do Sul. A partir de 1876 exerceu o cargo de chefe da Se o de Geologia do Museu Nacional do Rio de Janeiro, ao qual doou sua importantíssima cole o geológica

Paris e diretor da *École de Mines* parisiense. Surgiu então a ideia de a criação da Escola de Minas com o objetivo de melhor explorar as riquezas minerais do Brasil e, em contrapartida uma oportunidade de acesso privilegiado a essas riquezas, criando um canal de comunicação rico com o Brasil. Em visita ao Brasil por convite do Imperador, Daubrée sugere a criação de uma carta geológica de Minas Gerais e o ensino de geologia por professores brasileiros, treinados no exterior, ou estrangeiros. Doubrée sugere, dessa forma, que o Brasil ganharia maior aproveitamento de suas minas e que as ciências naturais receberiam forte impulso. (CARVALHO, 2002)

Figura 5: D. Pedro II



Fonte: PEDRO II DO BRASIL. In: WIKIPÉDIA

Recém nomeado a diretor da Escola de Minas em Paris, Daubrée se dispõe a achar alguém que pudesse se encarregar da criação e organização do ensino de mineralogia e da geologia no Brasil, indicando ao Imperador Claude Henri Gorceix, que firmou um contrato em Paris com o Império para exercer tal função.

Nascido em 19 de outubro de 1842 em Saint Denis des Murs, França, Gorceix (Figura 6) foi filho de pequenos proprietários rurais e ficou órfão do pai aos nove anos de idade. Com auxílio de uma bolsa do governo, ele frequentou o Liceu de Limoges e, ainda com uma bolsa, entrou para a Escola Normal Superior de Paris em 1863, na seção de ciências, licenciando-se em física e matemática em 1866. No ano seguinte, por indicação de seu professor, que também era professor da Escola de Minas de Paris e membro da Academia de Ciências, Gorceix foi nomeado *agregé-préparateur* de geologia e mineralogia na Escola Normal. Depois de dois anos, foi para a Escola Francesa de Atenas, onde eram anualmente enviados os melhores diplomados pela Escola Normal. Em 1874 voltou à França onde publicou várias memórias de seus estudos na Grécia. Nessa mesma época recebeu o convite para vir ao Brasil e o aceitou. (CARVALHO, 2002)

Figura 6: Henri Gorceix



Fonte: Fundação da Escola de Minas (2020)

Chegando ao Brasil em julho de 1874, Gorceix partiu para uma excursão ao Rio Grande do Sul, por motivos desconhecidos, com o então diretor do Museu Nacional, Ladislau Neto. Voltando ao Rio de Janeiro, começou seus trabalhos organizando um laboratório de mineralogia e geologia no Museu Imperial, contando com auxílio de um dos futuros professores da Escola de Minas, Archias Eurípedes da Rocha Medrado¹². Somente no fim de 1874 Gorceix foi enviado a Minas Gerais para escolher o local da instalação de uma futura escola de minas. Encantados, a imprensa francesa ficou impressionada com as riquezas e potencial da região de Ouro Preto e do Brasil em geral (CARVALHO, 2002).

Com a necessidade do controle do Estado sobre as riquezas minerais e da importância do desenvolvimento da mineração e da metalurgia, Gorceix delineou os objetivos básicos da instituição a ser criada. De modo geral, no que se refere à administração, indicava a necessidade de administradores profissionais para a exploração das minas e empresas, assim como melhorias na fiscalização dos trabalhos de mineração.

Inaugurada em 1876, a Escola de Minas viveu nos seus primeiros vinte anos um período tumultuado: a iniciativa era atacada por todos os lados, cogitando-se, não raras vezes, a extinção da Escola. Idealizada por Gorceix para ser uma escola técnica de excelência voltada para a formação de profissionais nas áreas de mineralogia e geologia, a Escola de Minas, e em particular Gorceix, tiveram que lutar constantemente para manterem-se fiéis ao espírito original. Embora com alguns arranhões e com algumas concessões, conseguiu

¹² Foi o segundo diretor da Escola de Minas de Ouro Preto, seu mandato foi de outubro de 1891 até agosto de 1900, logo após Costa Sena assumiu esse cargo.

Gorceix mantê-la viva, com o apoio de Pedro II, e mais tarde com o apoio da província de Minas Gerais.

Figura 7: Escola de Minas



Fonte: MACHADO (2021)

As dificuldades na administração da Escola de Minas deveram-se, sobretudo, à baixa quantidade de alunos, pois eram poucos os alunos aprovados no exigente concurso de admissão, fato que se devia à falta de preparação dos alunos, dada a situação do ensino preparatório no país, como veremos adiante. Além da incerteza de sobrevivência da Escola, dificuldades de colocação profissional após formados e o isolamento de Ouro Preto, afastavam alunos e professores. (CARVALHO, 2002)

Do ponto de vista científico, a criação da Escola de Minas não era vista como uma prioridade, dado o tradicional desprezo pelo conhecimento científico, conforme menciona com pesar Carvalho (apud Derby, 2002, p. 57), “O que passava por ciência no Brasil era caracterizado por quase total ausência de investigação”. As dificuldades do ensino preparatório tinham raízes em velhos hábitos difíceis de eliminar, tais como a rigidez administrativa, excessiva centralização e dificuldade em renovar o pessoal docente. A ausência da educação científica iniciava-se nas escolas primárias e secundárias, e perdurava até o ensino superior. Formado em instituições de forte tradição científica e educacional Gorceix sabiamente percebeu essas deficiências: a introdução do livro de Carvalho (2002, p.57) cita Gorceix textualmente: “Receio que o ensino secundário será por muito tempo o escolho de naufrágio do ensino superior no Brasil”. Nessa mesma linha, depoimentos da época destacam a insuficiência numérica e ausência de ensino científico na educação secundária brasileira, fato comprovado por Rui Barbosa em 1882, que diz: “O vício essencial dessa espécie de instrução, entre nós, está em ser, até hoje, quase exclusivamente literária.” Carvalho (apud Barbosa, 2002, p.59). Com essa fala de Rui Barbosa é possível inferir que a

pouca ciência ensinada se baseava na decoração e repetição, e não com o objetivo de estimular o pensamento e a análise. Mesmo com a constatação da precariedade do ensino, havia ainda no país uma corrente reacionária, contrária ao aumento dos investimentos nessa área, e mesmo a sua melhoria, e que se opunha à continuidade da Escola de Minas. (CARVALHO, 2002)

É importante pontuar que a dificuldade de introdução da educação científica não foi problema só do Brasil, como destaca Carvalho (2002). Mesmo em países com grande tradição universitária como a Inglaterra, França e os Estados Unidos, registraram-se episódios de resistência à adoção de ensino puramente científico, ainda que raros. Por exemplo, a abordagem do ensino científico só se estabeleceu definitivamente nos Estados Unidos com a criação do Massachusetts Institute of Technology -MIT¹³- em 1865, dez anos antes da criação da Escola de Minas. Um fator determinante na diferença entre o ensino técnico no Brasil e nos Estados Unidos é que nesse último houve um apoio decisivo de indústrias que perceberam a necessidade de mão de obra especializada e o valor do desenvolvimento de novas tecnologias. No Brasil essa demanda socioeconômica não existia, fazendo com que a promoção da ciência fosse legada exclusivamente a ações do governo. (CARVALHO, 2002)

Um outro ponto de resistência encontrado pela administração da Escola de Minas foi a colocação profissional de seus ex-alunos. Segundo Gorceix, eram três as fontes de emprego para os engenheiros de minas: indústria privada, escolas superiores ou as comissões científicas do governo, Carvalho (2002, p.67). Com as dificuldades de colocação profissional de seus ex-alunos, Gorceix modificou o plano original, percebendo a necessidade de acrescentar um ano ao curso para introduzir as cadeiras de caminhos de ferro e construção de pontes e canais. Essa mudança não foi para melhorar a formação dos engenheiros de minas, mas sim abrir outros mercados de trabalho.

Após a proclamação da República em 1889 as mudanças ocorridas geraram conflitos entre professores republicanos e aqueles com tendências monarquistas, que culminou com desconfianças em relação à Gorceix, dada a sua conhecida amizade com o Imperador deposto. Sem condições de exercer suas funções como diretor da Escola de Minas e desgostoso com relação à desvirtuação de seu projeto original no que se refere à Escola, Gorceix pede

¹³ Atualmente, somente o MIT conta em seu quadro de pesquisadores mais de 80 agraciados com o Nobel, enquanto o Brasil não tem nenhum.

demissão em 1891. Contribuíram para sua demissão manobras políticas internas e externas à Escola de professores e alunos. Em 1896 Gorceix voltou para a França tendo retornado ao Brasil, mas não à Escola de Minas. (CARVALHO, 2002)

A ideia fundamental de Gorceix com relação à Escola de Minas foi criar um instituto de excelência na formação de mão de obra qualificada para as áreas de mineralogia e geologia. Esse tipo de estratégia resultava eminentemente na formação técnica de profissionais, em contraste com uma formação acadêmica voltada para a pesquisa, subproduto do trabalho de Gorceix na Escola de Minas. Essa linha de trabalho de Gorceix, entretanto, não coibiu o desenvolvimento de pesquisas científicas tanto na área de mineralogia quanto na área de geologia. São bastante interessantes as correspondências entre D. Pedro II e Gorceix no ano de 1882 quando tratam, por exemplo, de pesquisas paleontológicas:

Na França não se conhece a obra desse naturalista pelo que diz Archiac (Esteban Julio Adolfo, Visconde de Archiac) na História dos progressos da geologia, Liais (Emmanuel Liais) na Geologia, fauna. e flora do Brasil e Pictet (Raoul Pierre Pictet) no Tratado de paleontologia. Eu não creio que exista no Brasil uma coleção dos Comptes Rendus de l'Académie Royale des Sciences de Copenhague nem o Bulletin de la Société des Antiquités du Nord. Seria absolutamente necessário, para conhecer tudo que Lund escreveu sobre o Brasil, poder compilar estas coletâneas. Eu farei o meu melhor para isto suprir, mas é lamentável que Lund não houvesse dedicado alguns anos para reunir numa só obra suas memórias sobre a fauna dos mamíferos do Brasil antes da última revolução do globo. (GORCEIX, 2010)

Esses documentos mostram o entusiasmo do Imperador e de Gorceix em relação à ciência, entusiasmo esse que não foi suficiente para manter viva a ideia original de Gorceix. Apesar dos pesares, dos constantes ataques à ideologia de Gorceix, do desprezo intrínseco das sociedades acadêmicas de então ao desenvolvimento científico, entre 1876 e 1930, a produção brasileira nas áreas de mineralogia e geologia foi quase toda oriunda de ex-alunos da Escola de Minas de Ouro Preto. Sobre o contexto científico no Brasil nessa época a observação de Derby é bastante significativa:

No momento, o Museu e o Observatório Nacional no Rio e a Escola de Minas em Ouro Preto são os principais centros de atividade científica. A última, sendo um estabelecimento comparativamente novo, distante das tendências centralizadoras da capital, organizado segundo modelos europeus, e controlado por

um corpo de competentes especialistas franceses, escapou de muitos dos vícios de organização das instituições mais antigas. CARVALHO (apud Derby, 2002, p. 112)

Depois da saída de Gorceix, as dificuldades em atrair e manter os melhores alunos resultou em grande desestímulo aos professores, definhando assim aos pouco o ensino. De todos os alunos formados pela Escola de Minas nos tempos de Gorceix, Costa Sena foi o que mais se assemelhava ao mestre no respeito e valorização do ensino e da formação acadêmica. Apesar do empenho de Costa Sena em manter o legado de Gorceix, algo se perdeu da orientação inicial de seu mestre no que se refere ao papel da pesquisa, ainda que a pesquisa não tenha sido o objetivo principal do professor francês¹⁴ no que se refere à Escola de Minas: lembramos que a filosofia inicial de Gorceix era a criação de uma instituição técnica de excelência nas áreas de mineralogia e geologia. Ademais, pesados encargos didáticos do quadro docente, assim como trabalhos administrativos deixavam pouco tempo para as pesquisas. Segundo Carvalho (2002, p. 116) o ensino foi se tornando quase absoluto, afetando a pesquisa e, naturalmente, o próprio ensino. Depois de Costa Sena, poucos nomes se sobressaíram na área da pesquisa científica até o ano de 1931, notadamente nos trabalhos da área de mineralogia.

Uma consequência improvável da criação da Escola de Minas foi o surgimento da Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. No final da década de 1960, a situação da Escola de Minas criava um imbróglho jurídico: institutos técnicos, como era a Escola na época, deveriam estar ligados a uma universidade federal. Envoltos em um cenário de desânimo, a Escola de Minas vislumbrava duas opções não muito auspiciosas: ser incorporada à Universidade Federal de Minas Gerais ou à Universidade Federal de Viçosa. Ambas as opções tirariam muito da identidade da Escola de Minas. Dado esse cenário a congregação aprovou uma proposta de criação da Universidade Federal de Ouro Preto, a partir de 1969.

¹⁴ As trocas de cartas entre Gorceix e D. Pedro II sobre paleontologia, esclarece o objetivo principal de Gorceix quando cita Peter Lund. As pesquisas de Lund não tinham por objetivo nenhum fim econômico. Eram puramente acadêmicas. Já as pesquisas mineralógicas/geológicas de Gorceix, Sena e outros tinham como principal objetivo a melhoria da exploração mineral. Penso que é nesse sentido que a ideia original de Gorceix era mais técnica que acadêmica.

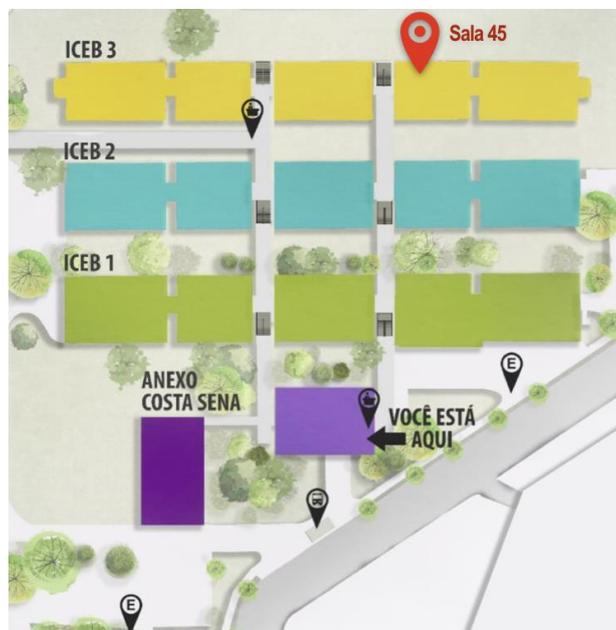
(CARVALHO, 2002). Em 1982 era inaugurado no Campus do Morro do Cruzeiro (figura 6) o prédio do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, que congrega vários cursos da Universidade e que homenageia o antigo diretor da Escola de Minas, professor Costa Sena em um anexo administrativo que leva seu nome (figura 7), o que homenageia indiretamente o espírito científico de Henri Gorceix¹⁵.

Figura 8: UFOP Morro do Cruzeiro



Fonte: Scientific Figure on ResearchGate (2016)

Figura 9: Anexo Costa Sena



Fonte: (TOFFOLO, 2022)

¹⁵ Infelizmente uma placa em homenagem ao Costa Sena, fixada na ala administrativa do ICEB, extraviou-se em uma reforma recente do prédio do instituto.

6 RELAÇÃO CIENTÍFICA

Nessa seção, procuraremos estabelecer parâmetros e definições para identificar a possível relação científica entre Pierre Weiss e Costa Sena.

A ciência é predominantemente uma elaboração social, na medida em que na construção do conhecimento científico concorrem invariavelmente relações entre os seus diversos atores. Saber qualificar adequadamente essas relações é importante na análise do desenvolvimento de trabalhos científicos. Assim, entender como se processa o fluxo de informações entre os diversos atores científicos e como essa troca leva a novas descobertas significa entender o que chamamos de uma relação científica. Como um dos objetivos do presente trabalho é entender o que se passou cientificamente entre o antigo diretor da Escola de Minas Costa Sena e o pesquisador Pierre Weiss, é importante darmos uma definição precisa do termo relação científica.

Vamos definir relação científica como um fluxo de informações que pode ser classificado em duas categorias: interação científica ou colaboração científica. Para efeito do nosso trabalho vamos utilizar o termo interação científica quando esse fluxo de informações for unidirecional, enquanto a colaboração científica ocorre quando há uma troca de informações. Alguns exemplos poderão esclarecer esses conceitos. Podemos dizer que há uma interação científica quando um cientista realiza um experimento: há um fluxo de informações do objeto observado para o cientista, fluxo esse unidirecional. Outro exemplo de interação científica ocorre quando se lê um artigo científico. Nesse caso a interação se dá entre o leitor e o autor do artigo, sendo que a informação vai unidirecionalmente do autor para o leitor. Já no que se refere à colaboração científica, essa ocorre, por exemplo, quando dois ou mais pesquisadores trabalham em um mesmo tema com o objetivo comum de produzir um novo conhecimento. Essa última relação científica não seria possível sem uma troca de informações.

Resumidamente, o que define uma relação científica é o fluxo de informações: se unidirecional, trata-se de uma interação científica, e se multidirecional trata-se de uma

colaboração científica. Com essas definições em mente, passaremos a analisar a relação científica Costa Sena-Weiss com auxílio de uma linha de tempo.

7 LINHA DO TEMPO

A construção de uma linha de tempo para este trabalho foi pensada de modo a organizarmos os materiais que tínhamos a respeito do Costa Sena e Pierre Weiss, em busca de encontrarmos uma relação científica entre os dois. Para isso, delimitamos o período para aquele já mencionado no início do trabalho que são as últimas décadas do Século XIX e primeiras décadas do Século XX. Para servir de auxílio em nossa análise selecionamos os principais eventos e de forma cronológica dispomos os matérias como se segue para elucidarmos e tentarmos identificar a possível relação de nossos personagens principais¹⁶.

- A. 1822: Bonifácio de Andrade começou a trabalhar como preceptor do futuro imperador Dom Pedro II, desenvolvendo contatos científicos internacionais que mais tarde foram importantes para a criação da Escola de Minas de Ouro Preto.
- B. 1856: Charles Friedel foi nomeado curador da coleção mineralógica da École des Mines.
- C. 1871-1872: D. Pedro II procura Daubree para apresentar a ideia de criação da Escola de Minas no Brasil”1875: Inauguração da Escola de Minas em Ouro Preto, por Henri Gorceix.
- D. 1880: Costa Sena formou-se na Escola de Minas aos 28 anos onde graduou-se em Engenharia de Minas.
- E. 1882: Gorceix menciona Sena em carta a Pedro II em trabalhos de prospecção geológica.
- F. 1883/1885: Colaboração Charles Friedel/Curie na descoberta de materiais piroelétricos.
- G. 1884: - Costa Sena publica dois artigos
 - a) Note sur l'hydrargillite des environs d'Ouro-Preto, Bulletin de Minéralogie.
 - b) Note sur la scorodite des environs d'Ouro-Preto, Bulletin de Minéralogie.

¹⁶ Os eventos na linha de tempo referem-se àqueles para os quais conseguimos informação bibliográfica ou outras fontes de informação.

- H. 1885: Costa Sena se torna professor interino de física e química na Escola de Minas aos 33 anos.
- I. 1886: Interação Goircex/Friedel: diamantes. Gorceix aqui envia amostras de diamantes a Friedel (Jornal de 1886 *Le progrès de cote`d Or*).
- J. 1890: Costa Sena publica o artigo: *Sur un gisement de staurotite des environs d'Ouro-Preto*, *Bulletin de Minéralogie*.
- K. 1891: Gorceix pediu demissão da Escola de Minas.
- L. 1892: Artigo em que Charles Friedel cita Costa Sena. *Sur des cristaux de soufre contenus dans une pyrite épigène*, *Bulletin de la Société française de Minéralogie*.
- M. 1893: a) Costa Sena publica o artigo: *Note sur un gisement d'actinote aux environs d'Ouro-Proto, à Minas-Geraes (Brésil)*, *Bulletin de Minéralogie*.
 b) Costa Sena assume a cátedra de mineralogia e geologia na Escola de Minas aos 41 anos.
- N. 1894: Costa Sena publica o artigo: *Note sur un gisement d'actinote aux environs d'Ouro-Proto, à Minas-Geraes (Brésil)*, *Bulletin de Minéralogie*.
- O. 1896: Pierre Weiss defende a sua tese de doutorado *Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée et de quelques alliages de fer et d'antimoine* em ciências físicas, relacionada ao estudo da magnetização de magnetita cristalizada e algumas ligas de ferro e antimônio, em frente à Faculdade de Ciências da Universidade de Paris. Seus supervisores foram Jules Violle e Marcel Brillouin, e o júri da tese foi composto por Charles Friedel (presidente da banca), Edmond Bouty e Henry Pellatt.
- P. 1897: *Jornal Le Messager de Paris* cita Costa Sena como Senador, mas esse já era senador desde 1891. Em 1898 foi eleito vice-presidente de Minas, ao lado do presidente Silviano Brandão.
- Q. 1899: a) Pierre Weiss cita Costa Sena e Friedel em seu artigo: *Sur l'aimantation plane de la pyrrhotine*, Pierre Weiss, *J. Phys. Theor. Appl*.
 b) Exposição de Paris: Gorceix organiza mostra permanente dos minerais do Brasil com auxílio de Costa Sena
- R. 1900: Costa Sena assume a Diretoria da Escola de Minas aos 48 anos.

- S. 1905: Costa Sena publica o artigo: Breves considerações sobre a geologia e mineralogia nos arredores de Ouro Preto, Revista do Arquivo Mineiro.
- T. 1905: Weiss cita mineral de Morro Velho, mas não cita Costa Sena: Les propriétés magnétiques de la pyrrhotine, Pierre Weiss, J. Phys. Theor. Appl.
- U. 1910: Jornal Le Messenger de Paris cita Costa Sena como Diretor da Escola de Minas
- V. 1913: Jornal Le Figaro cita Costa Sena como Diretor da Escola de Minas e organizador de sala de amostras de minerais.
- W. 1992: Livro Crystal Maze capítulo seis, escrito por Keith, Stephen T.; Quédec, sobre magnetism and magnetic materials. Nesse livro os autores mencionam que Pierre Weiss comenta da importância de ter recebido cristais tão perfeitos enviado por Costa Sena do Brasil para que elaborasse a teoria dos domínios magnéticos em ferromagnetos.
- X. 2006: Artigo da revista Física na Escola: Minas Gerais e a História do Ferromagnetismo, artigo que levanta a discussão sobre a eventual importância subestimada de Costa Sena na história do magnetismo. Este trabalho em especial, foi o qual nos chamou atenção para os personagens principais de nosso trabalho, Costa Sena e Pierre Weiss, pois nele o autor menciona a seguinte passagem:

“Em 1898, Pierre Weiss apresentou suas pesquisas iniciais neste novo material¹⁷. As amostras foram extraídas de Morro Velho (MG) e cedidas por Joaquim Cândido da Costa Sena (1852-1919), professor interino de Física e Química e depois professor permanente de Mineralogia e Geologia da Escola de Minas de Ouro Preto, tendo sido diretor da Escola até sua morte” STUDART (2006)

Podemos observar em nossa linha de tempo que em diversos pontos aparecem menções ao Monsieur Charles Friedel (Figura 10).

¹⁷ Pirita magnética (sulfeto de ferro - Fe₇S₈).

Figura 10: Charles Friedel



Fonte: CHARLES FRIEDEL. In: WIKIPÉDIA

Sendo um personagem importante em nossa análise, pois é o elemento de ligação entre Costa Sena e Pierre Weiss, é interessante fornecer uma pequena biografia do mesmo. Nascido em Strasbourg em 1832, Friedel foi um dos mais importantes químicos na França na segunda metade do século XIX. Com uma carreira científica bastante variada, Friedel interessou-se por cristalografia em mineralogia, óptica, matemática, astronomia e física, mas sua formação em química o levou a dedicar-se mais profundamente à química pura e à química em mineralogia, contribuindo com importantes trabalhos nessas áreas. Suas relações científicas incluíram nomes de peso, tais como Louis Pasteur (1822-1895), Auguste Daubrée (1814-1896) e os Curie. Em 1856 Friedel assume a curadoria da coleção de mineralogia da Escola de Minas de Paris, posição que ocupou pelo resto de sua vida e em 1876 torna-se professor de mineralogia em Sorbonne onde organiza o laboratório de mineralogia. Paralelamente a suas pesquisas em mineralogia, Friedel interessou-se pelo fenômeno de piroeletricidade. Esse fenômeno observado em minerais aparentemente não tinha correlação com a simetria e a homogeneidade da rede cristalina. Em sua tese de doutorado, defendida em 1869, versava sobre o fenômeno de piroeletricidade em cristais. Essas investigações sobre piroeletricidade levaram Friedel a colaborar com Pierre Curie (1859-1906) e seu irmão Jacques Curie (1856-1946). Podemos então observar que Friedel transitava entre estudos de mineralogia e estudos físicos de estruturas de minerais. Em nossa linha de tempo podemos verificar uma relação científica entre Gorceix e Friedel (Item J), que conjecturamos ser uma colaboração científica dada a formação de ambos os personagens. Pouco tempo depois podemos verificar o registro

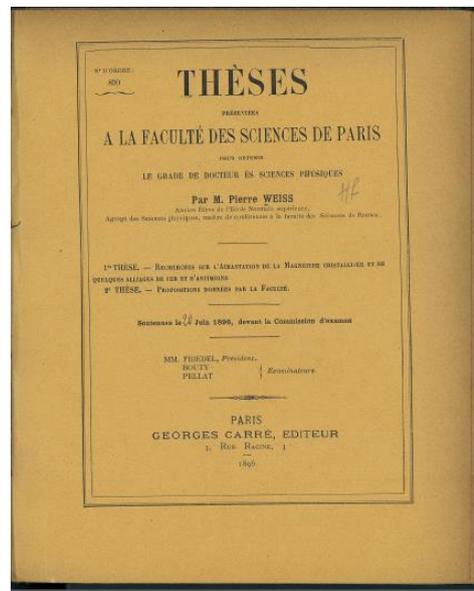
de uma relação científica entre Friedel e Costa Sena (Item M), que novamente conjecturamos ser uma colaboração científica, pois nessa ocasião Friedel cita nominalmente que Costa Sena o procurou mencionando amostras minerais do acervo da Escola de Minas de Ouro Preto. Nesse ponto é importante observar que Friedel e Costa Sena tratam de um mineral chamado Pirita Epigenética. Em seguida registramos que Pierre Weiss cita nominalmente Costa Sena (Item R), referindo-se ao mineral chamado Pirrotita, que Costa Sena forneceu à Charles Friedel a pedido de Pierre Weiss.

Antes de continuarmos, cabe aqui uma pequena explicação sobre minerais pertencentes ao chamado grupo de sulfetos mencionados por Costa Sena, Friedel e Weiss, a saber, a pirita epigenética mencionada no item M na nossa linha de tempo, e a pirrotita, mencionado na nossa linha de tempo nos itens R e U. Ambos os minerais são do mesmo grupo, os sulfetos. A diferença entre eles está na densidade (a pirrotita é mais leve) e na forma como ocorrem associados a certas rochas. A pirrotita apresenta propriedades magnéticas e a pirita não. Sendo assim a pirrotita é uma fase mineral muito utilizada como guia para achar depósitos minerais de interesse, também conhecido como minerais índice, pois ajuda “farejar” outros materiais de interesse. O termo epigenético refere-se a algo que foi desenvolvido depois da formação da rocha, ou seja, um mineral epigenético, como a pirita foi superimposto ao processo de formação da rocha da qual ela faz parte, e usualmente é chamada de mineral acessório. Portanto a rocha formada por um número de diferentes minerais tem a inclusão da pirita feita por algum processo metalogenético (por exemplo, por alteração hidrotermal). Resumindo, são dois minerais da mesma classe, mas com fórmulas químicas e propriedades físico-químicas diferentes.

Voltando à nossa linha de tempo, podemos observar no item M que Charles Friedel e Costa Sena se referem à pirita epigenética. Costa Sena informa a Charles Friedel a ocorrência não rara desse mineral na província de Minas Gerais. Pela menção de Friedel à Sena no artigo “Sur des cristaux de soufre contenus dans une pyrite épigène” podemos verificar que Costa Sena entrou em contato com Friedel e podemos conjecturar que a relação científica então estabelecida foi da natureza de uma colaboração científica. É interessante observar que esses pesquisadores referiam-se a um mineral que não tem propriedades magnéticas. No entanto, com o auxílio de nossa linha de tempo podemos observar que, poucos anos antes, Friedel colaborou com os Curies no estudo de campos elétricos em minerais (item G) da nossa linha de tempo. É natural especular que um pensador do calibre de Charles Friedel tenha se

interessado pelos fenômenos envolvendo outro campo de força fundamental do eletromagnetismo de então, o campo magnético, no contexto de sua área de expertise, a mineralogia. Podemos observar que, além da forte colaboração científica com os Curies (item F), há uma inegável colaboração científica entre Friedel e Weiss (item R) no âmbito da interface mineralogia- física. De fato, Charles Friedel foi o presidente da banca de defesa da tese de doutorado de Pierre Weiss¹⁸ (item P, letra a) figura 11.

Figura 11: Tese Pierre Weiss



Fonte: Université de Strasbourg - SCD Service Commun de la Documentation: BUSBP

Em seu artigo de 1899 Weiss cita nominalmente Friedel e Sena, mencionando que, a seu pedido, Friedel conseguiu de Costa Sena amostras particularmente boas de pirrotita (item

¹⁸ Os orientadores da banca do doutorado do Pierre Weiss foram Jules Violle e Marcel Brillouin e o júri da tese foi composto por Charles Friedel, Edmond Bouy e Henry Pellatt.

R, Xe Y), o que foi benéfico para suas pesquisas na teoria dos domínios como apresenta STUDART (2006).

“Os cristais foram obtidos por Charles Friedel, um químico e professor de mineralogia de Paris, que mantendo fortes laços com Marie Curie, Paul Langevin e Weiss, se dispôs a procurar amostras cristalinas em uma região rica em minérios como Minas Gerais. De importância fundamental para o desenvolvimento da área foi a escolha desses cristais por sua qualidade bem superior quando comparada com os de outros locais. Weiss trabalhou com amostras recebidas de New Jersey e de Bodenmais e descartou outras amostras da região do Tirol e da Noruega, mas segundo ele: Os melhores cristais para os estudos magnéticos vieram de Morro Velho no Brasil; em geral têm uma aparência perfeitamente homogênea por uma distância de vários centímetros. Eles não sofrem clivagem. Sua quebra concoidal tem o aspecto de um belo bronze fundido. ”

Podemos concluir então, que no período de 1892 a 1899 ocorreu presumivelmente uma colaboração científica entre Friedel e Costa Sena, este último fornecendo primeiras amostras de pirrotita que foram repassadas a Weiss. No entanto, as relações científicas que podemos registrar documentalmente entre Costa Sena, Friedel e Weiss permitem-nos afirmar que entre Friedel e Weiss houve uma colaboração na área de mineralogia e muito provavelmente uma colaboração na área de Física, embora não tenhamos nenhum registro de algum artigo científico de Weiss e Friedel. A razão pela qual conjecturamos haver uma colaboração científica entre ambos na área de Física deve-se ao fato de que as amostras de pirrotita, mineral com propriedades magnéticas foram, muito provavelmente fornecidas a Weiss por Friedel.

Já entre Friedel e Sena presumivelmente houve uma colaboração no âmbito da mineralogia. É razoável fazer essa conjectura, pois documentalmente podemos observar uma relação científica entre os dois pesquisadores que abrange, no mínimo, o período que vai de 1892 a 1899. Chegamos nesse ponto à questão fundamental em nosso trabalho, classificar a relação científica entre Pierre Weiss e Costa Sena. Pelos registros em nossa linha de tempo Weiss cita nominalmente Costa Sena em seu artigo de 1899 (item R), mencionando Costa Sena como fornecedor de amostras de pirrotita. Houve, portanto, uma relação científica entre esses dois pesquisadores, mas os registros não permitem concluir que houve uma colaboração científica entre Costa Sena e Weiss, havendo presumivelmente uma interação científica entre

esses dois pesquisadores. É interessante observar que Costa Sena não é mencionado no artigo de 1905 (item U) no qual Weiss simplesmente menciona a mina de Morro Velho como origem das amostras de pirrotita.

8 CONCLUSÃO

Na janela de tempo que trata nosso trabalho, últimas décadas do século XIX e as primeiras décadas do século XX, pudemos investigar o desenvolvimento das relações científicas entre a Escola de Minas, focando no papel do professor Costa Sena, e a escola francesa de magnetismo e cristalografia, focando nos trabalhos de Pierre Weiss e Friedel. A análise da linha de tempo desse período nos permite concluir que, documentalmente, houve uma relação científica entre Costa Sena e Pierre Weiss. Entretanto, a partir da nossa definição de colaboração científica, não podemos afirmar categoricamente ter havido entre esses dois pesquisadores uma colaboração na área de magnetismo, mas sim uma interação científica. O fato de não podermos estabelecer, segundo nossa definição de relação científica, uma colaboração científica entre esses dois pesquisadores em nada desmerece quaisquer dos personagens. De fato, ao analisarmos a situação da pesquisa científica no Brasil de então, infelizmente com a cultura científica ocupando um lugar secundário, percebe-se a resiliência e perseverança daqueles que desenvolveram a ciência no Brasil, tais como Dom Pedro II, Henri Gorceix e Costa Sena.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bull. Mater. Sci., Vol. 25, No. 6, November 2002, pp. 541–543.

CARVALHO, José Murilo de. **A Escola de Minas de Ouro Preto: o peso da glória**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002. 219 p.

CHARLES FRIEDEL. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Charles_Friedel&oldid=59861032>. Acesso em: 23 nov. 2020.

COLOMBAROLLI, Wagner. JOAQUIM CÂNDIDO DA COSTA SENA. Disponível em: <https://ihgmg.org.br/sme/conteudoinstitucional/menuesquerdo/SandBoxItemMenuPaginaConteudo.ew?idPaginaItemMenuConteudo=7631>. Acesso em: 19 fev. 2022.

COSTA-SENA J. da. Sur un gisement de staurotide des environs d'Ouro-Preto. In: Bulletin de la Société française de Minéralogie, volume 13, 6, 1890. pp. 189-192.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL E ROTEIRIZAÇÃO: PROPOSTA DE "CAMPUS-TOUR DO MORRO DO CRUZEIRO DA UFOP", OURO PRETO (MG) - Scientific Figure on ResearchGate. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-fotografia-aerea-do-Campus-Universitario-Morro-do-Cruzeiro-UFOP-Ouro_fig1_350850779 acesso em 21 fev. 2022.

FONTES: GOV. MG. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/governador/joaquim-candido-da-costa-senna>>. Acesso em: 17/10/2010; MONTEIRO, N. Dicionário.

FRIEDEL Charles. Sur des cristaux de soufre contenus dans une pyrite épigène. In: Bulletin de la Société française de Minéralogie, volume 15, 5-6, 1892. p. 123.

FUNDAÇÃO DA ESCOLA DE MINAS (Brasil) (org.). A Fundação da Escola de Minas: Prof. Gorceix e a Mineralogia. 2020. Disponível em: <https://mct.ufop.br/funda%C3%A7%C3%A3o-da-escola-de-minas-prof-gorceix-e-mineralogia>. Acesso em: 19 fev. 2022.

GIGNOUX, Michel *et al.* **Magnétisme I - Fondements**. França: Edp Sciences, 2000. 496 p.

GORCEIX, Henri. Cartas de Henri Gorceix a D. Pedro II. **História da Historiografia**, Ouro Preto, v. 1, n. 4, p. 374-388, maio 2010.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física**. 10. ed. Rio de Janeiro: Gen, 2016.

JÚNIOR, Osvaldo Pessoa. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientiae Studia**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 195-212, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-31662010000200003>.

KITTEL, Charles. **Introdução à Física do Estado Sólido** (Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1978).

MACHADO, Nivia. Biblioteca da UFOP recebe doação de livro raro publicado em 1833. Estado de Minas. Belo Horizonte, 12 out. 2021. p. 1-2. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/10/12/interna_gerais,1313206/biblioteca-da-ufop-recebe-doacao-de-livro-raro-publicado-em-1833.shtml. Acesso em: 25 jan. 2022.

NÉEL, Louls. Préface. In: GIGNOUX, Michael *et al.* **Magnétisme I - Fondements**. França: Edp Sciences, 2000. p. 11-12.

PEDRO II DO BRASIL. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2022. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Pedro_II_do_Brasil&oldid=63065557. Acesso em: 19 fev. 2022.

PESSOA JÚNIOR, Osvaldo. Modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientiae Studia**, [S.L.], v. 8, n. 2, p. 195-212, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-31662010000200003>.

PIERRE-ERNEST WEISS. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2018. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Pierre-Ernest_Weiss&oldid=50970170. Acesso em: 30 jan. 2022.

PIERRE Weiss. Disponível em: https://stringfixer.com/pt/Pierre_Weiss. Acesso em: 08 dez. 2021.

PIERRE Weiss. Les propriétés magnétiques de la pyrrhotine. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1905, 4 (1), pp.469-508. [ff10.1051/jphysap:019050040046900ff](https://doi.org/10.1051/jphysap:019050040046900ff). [ffjpa-00241025ff](https://doi.org/10.1051/jphysap:019050040046900ff).

PIERRE Weiss. Sur l'aimantation plane de la pyrrhotine. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1899, 8 (1), pp.542-544. [ff10.1051/jphystap:018990080054200ff](https://doi.org/10.1051/jphystap:018990080054200ff). [ffjpa-00240403ff](https://doi.org/10.1051/jphystap:018990080054200ff).

PIERRE Weiss. Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1896, 5 (1), pp.435-453. [ff10.1051/jphystap:018960050043500ff](https://doi.org/10.1051/jphystap:018960050043500ff). [ffjpa-00239938ff](https://doi.org/10.1051/jphystap:018960050043500ff).

PIERRE Weiss. Les propriétés magnétiques de la pyrrhotine. *J. Phys. Theor. Appl.*, 1905, 4 (1), pp.469-508. [ff10.1051/jphystap:019050040046900ff](https://doi.org/10.1051/jphystap:019050040046900ff). [ffjpa-00241025ff](https://doi.org/10.1051/jphystap:019050040046900ff).

PIMENTEL, Jorge Roberto. Minas Gerais e a História do Ferromagnetismo. *Notas da História da Física no Brasil*, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 33-34, jul. 2006.

REZENDE, Sergio Machado. Magnetismo na Terra Brasilis. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Pernambuco, v. 22, n. 3, p. 293-298, set. 2000.

SANTOS, Paulo Coelho Mesquita. O Brasil nas Exposições Universais (1862 a 1911): mineração, negócio e publicações. 2009. 276 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino e História de Ciências da Terra., Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

SENA, Joaquim Cândido da Costa. Breves considerações sobre a geologia e mineralogia dos arredores de Ouro Preto. *Revista do Arquivo Público Mineiro*, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 29-36, jun. 1911.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA (São Paulo) (org.). **A física no Brasil**. São Paulo: Usp, 1987. 284 p. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/Livros-e-Estudos/A-Fisica-no-Brasil.pdf. Acesso em: 30 ago. 2021.

SOUZA FILHO, Nilson Evilásio de; GAZOLA, João Paulo; OLIVEIRA, Artur Harres de; ASTRATH, Nelson Guilherme Castelli. Princípios de gravação magnética e registro de som em fios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 1-8, 25 out. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2018-0165>

SOUSA FILHO, Paulo; GALAÇO, Ayla; SERRA, Osvaldo. TERRAS RARAS: tabela periódica, descobrimento, exploração no Brasil e aplicações. **Química Nova**, [S.L.], v. 42, n. 10, p. 1208-1224, nov. 2019. Sociedade Brasileira de Química (SBQ).

<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170438>. Disponível em:

http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=6995. Acesso em: 05 ago. 2021.

STUDART, Nelson. Minas Gerais e a História do Ferromagnetismo. **Física na Escola**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 33-34, jan. 2006.

TOFFOLO, Túlio. **Mapa do ICEB / Localização**. Disponível em:

<http://www3.decom.ufop.br/toffolo/pt-br/contato/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

VAIANO, Bruno. **Dom Pedro II, o Nerd**. Disponível em:

<https://super.abril.com.br/especiais/dom-pedro-ii-o-nerd/>. Acesso em: 24 mar. 2022.

VOLTZ, René; PIERRON-BOHNES, Véronique; CADEVILLE, Marie-Claire. Pierre Weiss. *La France Retrouvée*, França, v. 1, n. 12, p. 91-95, mar. 2017. Disponível em: <https://jardin-sciences.unistra.fr/uploads/media/weiss1.pdf>. Acesso em: 02 ago. 2021.

WISNIAK, Jaime. Charles Friedel. *Educación Química*, México, v. 20, n. 4, p. 447-455, out. 2009. Disponível em: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/req/article/view/64407>. Acesso em: 09 dez. 2021.