

A EPISTEMOLOGIA GENÉTICA NO DESENVOLVIMENTO DA RELAÇÃO PERÍODO-LUMINOSIDADE DE HENRIETTA LEAVITT

 *Bárbara de Almeida Silvério*¹
 *Camila Maria Sitko*²
 *Alexandre Luiz Polizel*³

Resumo: A Epistemologia Genética avalia os processos de aprendizagem que toda pessoa passa ao apreender um novo conceito, a qual usualmente se associa ao desenvolvimento infantil, mas não se limita a este. Neste trabalho, como forma de exemplificar tal processo para além do desenvolvimento da criança, propõe-se apresentar um estudo de caso, sob a ótica da Epistemologia Genética de Piaget, acerca dos processos de aprendizagem pelos quais Henrietta Leavitt passou ao desenvolver a Relação Período-Luminosidade das estrelas variáveis cefeidas. Dessa forma, ao passo em que se trabalha o desenvolvimento de tal relação, evidencia-se também a participação de uma mulher na construção da Astronomia. Foi realizada uma pesquisa qualitativa de cunho exploratório, a partir das bases documentais-bibliográficas escritas pela astrônoma. Foram analisados dois trabalhos escritos por ela, partindo de dois movimentos: apresentação descritiva do caso da astrônoma e desenvolvimento da compreensão da Relação Período-Luminosidade (RPL) das estrelas variáveis cefeidas, seguido da apresentação de uma analítica hermenêutico-conceitual ancorada nos conceitos piagetianos. Com as análises realizadas, foi possível identificar as fases do conhecimento segundo Piaget, mostrando uma técnica possível de ser utilizada da Epistemologia Genética para além do desenvolvimento infantil.

Palavras-chave: Henrietta Leavitt; Epistemologia Genética; Relação Período-Luminosidade; Estrelas variáveis cefeidas.

LA EPISTEMOLOGÍA GENÉTICA EN EL DESARROLLO DE LA RELACIÓN PERÍODO-LUMINOSIDAD DE HENRIETTA LEAVITT

Resumen: La Epistemología Genética evalúa los procesos de aprendizaje por los que pasa toda persona al aprehender un nuevo concepto, que generalmente es asociada al desarrollo infantil, pero no limitado a él. Este trabajo, como una forma de ejemplificar tal proceso más allá del desarrollo del niño, se propone presentar un estudio de caso, desde la perspectiva de la Epistemología Genética de Piaget, sobre los procesos de aprendizaje por los que pasó Henrietta Leavitt al desarrollar la Relación Período-Luminosidad de las estrellas variables cefeidas. De esta forma, mientras se

¹ Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Bauru, Brasil. E-mail: barbaradealmeida.s@gmail.com.

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Brasil. E-mail: camilasitko@utfpr.edu.br.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), São Mateus, Brasil. E-mail: alexandre_polizel@hotmail.com.

trabaja en el desarrollo de tal relación, también se evidencia la participación de una mujer en la construcción de la Astronomía. Se realizó una investigación exploratoria cualitativa, a partir de bases documentales-bibliográficas redactadas por la astrónoma. Se analizaron dos obras escritas por ella, partiendo de dos movimientos: presentación descriptiva del caso de la astrónoma y desarrollo de la comprensión de la Relación Período-Luminosidad (RPL) de las estrellas variables cefeidas, seguida por la presentación de un análisis hermenéutico-conceptual anclado en los conceptos piagetianos. Con los análisis realizados se logró identificar las etapas del conocimiento según Piaget, mostrando una posible técnica a ser utilizada desde la Epistemología Genética más allá del desarrollo infantil.

Palabras clave: Henrietta Leavitt; Epistemología Genética; Relación Período-Luminosidad; Cefeidas estrellas variables.

THE GENETIC EPISTEMOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF THE HENRIETTA LEAVITT'S PERIOD-LUMINOSITY RELATION

Abstract: The Genetic Epistemology evaluates the learning processes that every person goes through when apprehending a new concept, which is usually associated with child development, but not limited to it. This paper, as a way to exemplify such a process beyond the child's development, proposes to present a case study, from the perspective of Piaget's Genetic Epistemology, about the learning processes that Henrietta Leavitt went through when developing the Period-Luminosity Relationship of Cepheid variable stars. In this way, while working on the development of such a relationship, the participation of a woman in the construction of Astronomy is also evident. A qualitative exploratory research was carried out, based on documentary-bibliographical bases written by the astronomer. Two works written by her were analysed, starting from two movements: descriptive presentation of the astronomer's case and development of the understanding of the Period-Luminosity Relationship (RPL, in Portuguese) of Cepheid variable stars, followed by the presentation of a hermeneutic-conceptual analysis anchored in Piagetian concepts. With the analyses carried out, it was possible to identify the stages of knowledge according to Piaget, showing a possible technique to be used from Genetic Epistemology beyond child development.

Keywords: Henrietta Leavitt; Genetic Epistemology; Period-luminosity Relation; Cepheid variables stars.

1 Introdução

O psicólogo suíço Jean Piaget (1896–1980) foi responsável por uma das maiores contribuições ao entendimento do desenvolvimento humano. Apesar de ser frequentemente associado apenas à psicologia infantil, sua Epistemologia Genética se baseia primordialmente na inteligência e na construção do conhecimento, buscando entender como indivíduos, sozinhos ou coletivamente, constroem o conhecimento

e por quais processos e etapas passam, de modo articulado, para realizar tais processos de aprendizagem⁴. Para Piaget, somente uma visão desenvolvimentista⁵ e que articula o conhecimento pode responder essas questões (Abreu, Oliveira, Carvalho, Martins, Gallo, & Reis, 2010). Assim, a base do pensamento e instrumental piagetiano remete-nos a um pensar epistemológico.

O termo *Epistemologia* é utilizado para identificar o que se chama de teoria do conhecimento, ou seja, um campo de saber que remete a reflexões acerca do saber, pensar, “intelectar” e conhecer, sendo que o sujeito pensador reflete tais questões a partir de uma elaboração científica da questão. Neste sentido, é característica marcante na teoria piagetiana o rigor do método científico, o que o torna possível de ser replicado e a utilização de linguagem lógico-matemática como meio de análise, além de conceber a inteligência como ação e adaptação ao meio (Caetano, 2010).

O intelectual suíço destaca que compreende como objetivo de sua elaboração epistemológica, a Epistemologia Genética, explicar a continuidade entre os processos biológicos, sociais e cognitivos, sem reduzir um ao outro, o que justifica e delimita sua especificidade: o termo *Genética*. A ideia de genética aqui vem nesse entrelaçar dos aspectos biopsicossociais, enquanto um termo que representa o conjunto de elementos que contribuem e permitem que algo seja feito (como ocorre na “genética”, onde o conjunto de linguagens, codificações, variáveis, meios, relações, expressões e processamentos tornam algo possível, que, aqui, no caso, seria o conhecimento). Piaget ainda destaca que colocar o conhecimento em questão requer pensá-lo em relação às inteligências e problemáticas (relacionais) que propiciam e tornam possível coordenar ações-pensamentos em consonância aos meios para um determinado fim, de maneira não imediata e sim retrospectiva; por isso o método genético (Piaget, 1974).

Assim, Piaget sugere que as relações biopsicossociais e as relações (consigo, com o meio e com os outros) levam a um processo de evolução natural-cognitiva⁶ na elaboração de conhecimento. Ele categoriza quatro estágios em que os sujeitos evoluem desde o desconhecimento do mundo até o desenvolvimento das capacidades de conhecer além dele, de fazer usos de inteligências desenvolvidas-elaboradas ao longo desses processos (Abreu et al., 2010).

Independentemente do estágio, para Piaget, a construção de conhecimento ocorre pela relação dialética entre sujeito e objeto⁷, por meio de “processos de assimilação, acomodação e equilíbrio, num desenvolvimento sintético mútuo e progressivo” (Abreu et al., 2010, p. 363). É importante ressaltar que tal perspectiva progressiva não se ancora em uma noção de linearidade, mas compreende a própria progressividade em seus termos dialéticos, complexos, ramificados e articulados. Destaca-se, também, que o equilíbrio real ocorre após sucessivas situações de equilíbrio, desequilíbrio e reequilíbrio, a fim de dominar o conhecimento que se constitui ao longo do processo. Querer conhecer um objeto é o que leva o

⁴ Considera-se aqui como processo de aprendizagem aquele pelo qual os sujeitos (e comunidades científicas) passam e tornam possível a percepção, elaboração, representação e difusão de conhecimentos. Processos que tocam os modos de perceber, compreender e desenvolver determinado conhecimento (Piaget, 1973).

⁵ Ressalta-se que Piaget não compreende o desenvolvimento como um processo linear, contínuo e em um sentido único, mas é compreendido como um processo de complexificação e extensão pelos usos de múltiplas inteligências na compreensão de um dado, fato e/ou experiência, elaborando assim conhecimento a partir das relações inteligência-complexidade (Piaget, 1978).

⁶ Compreenda-se a noção de natural-cognitivo não enquanto algo de uma “geração espontânea” ou “deterministicamente já traçada”, mas como uma condição emergente das relações que tornam possível uma elaboração de conhecimento a partir destas (Piaget, 1971).

⁷ É importante que o objeto seja compreendido como um objeto a ser conhecido, não limitando a uma dicotomia simplista sujeito-objeto (Piaget, 1980).

sujeito a executar os quatro estágios – ou seja, os traços afetivos e desejantes –, bem como as inteligências acionadas por meio de tais processos e as interações socioculturais propiciadas por estes (Piaget, 1970).

É assim que Piaget articula seu esquema teórico-prático, apresentando que a ação de um sujeito prostrado na interação com um objeto constrói formas e/ou estruturas de inteligência, o que permite a ele se adaptar melhor ao meio que o cerca, bem como elabora, a partir desta estrutura, as possibilidades de ver, ler e construir interações com a realidade.

Para ter uma base empírica de tal investigação, o mesmo pesquisa o desenvolvimento humano com o passar da idade, desde o nascimento à juventude, por entender esse período como o mais apropriado enquanto modelagem que permite demonstrar empiricamente sua teoria de Epistemologia Genética (Caetano, 2010). No entanto, o teórico deixa claro que ela não se ancora em idades específicas para que cada estágio ocorra, assim como não se limita a analisar um indivíduo isolado e sim sua relação de aprendizagem com o meio (Piaget, 1970; 1980).

Assim, ao pensar a Epistemologia Genética elaborada a partir das bases piagetianas, vemos nesta a potencialidade para pensar aspectos da História, Filosofia e Sociologia das Ciências. A exemplo, vemos essa potencialidade expressa nas análises acerca das Histórias das Ciências desenvolvidas por Bartelmebs (2014). A autora aponta para a Epistemologia Genética e situa-nos de que “o que interfere no desenvolvimento da ciência são os mecanismos de transição entre um conteúdo e outro, o que implica construções cognitivas diferentes em diferentes etapas” (p. 151). Tal aspecto remete a como as inteligências nas ciências encontram-se articuladas aos estágios pelos quais o próprio inteligir das ciências passa, e o elaborar saberes ao longo destes.

Nesse sentido, neste trabalho, analisamos um episódio histórico que envolve a construção de conhecimentos astronômicos, trazendo outro aspecto muito relevante para a compreensão de como a ciência de fato é construída: a presença/atuação de mulheres nesse meio, em detrimento de sua pouca representatividade nos livros e discursos científicos.

É comum de se pensar que a construção das Ciências é desprovida de qualquer tipo de preconceito ou desigualdade, ou seja, que ela é algo neutro. No entanto, ao se estudar sob o viés de alguma das epistemologias feministas (Haraway, 1989; Rossiter, 1993; Fox-Keller, 1995; Schiebinger, 2001), nota-se que ela é produzida sob o privilégio epistemológico de um dominante, que entrelaça saber e poder e propaga a ideia de produção científica não relacionada ao mundo social e político. No entanto, torna-se visível que as Ciências são pensadas para e por homens e, justamente, por esse motivo, são apresentados com maior relevância feitos alcançados por homens e se omite o que é feito por mulheres (Dorlin, 2009). Os estudos de gênero nas Ciências vêm denunciando que a falta de mulheres, além de excluí-las, prejudica o avanço das áreas (Oreskes, 2019).

Como forma de evidenciar as questões de gênero presentes nas Ciências, desde as décadas de 1970 e 1980, vêm sendo desenvolvidas algumas vertentes dos estudos de gênero, dentre elas a de “Mulheres nas Ciências”, que se foca na invisibilidade das mulheres na área, na documentação e no estudo de mulheres ignoradas pela Ciência tradicional ao longo da história e na análise da carreira de mulheres bem sucedidas nas Ciências tradicionais, que alcançaram sucesso, apesar das barreiras (Citeli, 2000).

Portanto, baseando-se na necessidade de se evidenciar o trabalho de mulheres na Astronomia, o que é parte fundamental da compreensão da construção do empreendimento científico, e também no reconhecer das bases reflexivas e analíticas propiciadas pela Epistemologia Genética e se apropriando desta para pensar aspectos da História, Filosofia e Sociologia das Ciências, o presente manuscrito, recorte de uma

dissertação de mestrado, tem por objetivo realizar um estudo de caso sobre os processos de aprendizagens pelos quais uma mulher, a astrônoma Henrietta Swan Leavitt (1868 – 1921), percorreu para desenvolver a Relação Período-Luminosidade das estrelas variáveis cefeidas.

2 Epistemologia Genética: Situando as bases

A proposta da Epistemologia Genética diz respeito a pensar como o conhecimento é elaborado e como é possível conhecer com ele. Jean Piaget (1970; 1980; 1973) apresenta diversos conceitos que refletem os próprios processos psicológico e epistemológico do aprender. Nesta seção, trataremos dos conceitos de estágios e suas delimitações, bem como das noções de assimilação, acomodação, equilíbrio do sistema mental, elaboração de esquema, aspecto figurativo do conhecimento, experiência física e experiência lógico-matemática, abstração simples e abstração refletidora. Esses conceitos nos permitirão pensar como o conhecimento se dá e como ele é elaborado em nível psicológico, ou seja, como ocorrem os processos de construção e elaboração de um novo conceito, ideia ou conhecimento, dado por meio das interações sociais com o ambiente, os outros e consigo mesmo.

Piaget criou o método clínico e com ele iniciou as investigações sobre desenvolvimento na infância e a construção da inteligência. O termo “genética” de sua epistemologia está relacionado à gênese – não apresentada em um sentido estrito do que é tomado para compreender a Biologia, mas considerando os conhecimentos biológicos como parte dos processos. Para o mesmo, o pensar a gênese nos convida a pensar as condições pelas quais algo se torna possível, ou seja, pensar um processo de estruturação para o conhecimento, o que leva Jean Piaget a situar que “toda estrutura tem uma gênese” e “toda gênese parte de uma estrutura e chega a outra estrutura” (Piaget, 1999, p.126). Isso significa que para compreender o desenvolvimento da apreensão de um conceito, é necessário analisá-lo em termos das condições que o tornam possível, ou seja, sua gênese.

Um dos pontos principais da Epistemologia Genética é reconhecer que o conhecimento é uma elaboração a partir dos processos de aprendizagem, mostrando que um sujeito passa de um conhecimento em que há uma compreensão em menor complexidade, para um conhecimento de nível maior (em termos de complexidade), além de conceber inteligência como algo ligado à ação e adaptação ao meio (meio aqui considerado enquanto físico, subjetivo e discursivo). Piaget também utiliza o termo “sujeito epistêmico” e afirma que estudar o conhecimento é conhecer não apenas o assunto, mas como ele se desenvolve na mente do sujeito (Correia, Anjos, & Velloso, 2015).

Desse modo, a estrutura principal da Epistemologia Genética é um olhar voltado à interação entre o sujeito e o objeto, sendo então considerada uma teoria do conhecimento. Sob tal perspectiva, os conhecimentos se constroem à medida que interagem com outros conhecimentos de nível mais elementar e não de maneira linear de um para outro (Bartelmebs, 2014).

A construção do conhecimento, neste sentido, encontra-se atrelada a que “[...] um fato [o saber] será sempre o produto de composição de uma parte fornecida pelos objetos e de uma outra construída pelo sujeito” (Piaget & García, 2011, p. 37). Isso significa que um fato não existe por si só, mas é construído pela interação, e, por isso, a produção dos fatos requer que os investigadores, ao longo das interações, elaborem um conjunto de esquemas e conceitos que as representem, na medida em que ocorrem. Ainda se destaca que o conhecimento do fato (do conhecido), dessa forma, exige adaptação daquele que o enfrenta, interferindo na construção lógica do pensamento e reconstruindo-o, ou seja, criando um nível de

conhecimento com maior nível de complexidade e investimento de inteligências em relação ao objeto (Bartelmebs, 2014).

Esse investimento e desenvolvimento de inteligências, que torna possível o conhecimento do objeto, é apresentado pela Epistemologia Genética, ao considerar o sujeito cognoscente como aquele que passa por várias etapas de desenvolvimento ao longo da vida (o que o faz desenvolver potenciais intelectivos), ao mesmo tempo em que faz com que o objeto a ser conhecido torne-se algo que passa por várias etapas interacionais. Isso permite elaborar, a partir de tais relações, esquemas lógicos de compreensão do mesmo.

Esse desenvolvimento resulta do equilíbrio entre assimilação e acomodação, elaborando um esquema mental equilibrado que dá possibilidades de outros olhares, pensares e ações frente ao mundo. Este esquema equilibrado gera uma mudança cognitivo-comportamental que confere outros modos de ser, estar e agir, ou seja, de adaptar-se a partir do conhecimento (de tal aspecto elabora-se o conceito de adaptação). Dessa forma, o sujeito assimila dados do exterior a um esquema mental já elaborado-equilibrado, de maneira recongnitiva, reprodutiva e generalizadora, adaptando as estruturas mentais já existentes, ou seja, acomodando o novo conhecimento (elaborando um novo esquema mental que comporte tal complexidade da relação com o objeto conhecido). Isso mostra que todo novo conhecimento é influenciado pelo já existente no indivíduo, que foi elaborado a partir de interações anteriores e equilibrado em um esquema mental que é tomado como referência em sua compreensão-interação frente ao mundo. Resumidamente, a assimilação ocorre quando um novo conhecimento é relacionado na estrutura mental que o sujeito possui. Da mesma forma, à medida que novos fatores são considerados, novos aspectos são incorporados (acomodados) pela estrutura cognitiva, calibrando-a em um novo esquema mental e possibilitando que a adaptação ocorra – fazendo com que o sujeito-esquema se modifique de algum modo, a fim de incorporar esse conhecimento (Abreu et al., 2010).

Evidencia-se que tais processos descritos por Jean Piaget (1970; 1973; 1980), refletindo sobre a relação entre o processo do conhecer com a estruturação da mente – de modo dinâmico pelos fluxos do sistema de equilíbrio, assimilação, acomodação, adaptação e esquematização –, tornando possível a elaboração de um esquema mental acerca do conhecido, dá indícios estruturais para compreender, também, a estruturação dos conceitos em uma dimensão dos conhecimentos históricos. Ou seja, considera-se que a equilíbrio dá possibilidade à esquematização para a compreensão, o uso e a elaboração dos conceitos dos quais lançamos mão para o conhecer.

A compreensão desses processos dá-se ao compreender que tal dinâmica pode ser entendida em uma relação com estágios. No procedimento de compreensão de tais “estágios”, Piaget os descreve em relação àquilo tratado enquanto estágios de desenvolvimento e inteligência de um indivíduo, ou seja, de modos de compreender o mundo – em relação com a dinâmica de desenvolvimento destes. Como já foi dito e é extensamente difundido, Piaget estudou crianças de diferentes idades para estabelecer esses estágios e, apesar de frequentemente estarem atrelados a faixas etárias, eles não se delimitam a isso; é possível limitar os mesmos estágios na compreensão do desenvolvimento de uma aprendizagem específica, ou, no caso específico deste trabalho, no desenvolvimento de um conceito científico. São eles aqui apresentados, primeiramente dessa forma, apenas como exemplificação.

Estágio 1: O desenvolvimento infantil se estende do nascimento até aproximadamente dois anos de idade. Neste estágio, o indivíduo apresenta uma inteligência sensório-motora. Seu aprendizado ocorre através de reflexo e observação, ao longo do qual atinge o equilíbrio biológico e cognitivo que constrói as primeiras noções de causalidade, tempo, espaço e linguagem.

Estágio 2: Denominado estágio pré-operatório, é onde o sujeito constitui uma estrutura operatória inicial. Em crianças, o equilíbrio é geralmente atingido por volta dos 4 ou 5 anos e nele permanecem até os 7 ou 8 anos. Neste estágio, apresenta-se a inteligência simbólica ou semiótica, sendo esta inteligência relacionada também a um estágio pré-operatório. Nela, o pensamento desenvolve sistemas de representação, estruturas, classificação e de conservação do ambiente que observa. Há neste estágio uma operação que se dá em ao menos dois vetores: a interlocução da inteligência articulando linguagens e símbolos, bem como o estabelecimento de relações no que toca às imagens e aos sentidos (Wardsworth, 1996). Compreende-se que algo apresentado inicialmente se conserva, apesar de alguma mudança; por exemplo, ao colocar água em uma forma e esta no congelador. Mesmo após a formação de gelo, sabe-se que na forma ainda existe a água e não outro material diferente.

Ressalta-se que a articulação do Estágio 2 com o Estágio 3 recorre ao prefixo “pré” em relação aos processos de operações concretas pela compreensão do estabelecimento de articulação entre o potencial de simbolizar e operar semióticas, no que tange às inteligências e estruturas das inteligências, enquanto uma condição necessária para a compreensão de processos estruturais e sistemas complexos. Todavia, compreende-se que as inteligências acionadas-efetuadas nos modos de simbolizar, representar e estabelecer semióticas distinguem-se dos processos de ordenação, estruturação e sistematização de pensamentos (Piaget, 2010) – o que coloca em questão o uso do prefixo enquanto modo de nomear tal estágio (Wardsworth, 1996).

Estágio 3: O estágio operatório concreto apresenta a capacidade da criança coordenar ações bem ordenadas, podendo fechar estruturas ou sistemas completos. O equilíbrio ocorre por volta dos 9 ou 10 anos de idade e nele a criança permanece por mais um a três anos. Neste estágio ocorre a transição de uma inteligência operatória concreta para operatória formal, sendo está o último tipo de inteligência que se atinge.

Estágio 4: O último estágio de desenvolvimento, que atinge o equilíbrio por volta dos 14 e 15 anos e durando a vida toda, leva o nome de operatório formal. Tal estágio representa o processo de elaboração de um esquema mental equilibrado que permite a compreensão do objeto a partir de um nível de abstração do conhecido, associado a uma linguagem lógico-matemática/aritmética. É nesse estágio que se torna possível uma compreensão dos fatores e operações relacionadas a um conhecimento, sua possibilidade de reversibilidade para compreensão em sua derivação e integração operatória.

Para o pensar epistemológico genético, essa elaboração-equilíbrio de um novo conceito/conhecimento se relaciona a três níveis de interação, que são os níveis intra-inter-trans. O nível intra define a assimilação inicial de um fato, ou seja, a equilíbrio e acomodação do objeto em si no esquema lógico. O nível inter se refere à mudança de atributos dos objetos dotados de propriedades absolutas para sistemas de relações. Nesse nível, apresenta-se a assimilação e incorporação recíproca entre sistemas e subsistemas no pensamento (Bartelmebs, 2014).

Por fim, há o nível trans. Segundo Piaget (1975, p. 16),

esta terceira forma de equilíbrio não se confunde com a segunda, pois acrescenta uma hierarquia às simples relações entre colaterais. Na verdade, uma totalidade é caracterizada por suas leis próprias de composição, constituindo um ciclo de operações interdependentes e de ordem superior aos caracteres particulares dos subsistemas.

Vê-se assim, que a passagem de um nível para outro ocorre pela necessidade endógena construída a partir da exógena inicial. Isso significa que a Epistemologia Genética, ao tratar da estruturação cognitiva

do conhecimento adquirido pela observação e interação com o ambiente, é não apenas biológica, mas também ambiental (Bartelmebs, 2014) e biopsicossocial (Piaget, 1970).

Esse desenvolvimento dos saberes-conceitos perpassa três etapas estruturantes que atravessam do contexto psicológico das ações até atingirem o caráter extemporâneo, estrutural e que reconstitui a gênese temporal nas ligações lógico-matemáticas depuradas. A primeira etapa se refere à função semiótica, ou seja, “a interiorização em imagens e a aquisição da linguagem [que] permitem ‘a condensação das ações sucessivas em representações simultâneas’” (Abreu et al., 2010, p. 364). Nessa etapa, ainda que inicial, já existe um quadro operativo de esquema pré-lógico a partir da percepção espaço-temporal ligado ao segundo estágio. A segunda etapa se refere já às operações concretas, apresentando antecipação e retroação coordenada a fim de entender a reversão necessária para refazer e conservar o ponto de partida para o conhecimento, mas ainda preso a objetos concretos em si. Por fim, na terceira etapa, a pessoa supera o real e seu conhecimento não necessita da mediação de algo concreto para se relacionar ao necessário (Abreu et al., 2010).

Fica evidente, neste sentido, que a Epistemologia Genética explica a elaboração de conhecimento pelo ser humano e quais são seus processos naturais-cognitivos, de modo prático e teoricamente detalhado. O que se torna compreendido, neste sentido, é que “a ênfase está, portanto, na construção, ou melhor, na reconstrução dos caminhos pelos quais o indivíduo evoluiu de um estado inicial pré-linguístico até um determinado estado atual, onde é amplamente capaz de um formalismo linguístico” (Abreu et al., 2010, p. 364).

Vale ressaltar que Piaget (1975) propõe que a assimilação de conteúdo e sua esquematização é dada por meio de esquemas objetivos, que se estruturam extemporaneamente com o passar do desenvolvimento natural-cognitivo da pessoa, o que provoca mutuamente continuidade e ruptura a fim de reconhecer a lógica-matemática⁸ da própria assimilação de conteúdo. Isso ocorre por meio de três tipos de processos:

Assimilação generalizadora: Ocorre quando esquemas estruturantes se modificam para assimilar novos objetos da realidade, generalizando-o e tendendo à formalização.

Assimilação reconhecedora (discriminante): Ocorre com a capacidade do esquema de buscar um (ou mais) objeto específico, partindo de uma determinada característica.

Assimilação recíproca: Ocorre com a fusão de dois ou mais esquemas generalizados de maneira hierárquica. Para Piaget, “só nos aproximamos da estrutura das coisas por aproximações sucessivas, nunca definitivas” (p. 365).

Existe ainda uma camada do processo que se direciona às expectativas sociais do processo de conhecimento. Aqui se destacam os conceitos de assimilação e adaptação, que podem processar esse limite tênue entre natural e social na modernidade. A assimilação se refere à incorporação, modificada ou não, de certa informação às estruturas existentes na cognição, enquanto a adaptação se refere ao organismo se modificando para incorporar a nova informação.

⁸ Toma-se aqui a lógica-matemática em dois sentidos: i) como um sistema de pensamento que considera as relações representacionais de fatores em interação que tornam algo possível (uma estrutura de funcionamento que pode ser compreendida, representada e esquematizada); e ii) enquanto uma linguagem representacional que permite o pensar, organizar o pensamento e estruturá-lo – um uso de inteligência que requer as bases de percepção, associação, representação, atuação e abstração.

São os comportamentos, não as pessoas, que estão em estágios; a idade é um indicador e não um critério de desenvolvimento; é a necessidade lógica, não a verdade, a questão central; a construção do conhecimento não é uma tarefa individual, mas social (p. 365).

Tendo isso em vista é que a Epistemologia Genética nos permite analisar um episódio histórico, a fim de entender como ocorreu a estruturação de um novo conceito na Ciência, fazendo, de certo modo, analogia e associação aos estágios do desenvolvimento humano. Se operacionalizamos tal articulação, isso se dá pela compreensão de que a epistemologia genética não se ancora apenas no pensar a relação entre momentos de vida e de desenvolvimento cognitivo em um sujeito, mas enquanto uma perspectiva epistemológica. Dizemos com isso que compreendemos enquanto uma epistemologia (Piaget, 2010, 1999, 1980, 1973; Piaget & García, 2011) os processos pelos quais compreendemos a elaboração de saberes e usos das inteligências, e instrumento potente de análise para articulação nos processos de construção de saberes e de seus desenvolvimentos. Assim, ao considerarmos o desenvolvimento-elaboração de um conhecimento, vemos a evocação de inteligências que são representadas pelo pensar piagetiano (Piaget, 1978, 1975), elementos que se evidenciam na história das ciências e nos processos de composição de conhecimento.

Assim, a percepção, evidenciação e manipulação de um objeto em sua relação espaço-temporal e perceptível-evidenciável (estágio 1), relacionam-se ao processo de representação, simbolização e semiótica dos fenômenos (estágio 2), bem como nos processos de organização, estruturação e sistematização de saberes (estágio 3) e na possibilidade de extrapolação, abstração, levantamentos, formulação e outros processos possíveis (estágio 4) – sendo tais processos, inteligências e ‘estágios’ característicos da composição dos saberes-ciências, para além da psicologia de um sujeito humano (Piaget & García, 2011).

3 Movimento Metodológico

Neste manuscrito, colocamo-nos a buscar compreender os processos de aprendizagem pelos quais a astrônoma Henrietta Swan Leavitt percorreu para desenvolver a Relação Período-Luminosidade das estrelas variáveis cefeidas, sob a ótica da Epistemologia Genética de Jean Piaget.

Para tal, desenvolvemos a presente investigação por meio de uma pesquisa de cunho qualitativo. Com isso, ressalta-se que o olhar visa a compreensão das qualidades, especificidades e singularidades do fenômeno estudado, de modo que não buscamos esgotar a compreensão do caso, mas sim buscamos elaborar descrições interpretativas e percepções que nos permitam compreender os aspectos da qualidade do fenômeno da aprendizagem que tornou tal concepção possível (Triviños, 1987).

Esta pesquisa é de cunho exploratório, de modo que busca explorar o caso Henrietta Leavitt, apresentando aspectos descritivos, interpretativos e da exploração do episódio em questão. Esta modalidade de pesquisa busca um movimento dual de: i) elaborar compreensões acerca do fenômeno explorado, deixando bases para pesquisas futuras e outras informações que possam valer-se destas; ii) elaborar um conhecimento acerca do caso investigado, ao passo que a própria exploração permite a elaboração de saberes-conhecimentos sobre o mesmo (Lüdke & André, 1986; Marconi & Lakatos, 2003). Ressalta-se que explorar os fenômenos atinge os processos de entender sobre o estudado, ao passo que a pesquisa enfoca em, também, dar subsídios para trabalhos futuros.

Para isso, estabelecemos como as bases da pesquisa o estudo de caso de Henrietta Leavitt e o desenvolvimento da compreensão da Relação Período-Luminosidade das estrelas variáveis cefeidas, ou seja, a elaboração desse saber. O estudo de caso tem por objetivo focalizar em um “objeto de estudo” específico, buscando compreendê-lo em seu detalhamento. Nessa modalidade de pesquisa não se busca uma abrangência numérica, mas o olhar sobre um acontecimento específico (Marconi & Lakatos, 2003).

Nossa base para a compreensão do caso foram os registros bibliográfico-documentais (Triviños, 1987; Marconi & Lakatos, 2003) escritos pela própria autora, como fonte de registro diretamente elaborado por esta. Tais escritos encontram-se disponíveis na HOLLIS, a Biblioteca digital da Universidade de Harvard. Foram analisados dois textos, sendo eles o “1777 variáveis nas Nuvens de Magalhães” (*1777 variables in the Magellanic Clouds*) (Leavitt, 1908) e o “Períodos de 25 Estrelas Variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães” (*Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud*) (Leavitt & Pickering, 1912).

Para compreendermos os processos de aprendizagem que Leavitt percorreu para o desenvolvimento da RPL, implicamos o uso de uma análise hermenêutica guiada por conceitos piagetianos, ou seja, fazemos uso das descritivas das dinâmicas de gênese dos conhecimentos emprestadas pela Epistemologia Genética para interpretativa e análise do caso, guiando-nos pela chave conceitual que esta disponibiliza: esquemas, assimilação generalizadora, assimilação reconhecadora, assimilação recíproca e níveis de interação intra-inter-trans.

Assim, esta análise foi operacionalizada em dois movimentos: i) A apresentação de uma descritiva do caso de Henrietta Leavitt e o desenvolvimento da compreensão da Relação Período-Luminosidade das estrelas variáveis cefeidas, com enfoque no processo de contextualização, apresentação e descrição do caso – característico do estudo de caso e recurso analítico deste (Marconi & Lakatos, 2003); ii) A apresentação de uma analítica hermenêutico-conceitual (Ghedin, 2004; Walker & Avant, 1995), ancorada na chave de conceitos piagetianos.

4 Um estudo de caso: Henrietta Leavitt e o desenvolvimento da Relação Período-Luminosidade

O Observatório da Universidade de Harvard foi construído na década de 1840 a fim de contribuir com a Astronomia nos Estados Unidos. Em 1876, Edward Charles Pickering (1846 – 1919) foi contratado como diretor, e, diferentemente de todos da sua época, que utilizavam das observações para definir posições e movimentos das estrelas, Pickering buscava descobrir seu brilho e composição. Além disso, ele desejava criar uma catalogação com o máximo possível de estrelas observadas da Terra. Para isso, apenas o telescópio da Universidade de Harvard – na cidade de Cambridge, EUA, não seria suficiente. Assim, ele buscou e conseguiu o apoio financeiro de Catherine Wolfe Bruce (1816 – 1900) para construir um Observatório no Hemisfério Sul, escolhendo a cidade de Arequipa, no Peru, como sede. Dessa forma, o Observatório de Harvard, então com dois grandes telescópios, possuía uma grande quantidade de novas fotografias e informações para serem analisadas e catalogadas, o que resultou na demanda de novas pessoas

para o trabalho. Foi assim que surgiram as chamadas “Calculadoras de Harvard”⁹, quando Henrietta Swan Leavitt foi contratada (Johnson, 2005).

Henrietta Leavitt, nasceu em 04 de julho de 1868, formou-se na *Society for Collegiate Instruction of Women*, mais tarde *Radcliffe College*, em 1892. Ingressou no Observatório da Universidade de Harvard no ano seguinte, inicialmente como assistente voluntária, com o intuito de aprender mais sobre Astronomia e foi contratada em 1895 pelo diretor Edward Pickering. Era conhecida por ser silenciosa e concentrada em seu trabalho (Sobel, 2016). Desde sua contratação, ela aprendeu e assimilou conceitos – como as noções de classificação estelar e conceitos matemáticos básicos¹⁰ empregados na Astronomia Observacional – já estabelecidos sobre análise, catalogação e classificação de estrelas, detendo-se sempre no tipo de estrelas variáveis cefeidas, ou seja, aquelas que tem um ciclo de alteração de brilho, ou magnitude¹¹, variando de 0,1 a 2 magnitudes a cada 1 a 70 dias (American Association of Variable Star Observers [AAVSO], 2011).

Depois de 1903, Leavitt foi designada ao trabalho de analisar a Nebulosa de Órion, objeto que foi fotografado por dez anos a partir dos dois Observatórios da Universidade no Hemisfério Norte (em Cambridge, EUA) e no Sul global (em Arequipa, Peru). Para as análises, Leavitt tinha uma placa fotográfica positiva da nebulosa e várias placas negativas, ou seja, de cores invertidas: as estrelas antes brancas sobre o céu preto, ficavam pretas sobre um fundo branco no aparato. Ela então decidiu sobrepor a positiva na negativa para examinar as estrelas com uma lupa. A maioria das estrelas se “cancelavam”, mas oito novas variáveis não.

Se considerarmos os estágios de desenvolvimento de Piaget, conforme já aqui discutido, não apenas para o desenvolvimento infantil, mas para o de conceitos científicos, podemos dizer que esta foi a primeira etapa estruturante (que tem função semiótica) e também a passagem pelo estágio 1 e o início do estágio 2 de desenvolvimento de uma inteligência sensório-motora acerca da relação RPL, pois foi ali que ela aprendeu a manusear os equipamentos e a fazer as leituras de placas necessárias para esse tipo de estrelas. Assim, com dois meses desse trabalho, ela já havia descoberto 77 variáveis e depois outras 200 nas duas Nuvens de Magalhães. Henrietta Leavitt analisou cada estrela que pôde dessas Nuvens, catalogando-as no trabalho “1777 Variáveis nas Nuvens de Magalhães”, onde apresentou os máximos e mínimos de cada uma delas o melhor que podia (Sobel, 2016).

A gênese do conhecimento que se refere à Relação Período-Luminosidade ocorreu em 1904, quando Henrietta Leavitt comparou duas fotografias da Pequena Nuvem de Magalhães feitas com o telescópio Bruce e descobriu inúmeras estrelas variáveis. Com a descoberta interessante, ela decidiu avaliar outras placas e encontrou 57 novas variáveis. Para encontrar os períodos, analisou uma sequência de 16 placas com exposições de 2 a 4 horas e diferença de dois ou três dias, mostrando que muitas dessas estrelas tinham um curto período. Um ano mais tarde, o número de estrelas já era de 992 nessa região. Já sobre a Grande Nuvem de Magalhães, foram encontradas 808 novas variáveis (Leavitt, 1908).

⁹ As Calculadoras de Harvard foram um grupo de mulheres que trabalharam como assistentes no Observatório da Universidade de Harvard. Elas eram as responsáveis por realizar a catalogação de objetos astronômicos, anotando posição, magnitude e outras informações sobre eles. Dentre os nomes mais conhecidos das Calculadoras, além de Henrietta Leavitt, estavam Cecilia Payne, Annie Jump Cannon, Williamina Fleming e Antonia Maury.

¹⁰ Para o cálculo de posições das estrelas e do horário de observação (da fotografia analisada). Como o Observatório de Harvard utilizava chapas fotográficas de telescópios situados em posições geográficas diferentes, era necessário manter um padrão de horário/data e posição relativa das estrelas observadas.

¹¹ Magnitude aparente está relacionada diretamente à intensidade de brilho de uma estrela vista a partir do referencial da Terra (AAVSO, 2011).

Na Tabela II do seu trabalho (vide figura 1), ela apresentou um catálogo com 969 estrelas descobertas na Pequena Nuvem, tendo nas colunas: o número de Harvard, as coordenadas x e y, a menor e a maior magnitude e a amplitude observada. Na sexta coluna, encontram-se a diferença entre a quarta e a quinta coluna, incluindo o erro de cada quantidade. Para as variáveis que não ficam visíveis na maior magnitude, a magnitude da estrela mais fraca, porém visível, é dada na quinta coluna em itálico (Leavitt, 1908). Após a sexta coluna, a tabela é replicada para que mais dados sejam mostrados lado a lado.

Harv. No.	x	y	Br.	Fl.	R.	Harv. No.	x	y	Br.	Fl.	R.	Harv. No.	x	y	Br.	Fl.	R.
809	1907	9287	12.4	13.8	1.4	1357	9479	8136	14.7	15.7	1.0	1400	10304	10786	14.0	14.8	0.8
810	4205	11520	11.7	13.8	2.1	1358	9486	8164	14.8	16.0	1.2	1401	10318	8046	14.7	15.8	1.1
811	4298	12295	11.9	13.0	1.1	1359	9497	8472	15.0	16.3	1.3	1402	10322	5281	14.5	15.2	0.7
812	4421	11640	12.2	12.9	0.7	1360	9507	8932	14.8	15.8	1.0	1403	10324	8948	15.1	16.2	1.1
813	4585	11774	11.7	13.0	1.3	1361	9544	7225	15.1	16.3	1.2	1404	10328	9206	14.8	15.8	1.0
814	5586	11440	12.5	13.2	0.7	821	9570	6141	11.3	12.1	0.8	1405	10334	7881	14.1	15.2	1.1
1323	6639	5040	14.2	15.0	0.8	1362	9574	7680	14.4	15.0	0.6	1406	10374	8043	15.8	16.5	0.7
1324	6762	6237	14.1	14.7	0.6	822	9581	6805	13.5	14.6	1.1	1407	10427	8399	15.1	16.2	1.1
1325	7062	6290	15.2	16.0	0.8	1363	9585	6865	14.0	15.0	1.0	1408	10467	9214	15.4	16.5	1.1
1326	7342	7194	13.7	14.5	0.8	1364	9586	8995	15.8	16.4	0.6	1409	10498	10682	15.4	16.7	1.3
1327	7366	11187	14.2	14.8	0.6	1365	9594	6124	13.8	14.8	1.0	1410	10515	9334	14.8	15.7	0.9
1328	7374	5606	12.7	13.7	1.0	1366	9687	9062	14.8	16.3	1.5	1411	10534	7369	14.0	14.7	0.7
1329	7460	12545	14.4	15.5	1.1	1367	9705	8040	14.6	15.2	0.6	1412	10544	6187	14.5	15.6	1.1
1330	7582	7884	14.7	15.9	1.2	1368	9734	7788	14.6	15.3	0.7	1413	10546	6744	14.6	16.2	1.6
1331	7642	7324	14.1	15.5	1.4	1369	9758	8337	13.2	14.0	0.8	1414	10571	8489	14.9	15.6	0.7
1332	8025	6216	14.6	15.5	0.9	1370	9763	6969	14.0	14.6	0.6	1415	10597	7418	14.3	15.3	1.0
1333	8199	5276	14.0	14.7	0.7	1371	9827	9344	15.3	16.8	1.5	1416	10614	7755	14.1	15.2	1.1
1334	8214	5859	13.6	14.3	0.7	1372	9866	7601	14.5	15.7	1.2	1417	10614	8345	14.9	15.8	0.9
1335	8417	5266	14.2	14.8	0.6	1373	9876	8774	14.1	14.7	0.6	1418	10636	8364	14.9	16.1	1.2
817	8511	12207	12.6	13.7	1.1	1374	9884	6726	13.9	15.3	1.4	1419	10646	7950	14.5	15.2	0.7
815	8564	5186	14.3	15.2	0.9	1375	9885	5706	15.3	16.6	1.3	1420	10649	9186	15.9	17.0	1.1
1336	8617	7978	14.8	15.5	0.7	1376	9887	5659	14.9	16.3	1.4	1421	10655	7274	14.1	14.6	0.5
1337	8706	4904	14.6	15.5	0.9	1377	9894	7554	14.0	14.7	0.7	1422	10663	6353	14.6	16.1	1.5
1338	8724	5752	14.2	15.0	0.8	1378	9898	9518	15.5	16.2	0.7	1423	10665	6685	15.0	16.1	1.1
820	8774	17366	14.0	14.8	0.8	1379	9913	8062	15.0	16.0	1.0	1424	10686	9692	15.0	16.0	1.0
1339	8782	7694	14.8	15.7	0.9	1380	9922	8894	15.8	16.6	0.8	1425	10697	10476	14.3	15.4	1.1
1340	8806	6624	14.6	15.8	1.2	1381	9935	8317	14.7	15.5	0.8	1426	10709	8864	14.2	14.8	0.6
816	8842	5244	14.2	15.2	1.0	1382	9952	7916	14.0	15.1	1.1	1427	10724	8594	14.9	15.6	0.7
1341	8892	4754	14.5	14.9	0.4	1383	9967	5536	14.9	15.9	1.0	824	10734	9857	11.5	12.9	1.4
1342	9027	6013	12.7	13.8	1.1	1384	9974	8362	14.7	15.2	0.5	1428	10816	10243	15.5	16.7	1.2

Figura 1 - Parte da Tabela II de Variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães.

Fonte: Leavitt, 1908.

Leavitt fez o mesmo procedimento para a Grande Nuvem de Magalhães, onde encontrou mais 800 novas variáveis, no qual a astrônoma alertava que as magnitudes estimadas ainda estariam em revisão (Leavitt, 1908).

A região onde se encontra a Grande Nuvem é muito maior que a Pequena. Assim, para analisar a região norte da Grande Nuvem, Henrietta utilizou seis placas centradas aproximadamente com a mesma declinação. Ao fazer isso, Leavitt encontrou apenas 8 variáveis longe do centro, mas acreditava que existiriam mais, mesmo que em menor quantidade, se comparando à quantidade no centro da Nuvem. A esperança de identificar um padrão, por parte de Leavitt, demonstrou um cognitivo que pode ser entendido como já no Estágio 3 de desenvolvimento, pois apresentava a utilização de uma inteligência simbólica, além de passar para a segunda etapa estruturante, relativa às operações concretas, envolvendo antecipações e retroações, ao buscar um padrão em seus dados. As oito estrelas mencionadas são descritas na Tabela V (vide figura 2). Nesta se apresentam: na primeira coluna o número de Harvard; na segunda e na terceira colunas a ascensão reta e a declinação para 1900; na terceira e na quarta colunas a magnitude observada mais brilhante e mais fraca; e na última coluna encontra-se a amplitude observada (Leavitt, 1908).

Harvard No.	R. A. 1900.	Dec. 1900.	Br.	Pt.	R.	Harvard No.	R. A. 1900.	Dec. 1900.	Br.	Pt.	R.
	<i>h. m. s.</i>	<i>o ' "</i>					<i>h. m. s.</i>	<i>o ' "</i>			
2883	4 55 54	-64 50.7	13.0	14.2	1.2	2887	5 11 41	-66 16.8	14.9	15.4	0.5
2884	5 4 37	-65 44.5	14.0	15.0	1.0	2888	15 0	-65 55.6	13.7	14.6	0.9
2885	10 10	-64 57.4	14.3	15.3	1.0	2889	15 34	-66 4.0	14.4	15.3	0.9
2886	10 58	-65 33.1	13.3	14.0	0.7	2890	24 50	-65 57.1	13.6	14.4	0.8

Figura 2 - Tabela V de Variáveis adicionais.

Fonte: Leavitt, 1908.

A observação sistemática das magnitudes aparentes das estrelas variáveis na Pequena Nuvem serviu de gatilho externo, ou seja, de ponto de partida para a análise de seus períodos, a fim de construir uma nova estrutura cognitiva. Leavitt notou que um grupo menor dessas estrelas variáveis possuíam um comportamento de variação de magnitude específico, e a partir desse grupo (das estrelas variáveis cefeidas, que possuem variação periódica bem definida em seu ciclo) ela seguiu suas análises. Esses dados estão descritos na Tabela VI (Figura 3): na primeira coluna o Número Harvard, na segunda, na terceira e na quarta as magnitudes máximas, mínimas e a diferença. Na quinta coluna está a época de medição, expressa em dias e decimais, após o Meio Dia de Greenwich do Dia Juliano 2.410.000, e na sexta coluna está o período. Já na sétima coluna é apresentado o tempo aproximado de aumento do mínimo ao máximo; o desvio médio de uma única medida em relação à curva de luz expresso em magnitude está na coluna seguinte. Nas três últimas colunas estão a data da primeira foto da variável, o número de períodos observados desde então, e o número de placas medidas (Leavitt, 1908).

Harvard No.	Max.	Min.	Range.	Epoch.	Period.	Min. to Max.	Average Dev.	Earliest Observation.	No. Periods.	No. Plates.
					<i>d.</i>	<i>d.</i>				
818	13.6	14.7	1.1	4.0	10.336	1.7	.12	1890	566	44
821	11.2	12.1	0.9	97.	127.	49.	.06	1890	45	89
823	12.2	14.1	1.9	2.9	31.94	3.	.13	1890	184	56
824	11.4	12.8	1.4	4.	65.8	7.	.12	1889	94	83
827	13.4	14.3	0.9	11.6	13.47	6.	.11	1890	448	60
842	14.6	16.1	1.5	2.61	4.2897	0.6	.06	1896	843	26
1374	13.9	15.2	1.3	6.0	8.397	2.	.10	1893	574	42
1400	14.1	14.8	0.7	4.0	6.650	1.	.11	1893	724	42
1425	14.3	15.3	1.0	2.8	4.547	0.8	.09	1893	1042	33
1436	14.8	16.4	1.6	0.02	1.6637	0.3	.10	1893	2859	22
1446	14.8	16.4	1.6	1.38	1.7620	0.3	.09	1896	2052	21
1505	14.8	16.1	1.3	0.02	1.25336	0.2	.10	1896	2335	25
1506	15.1	16.3	1.2	1.08	1.87502	0.3	.09	1896	1560	23
1646	14.4	15.4	1.0	4.30	5.311	0.7	.06	1896	681	24
1649	14.3	15.2	0.9	5.05	5.323	0.7	.10	1893	894	32
1742	14.3	15.5	1.2	0.95	4.9866	0.7	.07	1893	954	28

Figura 3 - Períodos de Variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães.

Fonte: Leavitt, 1908.

Após apresentar os dados, Leavitt fez suas análises. Ela demonstrou que parecia ser uma regra o fato das estrelas variáveis cefeidas passarem a maior parte do tempo mais pálidas, o máximo brilho ser muito breve e o aumento não ocupar mais de um sexto ou um décimo de todo o período. Outra constatação (a mais importante de todas) é a de que “as variáveis mais brilhantes possuem os períodos mais longos” (Leavitt, 1908, p. 107). Além disso, ela destacou também que as de maior período parecem ser tão regulares

quanto as com períodos de um dia ou dois. Esse momento pode ser compreendido como aquele no qual houve uma nova acomodação na estrutura cognitiva, quando, partindo de conhecimentos já assimilados, um novo nível de conhecimento foi construído.

Em 1912, a Circular 173 do Observatório de Harvard apresentou o “Período de 25 variáveis na Pequena Nuvem de Magalhães”, onde constam os períodos calculados por Leavitt de novas variáveis cefeidas e a confirmação de suas constatações anteriores (Leavitt & Pickering, 1912).

A Tabela I (vide figura 4) apresenta os períodos das 25 estrelas calculadas até então, ordenadas por duração. Na primeira coluna está o Número Harvard, na segunda e na terceira as magnitudes máximas e mínimas, na quarta coluna está a época de medição expressa em dias e decimais após o Meio Dia de Greenwich do Dia Juliano 2.410.000 e na quinta coluna está o período, expresso em dias. Organizadas dessa forma, é fácil perceber a relação entre a magnitude aparente e o período das estrelas. As duas últimas colunas referem-se aos resíduos de máximo e mínimo de magnitude que surgem ao se construir o gráfico da figura 1 do documento original (aqui apresentada como Figura 5b, mais à frente).

TABLE I.
PERIODS OF VARIABLE STARS IN THE SMALL MAGELLANIC CLOUD.

H.	Max.	Min.	Epoch.	Period.	Res. M.	Res. m.	H.	Max.	Min.	Epoch.	Period.	Res. M.	Res. m.
			<i>d.</i>	<i>d.</i>						<i>d.</i>	<i>d.</i>		
1505	14.8	16.1	0.02	1.25336	-0.6	-0.5	1400	14.1	14.8	4.0	6.650	+0.2	-0.3
1436	14.8	16.4	0.02	1.6637	-0.3	+0.1	1355	14.0	14.8	4.8	7.483	+0.2	-0.2
1446	14.8	16.4	1.38	1.7620	-0.3	+0.1	1374	13.9	15.2	6.0	8.397	+0.2	-0.3
1506	15.1	16.3	1.08	1.87502	+0.1	+0.1	818	13.8	14.7	4.0	10.336	0.0	0.0
1413	14.7	15.6	0.35	2.17352	-0.2	-0.5	1610	13.4	14.6	11.0	11.645	0.0	0.0
1460	14.4	15.7	0.00	2.913	-0.3	-0.1	1365	13.8	14.8	9.6	12.417	+0.4	+0.2
1422	14.7	15.9	0.6	3.501	+0.2	+0.2	1351	13.4	14.4	4.0	13.08	+0.1	-0.1
842	14.6	16.1	2.61	4.2897	+0.3	+0.6	827	13.4	14.3	11.6	13.47	+0.1	-0.2
1425	14.3	15.3	2.8	4.547	0.0	-0.1	822	13.0	14.6	13.0	16.75	-0.1	+0.3
1742	14.3	15.5	0.95	4.9866	+0.1	+0.2	823	12.2	14.1	2.9	31.94	-0.3	+0.4
1646	14.4	15.4	4.30	5.311	+0.3	+0.1	824	11.4	12.8	4.	65.8	-0.4	-0.2
1649	14.3	15.2	5.05	5.323	+0.2	-0.1	821	11.2	12.1	97.	127.0	-0.1	-0.4
1492	13.8	14.8	0.6	6.2926	-0.2	-0.4							

Figura 4 - Períodos de Estrelas Variáveis da Pequena Nuvem de Magalhães.

Fonte: Leavitt & Pickering 1912.

Passando pelo que poderíamos associar ao final do Estágio 3 e entrada no 4, Leavitt realizou a adaptação do novo conhecimento acomodado. A relação foi mostrada de forma ainda mais clara no gráfico da figura 1 do trabalho original (Figura 5a), onde a abscissa representa os períodos em dias e a ordenada corresponde às magnitudes máximas e mínimas. Já na figura 2 do original (Figura 5b), foi apresentado um gráfico no qual a abscissa é o logaritmo dos períodos.

Dessa forma, duas linhas retas puderam ser traçadas para os mínimos e para os máximos mostrando que existe uma relação entre o brilho de estrelas variáveis e seus períodos, equilibrando assim todos os processos que ocorreram até então. “O logaritmo do período aumenta por volta de 0,48 para cada aumento de uma magnitude” (Leavitt & Pickering, 1912, p. 2). Nesse momento ocorre a terceira etapa estruturante (onde o real é superado e pensa-se sobre o “possível”, quando suposições a partir do concreto são feitas) (Abreu et al., 2010), quando Leavitt supôs que “como essas variáveis encontram-se

aproximadamente à mesma distância da Terra, seus períodos são aparentemente associados às suas reais emissões de luz, como determinado por suas massas, densidade e brilho superficial.” (p. 2). Essa similaridade da distância pode ser exemplificada da seguinte forma: duas casas em uma cidade distante encontram-se aproximadamente à mesma distância de quem as mede, mesmo o observador estando em bairros diferentes, porque a distância entre as cidades é muito mais significativa que a diferença entre as casas (Sobel, 2016).

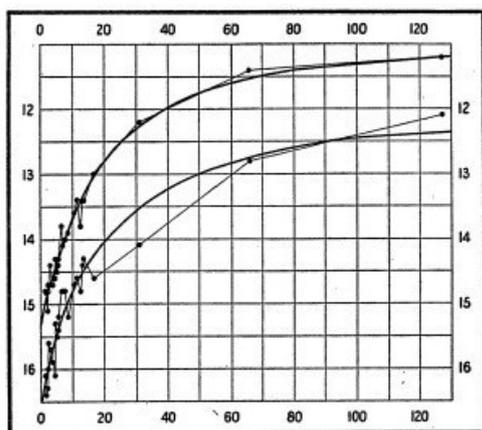


FIG. 1.

Figura 5a - Gráfico de período por magnitude.

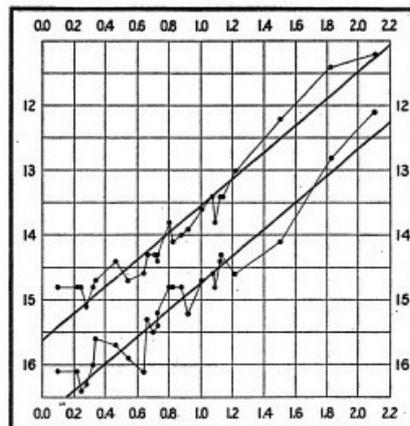


FIG. 2.

Figura 5b - Gráfico de período em logaritmo por magnitude.

Fonte:
Leavitt &
Pickering
1912.

Sendo assim, ela afirmava que esse tipo de variável teria sua magnitude real atrelada aos ciclos de intensidade, possibilitando utilizá-las como marcadores de grandes distâncias, apresentando assim novos possíveis processos de assimilação e acomodação. Por exemplo, Ejnar Hertzsprung (1873 – 1967) aprendeu com Henrietta e começou a fazer gráficos tentando relacionar uma característica com outra das estrelas. Além dele, Henry Norris Russell (1877–1957) também utilizou as estrelas de Leavitt para entender características estelares. Porém, é importante mencionar que, por uma série de fatores, não muito bem compreendidos¹², a própria Leavitt não seguiu nenhuma dessas linhas de pesquisa, e continuou estudando magnitudes de outras áreas do céu (Sobel, 2016).

Partindo da Relação Período-Luminosidade de Leavitt e adaptando uma dedução feita por Hertzsprung, o astrônomo estadunidense Harlow Shapley (1885–1972) tentou determinar a distância de aglomerados globulares distantes. Ele fez isso para todas que tinham cefeidas, assumindo que a relação desenvolvida valia para qualquer região do céu e não apenas para as Nuvens de Magalhães. Shapley reconhecia a importância da relação de Leavitt e afirmava que se não fossem os problemas de saúde que teve ao longo de seus estudos, ela teria feito muito mais. Além disso, Shapley acreditava que as cefeidas eram a chave para uma teoria de variação, luminosidade¹³ e distribuição de objetos galácticos (Sobel, 2016).

Analisando o episódio histórico, pode-se ainda identificar a presença da tríade intra-inter-trans:

¹² Discussões um pouco mais aprofundadas podem ser lidas no artigo de Silvério, Sitko, & Figueirôa (2022a) e no trabalho completo apresentado no VI Simpósio Nacional de Educação em Astronomia (Silvério, Sitko, & Figueirôa, 2022b, no prelo).

¹³ Luminosidade é uma grandeza intrínseca às estrelas, é a quantidade de energia irradiada por ela em um determinado tempo (Oliveira Filho & Saraiva, 2017).

Nível intra: Ocorre com a passagem que Leavitt fez de descobrir e catalogar estrelas variáveis para medir suas magnitudes máximas e mínimas e períodos de oscilação;

Nível inter: Ocorre quando um padrão foi estabelecido, e Leavitt notou que existia uma relação entre a magnitude máxima ou mínima de certo tipo de estrela variável e seu período;

Nível trans: Ocorre a Leavitt ao concluir, no artigo de 1912, que se existia essa relação, então seria relevante determinar as paralaxes dessas estrelas variáveis, o que permitiria calibrar a Relação Período-Luminosidade e determinar distâncias das estrelas.

Além disso, as formas de assimilação também estão presentes:

Assimilação generalizadora: Enquanto trabalhava no Observatório de Harvard, Henrietta Leavitt tinha conhecimento de que não importava a região no céu, em qualquer área existiam estrelas variáveis e todas estas poderiam ser catalogadas através do mesmo processo, comparando as placas fotográficas de uma mesma região em diferentes momentos;

Assimilação reconhecedora: Henrietta notou que as estrelas cefeidas presentes na Pequena Nuvem de Magalhães permitiam inferir uma relação específica entre período e magnitude aparente;

Assimilação recíproca: Por fim, apesar de não desenvolver a ideia, Leavitt concluiu que existia uma relação entre as luminosidades das variáveis cefeidas e seus períodos, o que nos auxilia, até os dias de hoje, a entender outras características das estrelas.

Observa-se assim que, ao longo de 18 anos trabalhando no Observatório da Universidade de Harvard, Henrietta Leavitt passou pelos estágios de desenvolvimento de aprendizagem, o que, por meio da análise feita, demonstra a possibilidade de se olhar episódios históricos através da Epistemologia Genética nos termos piagetianos.

5 Considerações Finais

A descoberta de Leavitt é uma das mais impactantes contribuições do Observatório de Harvard na Astronomia. Depois de calibrada e bem aplicada ao problema das distâncias espaciais, sua Relação Período-Luminosidade permitiu Harlow Shapley aumentar as fronteiras do Universo e, alguns anos mais tarde, auxiliou Edwin Powell Hubble (1889 – 1953) e outros astrônomos a demonstrar que, além da Via Láctea não ser a única no Universo, que este está em expansão. Atualmente, astrônomos do mundo todo continuam utilizando essa relação empírica para definir a taxa de expansão do Universo. Devido à sua importância, existe uma grande luta pelo reconhecimento da Relação Período-Luminosidade como sendo a Lei de Leavitt, assim como a relação de expansão é a Lei de Hubble-Lemaître¹⁴.

Através do estudo de caso proposto neste trabalho, por meio da análise de registros bibliográficos-documentais da própria astrônoma, foi possível identificar os processos de aprendizagem, segundo a Epistemologia Genética, descrita por Piaget, os quais podem ser utilizados não somente para o desenvolvimento da criança, mas também para interpretar o desenvolvimento de um conhecimento

¹⁴ Seguindo resolução votada pelo membros da União Astronômica Internacional em 2018 que recomenda a renomeação da “Lei de Hubble” para “Lei de Hubble-Lemaître”, reconhecendo a importância do astrônomo belga para a Teoria da Expansão do Universo (International Astronomical Union [IAU], 2018).

científico. Quando Leavitt ingressou no Observatório em 1895, ela se encontrava aprendendo e assimilando novos conceitos ligados à área de estudo. Oito anos mais tarde, em 1903, logo que se deteve na catalogação de estrelas variáveis, concluiu a primeira etapa estruturante (e o estágio 2), referente à “ambientação” com os dados. O Estágio 3 de desenvolvimento, bem como a segunda etapa estruturante, aparecem ainda no primeiro manuscrito, de 1908, no qual Leavitt demonstrou a utilização de uma inteligência simbólica, ao buscar o padrão de variabilidade das estrelas, ao comparar os dados em questão. Aí podem ser notadas operações concretas, a partir das tabelas produzidas com as observações. Ao final desse trabalho, quando ela constatou que “as variáveis mais brilhantes possuem os períodos mais longos”, vê-se um novo nível de conhecimento se construindo.

No segundo manuscrito, publicado em 1912, Henrietta passou pelo Estágio 4 de desenvolvimento. Ela realizou a adaptação do novo conhecimento acomodado e equilibraram-se todos os processos que ocorreram até então; nessa mesma fase, apresentou-se a terceira etapa estruturante, na qual se supera o concreto e real, e chega-se ao “possível”, que é quando as operações concretas, a partir dos dados de magnitude aparente e período, são extrapoladas para uma relação válida para todas as variáveis cefeidas, utilizando o conceito de luminosidade. Além disso, identificou-se também que, enquanto iniciante dos estudos de catalogação estelar, Leavitt apresentou processos de assimilação generalizadora e nível de interação intra, ao conhecer novos objetos de estudo. No primeiro manuscrito, ela apresentou assimilação reconhecadora e partiu para o nível de interação inter, ao selecionar determinadas estrelas e observar seus padrões e, por fim, no segundo manuscrito, a assimilação recíproca surgiu junto com o nível trans, ao relacionar os diferentes conhecimentos, padrões, e abstrair o pensamento para a relação RPL, completando os processos de aprendizagem apresentados anteriormente.

A partir dos resultados encontrados, foi possível traçar uma sequência de passos (possivelmente) seguidos por Leavitt, através da compreensão das fases de seu pensamento sobre a Relação Período-Luminosidade, a partir dos estágios de desenvolvimento. A partir desse cenário, considera-se como potencialidade de estudos futuros o aprofundamento nessas diferentes fases do processo de aprendizagem de Leavitt, como forma de se compreender melhor questões como “por que ninguém conseguiu elaborar a relação antes de Leavitt?”, ou mesmo, levando em conta questões mais sociais que poderiam ter interferido em sua forma de pensar, e que também nos levam ao questionamento mais atual de “por que a lei não leva seu nome, como acontece com cientistas homens como Newton, Hubble e Lemaître?”.

Questões como estas estão inseridas nas discussões sobre mulheres nas Ciências. Tratar de um assunto como a Epistemologia Genética, jogando luz sobre o caso de uma mulher na Astronomia, além de suscitar visibilidade às mulheres na área, também mostra o processo cognitivo pelo qual qualquer pessoa passa ao longo do estabelecimento de um novo conceito. O episódio histórico possibilitou a abordagem de aspectos da área de História, Filosofia e Sociologia das Ciências, que vem se apresentando como uma grande motivadora para o Ensino de Ciências, e atrelado à questão de gênero nas ciências, também é um motivador para o interesse e participação das meninas e mulheres na área.

Agradecimentos

Sendo derivado da pesquisa de mestrado da primeira autora, que é bolsista pela Fundação Amazônia de Amparo à Estudos e Pesquisas (Fapespa), os autores agradecem pelo apoio financeiro da instituição para a realização da pesquisa.

Referências

- Abreu, L. C., Oliveira, M. A., Carvalho, T. D., Martins, S. R., Gallo, P. R., & Reis, A. O. A. (2010). A epistemologia genética de Piaget e o construtivismo. *Revista Brasileira de Crescimento e Desenvolvimento Humano*, 20(2), 361–366.
- American Association of Variable Star Observers (AAVSO). (2011). *Manual para observação visual de estrelas variáveis*. Cambridge. Recuperado de http://www.aavso.org/sites/default/files/publications_files/manual/portuguese/PortugueseManual.pdf
- Bartelmebs, R. C. (2014). Psicogênese e história das ciências: Elementos para uma epistemologia construtivista. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, 16(2), 147–166. doi:10.1590/1983-21172014160208
- Caetano, L. M. (2010). A epistemologia genética de Jean Piaget. *ComCiência*, (120).
- Citeli, M. T. (2000). Mulheres nas ciências: mapeando campos de estudo. *Cadernos Pagu*, 15, 39–75.
- Correia, K. C. d. S., Anjos, M. B., & Velloso, V. P. (2015). Uma interface preliminar da epistemologia genética e a história da ciência. In *Anais X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC*.
- Dorlin, E. (2009). *Séxo, género y sexualidades. Introducción a la teoría feminista*. (1ª ed). Buenos Aires: Nueva Visión.
- Fox-Keller, E. (1995). Gender and Science: Origin, History, and Politics. *Osiris*, 10, 26-38.
- Ghedin, E. (2004). Hermenêutica e pesquisa em educação: Caminhos da investigação interpretativa. In *Anais do II Seminário internacional de pesquisa e estudos qualitativos* (pp. 1–14). USC.
- Haraway, D. (1989). *Primate visions: gender, race, and nature in the world of modern science*. New York: Routledge.
- IAU (2018). *IAU members vote to recommend renaming the Hubble law as the Hubble-Lemaître law*. Retrieved from <https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau1812/>
- Johnson, G. (2005). *Miss Leavitt's Stars*. (1ª ed). Nova York: Atlas Books.
- Leavitt, H. S. (1908). 1777 variables in the Magallanic Clouds.
- Leavitt, H. S., & Pickering, E. (1912). Circular 173: Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud.
- Lüdke, M., & André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em educação: Abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU.
- Marconi, M. A., & Lakatos, E. M. (2003). *Fundamentos da metodologia científica*. São Paulo: Editora Atlas.
- Oliveira Filho, K. S., & Saraiva, M. F. O. (2017). *Astronomia & Astrofísica*. (4ª ed.) São Paulo: Editora Livraria da Física.

- Oreskes, N. (2019). Perspectives from the History and Philosophy of Science. In: *Why Trust Science?* Princeton University Press, ProQuest Ebook Central.
- Piaget, J. (1970). *Gênese das estruturas lógicas elementares* (Á. Cabral, Trad.). Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- Piaget, J. (1973). *Psicologia e epistemologia: por uma teoria do conhecimento* (A. Cretella, Trad.). Rio de Janeiro: Forense Universitária.
- Piaget, J. (1974). *A epistemologia genética e a questão da pesquisa psicológica*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos.
- Piaget, J. (1975). *A equilibração das estruturas cognitivas: o problema central do desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Zahar Editores.
- Piaget, J. (1978). *Fazer e compreender* (C. L. P. Leite, Trad.). São Paulo: EDUSP.
- Piaget, J. (1980). *O homem e suas ideias*. Rio de Janeiro: Forense Universitária.
- Piaget, J. (1999). *Seis estudos de psicologia* (24^a ed.). Rio de Janeiro: Forense Universitária.
- Piaget, J. (2010). *A formação do símbolo na criança: imitação, jogo e sonho, imagem e representação*. Rio de Janeiro: Editora LTC.
- Piaget, J., & García, R. (2011). *Psicogênese e história das ciências*. Petrópolis: Editora Vozes.
- Rossiter, M. (1993). The Matthew Matilda Effect in Science. *Social Studies Of Science*, 23(2), 325-341.
- Schiebinger, L. (2001). *O feminismo mudou a ciência?* Bauru: EDUSC.
- Silvério, B. A., Sitko, C. M., & Figueirôa, S. F. M. (2022a). A Rede do Tempo de Henrietta Leavitt e a Relação Período-Luminosidade: Sequência didática sobre construção da Ciência. *Vitruvian Cogitations*, 3(2), 114-125.
- Silvério, B. A., Sitko, C. M., & Figueirôa, S. F. M. (2022b). Análise feminista de correspondência sobre Henrietta Leavitt, a astrônoma quase indicada ao Prêmio Nobel. In *Anais do VI Simpósio Nacional de Educação em Astronomia*. No prelo.
- Sobel, D. (2016). *The Glass Universe: How the ladies of the Harvard Observatory took the measure of the stars*. Nova York: Penguin Random House LLC.
- Triviños, A. N. S. (1987). *Introdução à pesquisa em ciências sociais: A pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Editora Atlas.
- Walker, L. O., & Avant, K. C. (1995). Concept development. In L. O. Walker & K. C. Avant (Orgs.), *Strategies for theory construction in nursing*. Norwalk: Appleton & Lange.
- Wardsworth, B. J. (1996) *Inteligência e afetividade da criança na teoria de Piaget*. São Paulo: Editora Pioneira.