



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS**

**HERCIO DA SILVA FERREIRA**

**A NEUROEDUCAÇÃO E A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS:  
uma proposta de aproximação para atender à diversidade em sala de aula**

**BELÉM – PARÁ**

**2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICAS**

**HERCIO DA SILVA FERREIRA**

**A NEUROEDUCAÇÃO E A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS:  
uma proposta de aproximação para atender à diversidade em sala de aula**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas, área de concentração Educação Matemática.

**Orientador:** Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves

**Coorientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Soraia Valéria de Oliveira Coelho Lameirão

**BELÉM – PARÁ**

**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Biblioteca da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F383n Ferreira, Hercio da Silva

A neuroeducação e a teoria das situações didáticas : uma proposta de aproximação para atender à diversidade em sala de aula / Hercio da Silva Ferreira. — 2020.  
120 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves

Coorientação: Prof. Dra. Soraisa Valeira de Oliveira Coelho Lameirão

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas, Instituto de Educação Matemática e Científica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Neuroeducação. 2. Teoria das Situações Didáticas. 3. Diversidade em sala de aula. 4. Neopiagetianismo. 5. Neurociência socioafetiva. I. Título.

CDD 371.102

---

**HERCIO DA SILVA FERREIRA**

**A NEUROEDUCAÇÃO E A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS:  
uma proposta de aproximação para atender à diversidade em sala de aula**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas, área de concentração Educação Matemática.

Belém, \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. dr. Tadeu Oliver Gonçalves (Orientador)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Soraia Valeira de Oliveira Coelho Lameirão (Coorientadora)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Terezinha Valim Oliver Gonçalves (IEMCI/UFPA)

---

Prof. Dr. Iran Abreu Mendes (IEMCI/UFPA)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alina Galvão Spinillo (NUPPEM/UFPE)

---

Prof. Dr. Marcos Guilherme Moura Silva (IEMCI/UFPA)

*Ao meu pai, pelo exemplo de resiliência e amor.*

*“Porque a sabedoria serve de sombra, como de sombra serve o dinheiro; mas a excelência da sabedoria é que ela dá vida ao seu possuidor.”*

*Eclesiastes 7:12*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que na sua infinita misericórdia me conduziu até aqui.

A meu pai *in memoriam*, pelos exemplos de superação e de amor ao próximo.

A minha mãe, por me conceber, pela dedicação na criação dos filhos, pelo apoio na criação dos netos e pela grande contribuição para a minha educação.

Aos meus filhos Júlia Helena e Pedro Lucas, por existirem na minha vida.

À Direção do IEMCI, do PPGECEM e da FEMCI, pelo apoio e liberação do meu afastamento das atividades acadêmicas;

Ao meu orientador, Prof. dr. Tadeu Oliver Gonçalves, pela dedicação, ensinamentos, desafios, por acreditar no meu trabalho e proporcionar condições para que eu realizasse esta pesquisa;

À minha coorientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Soraia Valeria Lameirão, por toda a sua atenção, dedicação e esforço;

Aos professores da banca de qualificação (Alina Galvão, Iran Abreu, Terezinha Valim), pelas importantíssimas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Grupo de Estudos e Pesquisas da Didática da Matemática (GEDIM) e ao Grupo de Estudos e Pesquisa em História e Ensino da Matemática (GEHEM), pelo acolhimento e ensinamentos;

Aos colegas Professores da Faculdade de Educação Matemática e Científica (FEMCI) pelo apoio e incentivo;

Aos técnicos do IEMCI, pelo apoio administrativo;

Ao servidor da UFPA José dos Anjos Oliveira, pela revisão gramatical do texto desta Tese;

Aos colegas da turma de doutorado 2016/1, pelos momentos de interação e pelo altruísmo demonstrado por todos;

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta Tese.

## RESUMO

Há várias décadas que a Neurociência vem se destacando no meio científico através de resultados auspiciosos para a Educação. Porém, levar esses resultados para a sala de aula está sendo a grande dificuldade a ser superada. Pensando nisso, vários pesquisadores propuseram modelos de pesquisa multi ou interdisciplinar na tentativa de resolver esse problema e, não apenas isto, alguns sugerem caminhos de mão dupla, isto é, que educadores possam também levar os resultados de pesquisa relativos ao processo ensino-aprendizagem à Neurociência. Com base nestes modelos, surgiram várias propostas de criação de uma nova área das ciências, cuja denominação apresenta vários rótulos, dentre os quais se destacam “Neuroeducação” e “Ciência da Mente, Cérebro e Educação”. Encontramos nesses modelos quase um consenso quanto às áreas das ciências que deverão compor este novo campo científico, a saber: Educação, Psicologia e Neurociência. Escolhemos usar a denominação Neuroeducação para nos referirmos a esse campo emergente. Nesta pesquisa, propomos uma aproximação entre a Neuroeducação e a Teoria das Situações Didáticas (TSD) de Guy Brousseau, através de um Modelo de Pesquisa Neuroeducacional Multidisciplinar. Este Modelo possibilitou a realização de discussões a respeito da viabilidade de inserção de resultados da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) e da Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang na TSD. Acreditamos que uma das causas da dificuldade de aprendizagem em matemática escolar está no fato de o professor não considerar a diversidade encontrada em sala de aula, que nesta pesquisa está representada por fatores contextual (contexto de aprendizagem em sala de aula), socioeconômico (status socioeconômico dos alunos) e socioemocional (ansiedade matemática). As discussões nos levaram a refletir sobre estratégias de ensino que contemplem a mudança do contexto de aprendizagem em sala de aula (através de apoio contextual) e a criação de significado para o conhecimento matemático (através de trabalhos extraclasse que proporcionem aos alunos oportunidade de aplicar os conhecimentos matemáticos adquiridos na escola em atividades cotidianas, tais como o esporte, as profissões, etc.). Essas estratégias podem ajudar na elevação do nível de desempenho matemático dos alunos, na adaptação de alunos menos favorecidos socioeconomicamente à matemática escolar e na identificação, remediação ou reversão da ansiedade matemática, além de atuarem como agentes motivacionais na aprendizagem matemática. A viabilidade de inserção dessas estratégias de ensino na TSD e as suas possíveis contribuições na aplicação dessa teoria são discutidas ao longo do texto e apresentadas ao final como uma Proposta Neuroeducacional de aplicação da TSD. Nesse sentido, nossa Proposta Neuroeducacional sugere complementações na atuação do professor em cada momento didático da TSD para que possamos refletir sobre a possibilidade de amenizarmos ou revertermos os casos de dificuldade de adaptação à matemática escolar e de ansiedade matemática.

**Palavras-Chave:** Neuroeducação, Teoria das Situações Didáticas, diversidade em sala de aula, Neopiagetianismo, Neurociência Socioafetiva.



## ABSTRACT

In some decades the Neuroscience has been getting more space in the scientific context through auspicious results for the Education field. However, bringing these results to the classroom has also been a difficult step to overcome. Then, worried about that, many researchers proposed multi or interdisciplinary research in a try to solve this issue, and also some of these researchers suggest a both-handed path, which means that educational researchers could either bring their results related to the teaching-learning process to the Neuroscience field. Based on these models a lot of new proposals for the creation of a new science area came out, whereupon the denomination present so many labels, and among these “Neuroeducation” and “Mind science, Brain and Education” stand out. It was launched in these models a rough consensus about the science areas which must be part of this new scientific field, videlicet: Education, Psychology, and Neuroscience. And, here it will be using the term Neuroeducation to refer to this emerging field. In this thesis is proposed an approach within the Neuroeducation and the Theory of Didactical Situations (TDS), by Guy Brousseau, through a Multidisciplinary Neuroeducational Research Model. This Model enabled discussions about the viability of the insertion of results into the Neo-Piagetian Approach by Bidell and Fischer (2017), and the Socio-Affective Neuroscience by Immordino-Yang in TDS. It presupposed that one cause of the learning difficulty in scholar mathematics is the fact that the teacher does not consider the diversity usually found in the classrooms, which in this work is represented by factors: contextual (learning context in the classroom), socioeconomic (socioeconomic status of the students) and socioemotional (math’s anxiety). These discussions point out the possibility of reflecting about teaching strategies which contemplate the learning context change in the classroom (through contextual support) and creation of meaning for the mathematics knowledge (through extra class works which afford the students an opportunity to apply their mathematics knowledge acquired at school into their daily activities, namely: sports, professions, etc.). These strategies could support the growing status of the students’ mathematics accomplishment, also in the adaptation of less socioeconomically favored students to scholar mathematics and in the identification, remediation, or reversion of the math’s anxiety, further, acting as motivational agents in mathematical learning. This insertion viability of those teaching strategies into the TDS and its possible contributions in this theory application are discussed along with this work and presented at the end as a Neuroeducational Proposal of application of the TDS. In this sense, the Neuroeducational Proposal made out in this work, suggests complements in the teachers’ acting in classroom in each didactic moment in the TDS, enabling the reflection over the possibility to ease or revert difficult cases of mathematics scholar adaptation and the case of mathematics anxiety.

**Keywords:** Neuroeducation. Theory of Didactical Situations. Diversity in the classroom. Neo-Piagetian. Socio-Affective Neuroscience.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**DMN** – Default Mode Network – Rede de Modo Padrão

**EARLI** – European Association for Research on Learning and Instruction – Associação Europeia para a Pesquisa sobre Aprendizagem e Instrução

**fMRI** – Functional Magnetic Resonance Imaging – Imagem por Ressonância Magnética Funcional

**HGSE** – Harvard Graduate School of Education – Escola de Graduação em Educação de Harvard

**IMBES** – International Mind, Brain and Education Society – Sociedade Internacional de Mente, Cérebro e Educação

**INEP** – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas

**MBE** – Mind, Brain and Education – Mente, Cérebro e Educação

**OCDE** – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

**QI** – Quociente de Inteligência

**SCD** – Situações em Contextos Didáticos

**SSE** – Status Socioeconômico

**TSD** – Teoria das Situações Didáticas

**TDAH** – Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade

**TAD** – Teoria Antropológica do Didático

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Modelo Metodológico de Pesquisa .....	17
<b>Figura 2:</b> As duas Pontes de Bruer .....	26
<b>Figura 3A:</b> Inter ou Multidisciplinaridade .....	30
<b>Figura 3B:</b> Transdisciplinaridade .....	30
<b>Figura 4:</b> Mult, Inter e Transdisciplinaridade .....	32
<b>Figura 5A:</b> O Modelo dos Três Passos .....	34
<b>Figura 5B:</b> O Modelo da Sobreposição de Disciplinas .....	34
<b>Figura 6:</b> O Modelo de Níveis de Desenvolvimento .....	39
<b>Figura 7:</b> Triângulo Didático .....	43
<b>Figura 8:</b> Momentos Didáticos da TSD .....	46
<b>Figura 9:</b> Forma Inicial do Problema .....	46
<b>Figura 10:</b> Esquema de Tentativas .....	47
<b>Figura 11:</b> Forma Retangular .....	48
<b>Figura 12:</b> Modificando Apenas o Comprimento .....	48
<b>Figura 13:</b> Modificando Apenas a Altura .....	48
<b>Figura 14:</b> Modificando Comprimento e Altura .....	49
<b>Figura 15:</b> Áreas Iguais e Perímetros Diferentes .....	50
<b>Figura 16:</b> Algoritmo da Subtração .....	52
<b>Figura 17A:</b> Escada do Desenvolvimento .....	62
<b>Figura 17B:</b> Metáfora da Teia do Desenvolvimento .....	62
<b>Figura 18:</b> Caminhos Unilineares .....	63
<b>Figura 19:</b> Criando Significado Incorreto .....	96
<b>Figura 20:</b> Quadra de Voleibol .....	103
<b>Figura 21:</b> Complementações na Atuação do Professor.....	105

## QUADROS

<b>QUADRO 1:</b> Quadro Comparativo .....	81
---	----

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	16
INTRODUÇÃO.....	19

### CAPÍTULO I

<b>1 APROXIMAÇÕES ENTRE NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO .....</b>	<b>24</b>
1.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO .....	24
1.2 A DÉCADA DO CÉREBRO .....	24
1.3 O MODELO DE BRUER .....	25
1.4 TRANSDISCIPLINARIDADE .....	30
1.5 AS INICIATIVAS DE FAZER EMERGIR UM NOVO CAMPO CIENTÍFICO .....	32
1.6 OS MODELOS DE PESQUISA PARA O NOVO CAMPO .....	34
1.7 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	41

### CAPÍTULO II

<b>2 A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS .....</b>	<b>42</b>
2.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO .....	42
2.2 O TRIÂNGULO DIDÁTICO .....	42
2.3 A SITUAÇÃO DIDÁTICA COMO UM JOGO DIDÁTICO .....	43
2.4 MOMENTOS DIDÁTICOS DA TSD.....	44
2.4.1 DEVOLUÇÃO.....	44
2.4.2 A SITUAÇÃO A-DIDÁTICA.....	44
2.4.2.1 FASES DA SITUAÇÃO A-DIDÁTICA.....	45
2.4.3 INSTITUCIONALIZAÇÃO.....	45
2.4.4 SÍNTESE DOS MOMENTOS DIDÁTICOS DA TSD.....	45
2.4.5 UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA TSD.....	46
2.5 O CONTRATO DIDÁTICO .....	50
2.5.1 RUPTURA DO CONTRATO DIDÁTICO E RENEGOCIAÇÃO .....	52
2.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	52

### CAPÍTULO III

<b>3 A ABORDAGEM NEOPIAGETIANA DE BIDELE E FISCHER .....</b>	<b>54</b>
3.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO .....	54
3.2 A TEORIA DE PIAGET: interacionismo e construtivismo .....	54
3.3 ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO SEGUNDO PIAGET .....	56

3.3.1 ESTÁGIO SENSORIO-MOTOR (0 a 2 anos) .....	56
3.3.2 ESTÁGIO PRÉ-OPERATÓRIO (2 a 7 anos) .....	57
3.3.3 ESTÁGIO OPERATÓRIO-CONCRETO (7 a 12 anos) .....	59
3.3.4 ESTÁGIO OPERATÓRIO-FORMAL (12 anos em diante) .....	60
3.4 A ABORDAGEM NEOPIAGETIANA DE THOMAS BIDELE E KURT FISCHER....	61
3.4.1 O PRINCÍPIO DA ESPECIFICIDADE DE DOMÍNIO.....	61
3.4.2 FAIXA DE DESENVOLVIMENTO .....	66
3.4.3 A METÁFORA DO ANDAIME .....	68
3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	69

#### **CAPÍTULO IV**

<b>4 A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS (TSD) E A ABORDAGEM NEOPIAGETIANA DE BIDELE E FISCHER .....</b>	<b>71</b>
4.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO .....	71
4.2 A TSD NA VISÃO DA ABORDAGEM NEO-PIAGETIANA DE BIDELE E FISCHER .....	71
4.2.1 A INFLUÊNCIA DO STATUS SOCIOECONÔMICO (SSE) NO DESEMPENHO EM MATEMÁTICA ESCOLAR .....	74
4.2.2 O CONTEXTO DE APRENDIZAGEM EM SALA DE AULA .....	75
4.2.3 CONTRIBUIÇÕES DA ABORDAGEM NEO-PIAGETIANA DE BIDELE E FISCHER À TSD .....	77
4.2.4 SITUAÇÕES EM CONTEXTOS DIDÁTICOS .....	87
4.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	88

#### **CAPÍTULO V**

<b>5 A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS E A INFLUÊNCIA DOS FATORES SOCIOEMOCIONAIS NO PROCESSO DE ENSINO/APRENDIZAGEM DA MATEMÁTICA .....</b>	<b>89</b>
5.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO .....	89
5.2 APROXIMANDO A PESQUISA NEUROCIENTÍFICA DA PRÁTICA EDUCACIONAL .....	89
5.2.1 ANSIEDADE MATEMÁTICA .....	90
5.2.1.1 RESULTADOS DE NEUROIMAGEM .....	91

5.2.1.2 INDICADORES E ESTRATÉGIAS DE REVERSÃO DE ANSIEDADE MATEMÁTICA .....	93
5.2.2 A REDE DMN E A CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO .....	94
5.2.3 CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO, MOTIVAÇÃO E A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS (TSD) .....	97
5.3 A APLICABILIDADE DA TSD SOB O OLHAR DA NEUROCIÊNCIA SOCIOAFETIVA .....	97
5.3.1 MOTIVAÇÃO INICIAL: fatores socioemocionais e a devolução .....	98
5.3.2 A NEUROCIÊNCIA SOCIOAFETIVA E A SITUAÇÃO A-DIDÁTICA: ruptura do contrato didático .....	99
5.3.3 MOTIVAÇÃO FINAL: construção de significado e a Institucionalização.....	102
5.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....	104
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>6 A PROPOSTA NEUROEDUCACIONAL .....</b>	<b>105</b>
6.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO .....	105
6.2 COMPLEMENTAÇÕES NA ATUAÇÃO DO PROFESSOR.....	106
6.2.1 NA DEVOUÇÃO.....	106
6.2.2 NA SITUAÇÃO A-DIDÁTICA .....	106
6.2.3 NA INSTITUCIONALIZAÇÃO .....	107
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>118</b>

## APRESENTAÇÃO

### 1) Metodologia da Pesquisa

Neste trabalho, buscamos uma aproximação entre o campo emergente da Neuroeducação e a Teoria das Situações Didáticas, com foco nos problemas de aprendizagem relacionados à diversidade em sala de aula nos níveis contextual, socioeconômico e socioemocional. Para tratarmos as diferenças epistemológicas e metodológicas entre as áreas envolvidas, elaboramos um Modelo de Pesquisa Neuroeducacional inspirado no Modelo de Níveis de Desenvolvimento proposto por Tommerdahl (2008), no qual essas diferenças são superadas através da multidisciplinaridade defendida por Samuels (2009), cujo foco está na questão de pesquisa comum a todas as áreas e não nas epistemologias ou nas metodologias de pesquisa. Nesse sentido, a resposta para a questão de pesquisa seria alcançada por uma compreensão holística.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta neuroeducacional de aplicação da TSD que atenda à diversidade em sala de aula quanto a fatores contextuais, socioeconômicos e socioemocionais. Para alcançar esse objetivo, fizemos, inicialmente, uma revisão da literatura, através da discussão de artigos científicos e teses, desde a década de 1990 (chamada de década do cérebro) até a década de 2010. Essa revisão foi muito importante para a definição do modelo metodológico de pesquisa, o qual foi inspirado, conforme já citado, no Modelo de Níveis de Desenvolvimento proposto por Tommerdahl (2008). Nesse modelo neuroeducacional, Jodi Tommerdahl destaca a pesquisa multidisciplinar através de teorias científicas nas áreas da Educação, Psicologia e Neurociências, com foco único em uma questão educacional. Em nosso Modelo Metodológico de Pesquisa (Figura 1), escolhemos a Teoria das Situações Didáticas de Guy Brousseau, a Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) e a Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang, respectivamente, para as áreas da Educação, Psicologia e Neurociências. O foco das discussões está na questão de pesquisa: que contribuições à TSD podemos propor para que a sua aplicação atenda à diversidade em sala de aula quanto a fatores contextuais, socioeconômicos e socioemocionais?

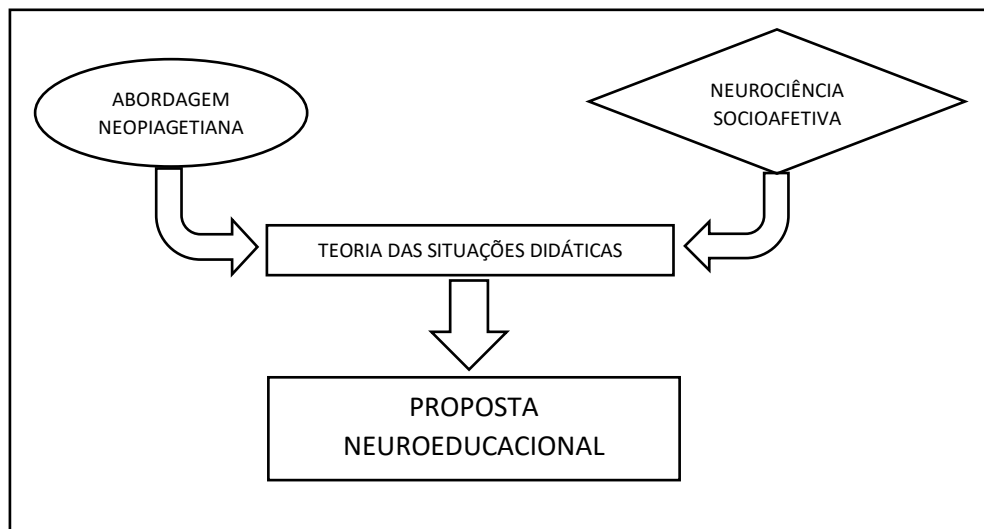
Escolhemos a TSD pela proposta construtivista de aprendizagem por adaptação que permite ao professor observar atentamente, durante a construção do conhecimento, os aspectos comportamentais que servem de parâmetros para a identificação, remediação e reversão dos casos de dificuldade de aprendizagem em matemática. Nesse sentido, tanto a Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) quanto a Neurociência Socioafetiva de Immordino-



Yang trazem resultados significativos e inovadores, voltados para a diversidade em sala de aula, que serviram de suporte para a elaboração de nossa proposta neuroeducacional multidisciplinar.

O percurso metodológico desta tese consiste, em um primeiro momento, em discutir a aplicabilidade da TSD sob os olhares da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer e da Neurociência Socioafetiva, com foco na questão de pesquisa. Em um segundo momento, em discutir a viabilidade da inserção de resultados dessas duas áreas na TSD, com o objetivo de responder à questão de pesquisa (Figura 1).

FIGURA 1: Modelo Metodológico de Pesquisa



Fonte: o autor

## 2) Estrutura Metodológica

Os capítulos 1º, 2º e 3º foram desenvolvidos para proporcionar apoio ao Modelo Metodológico. No capítulo 1º fizemos uma revisão da Neuroeducação expondo de forma clara o desenvolvimento das ideias sobre esse campo emergente, desde os anos 1990, conhecidos como a “década do cérebro”, até a última década de 2010. Esta revisão foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente para a elaboração da metodologia de pesquisa. No capítulo 2º apresentamos a Teoria das Situações Didáticas (TSD) de Guy Brousseau, destacando as atuações de alunos e professores em cada um de seus momentos didáticos, o contrato didático, sua ruptura e renegociação. Além disso, um exemplo de situação didática é apresentado como um modelo elucidador das atuações de alunos e professores em cada momento didático da TSD. A aplicação da TSD em sala de aula aparece neste trabalho como o objeto central das discussões. No capítulo 3º apresentamos inicialmente a epistemologia genética de Piaget e, em seguida, os aspectos gerais da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e

Fischer (2017). Discutimos também a possibilidade de influência da teoria de Piaget na estruturação da TSD e os problemas da aplicabilidade de Piaget nas escolas, segundo Bidell e Fischer.

Nos capítulos 4º e 5º propomos contribuições à TSD no sentido de atender à diversidade em sala de aula, no que diz respeito a fatores contextuais, socioeconômicos e socioemocionais. No capítulo 4º discutimos, inicialmente, a influência do status socioeconômico no desempenho do aluno na matemática escolar. Em seguida, apresentamos o contexto de aprendizagem e a atuação do professor na aplicação da TSD. Finalizamos o capítulo discutindo de que forma a Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) pode contribuir para a aplicação da TSD em sala de aula. Mostramos, através de exemplos práticos, como é possível usar essa Abordagem Neopiagetiana para ajudar na elevação do nível cognitivo do aluno durante uma atividade matemática nos moldes da TSD – fator indispensável para que ocorra a adaptação e o reequilíbrio. No capítulo 5º discutimos a aplicabilidade da TSD sob o olhar da Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang. Inicialmente, discutimos a ansiedade matemática como um fator socioemocional que compromete o desempenho nesta disciplina. Os estudos apresentados diferem pelos métodos e ambientes de pesquisa utilizados. Alguns estudos foram realizados em laboratórios e utilizaram a neuroimagem como referência; outros foram desenvolvidos em ambiente escolar e utilizaram escalas de ansiedade matemática. Em seguida, apresentamos a criação de significado para o conhecimento matemático como uma estratégia motivacional e os resultados sobre a rede DMN (Default Mode Network) que auxiliam no entendimento da criação de significado. Finalizamos o capítulo apresentando uma proposta de inserção dos resultados encontrados na TSD.

No capítulo 6º, objetivando responder à questão de pesquisa, apresentamos a Proposta Neuroeducacional de aplicação da TSD, que é uma síntese dos resultados obtidos nos capítulos 4º e 5º. Discutimos a viabilidade da inserção de resultados da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer e da Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang em cada momento didático da TSD, através de sugestões de complementações na atuação do professor.

## INTRODUÇÃO

A educação pública brasileira, há várias décadas, vem sofrendo com mudanças frequentes em sua estrutura e organização. Cada governo que inicia parece querer deixar a sua “marca” com programas e projetos educacionais muitas vezes aprovados sem os cuidados necessários de consultas, debates e diálogos com as partes interessadas. Porém, quando a proposta é inovadora, de qualidade, está de acordo com a vanguarda das pesquisas educacionais e atende às necessidades atuais de globalização do século 21, temos, então, que apoiá-la e divulgá-la. Neste ano de 2020, o Governo do Estado de São Paulo, por meio da sua Secretaria da Educação, põe em prática o Programa “Inova Educação” em todas as escolas da rede estadual. Este Programa, que propõe colocar os estudantes do ensino básico no centro do processo de aprendizagem, apresenta a disciplina “Projeto de Vida” como uma das suas novidades. Essa disciplina irá ajudar os alunos na definição de seus objetivos de vida, no planejamento e na organização das metas a serem alcançadas por cada um. Trata-se de uma excelente iniciativa que proporcionará ao aluno a construção de significado e a formação de identidade, além de direcionar o ensino público no Estado de São Paulo nos rumos das propostas mais atuais da Neurociência Socioafetiva. Porém, seria muito mais eficiente se cada professor também incluísse, em seu planejamento, atividades que estimulam a construção de significado pessoal para o conhecimento adquirido pelo aluno.

A educação básica brasileira precisa de mais iniciativas como esta da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. A diversidade em sala de aula é uma outra questão importante que deveria ser incluída nas discussões que envolvam a criação de novos programas educacionais. Pesquisas importantes (ROSE, DALEY & ROSE, 2011; ROSE, ROUHANI e FISCHER, 2013) sobre a diversidade em sala de aula afirmam que as diferenças existem não apenas entre alunos, mas também com o mesmo aluno em resposta a diferentes contextos, pessoas e problemas. Além disso, outras pesquisas (SOARES e COLLARES, 2006; JORDAN e LEVINE, 2009; SCHLIEMANN, A. D., CARRAHER, D. W., CARRAHER, T. N., 2011) chamam a atenção para a influência do status socioeconômico do aluno no desempenho escolar em matemática. O status socioeconômico (SSE) é tipicamente definido pela renda familiar, nível de pobreza na vizinhança da criança e a escolaridade dos pais. Crianças menos favorecidas socioeconomicamente podem precisar de um trabalho diferenciado por parte do professor de matemática, ao iniciarem a vida escolar. A ansiedade matemática surge nesse cenário de diversidade como uma das causas de fracasso escolar em matemática. Objeto de pesquisas atuais da Neurociência, a ansiedade matemática deveria estar sendo combatida nas escolas

brasileiras, mas para isso, precisaríamos formar professores habilitados na identificação, remediação ou reversão deste problema. Isto também se aplica para o caso de crianças de baixo status socioeconômico que apresentam dificuldades de aprendizado ao iniciarem a vida escolar. Na verdade, existe uma excelente proposta neopiagetiana (BIDELL e FISCHER, 2017) de elevação do nível de compreensão do aluno em matemática, através de apoio contextual, que pode ser aplicada em várias situações em que o aluno não consegue acompanhar o nível de compreensão da turma.

Que bom seria se as teorias educacionais também fossem incluídas nas discussões sobre a criação de novos programas de governo voltados à educação. No Brasil, parece haver um “abismo” entre as pesquisas educacionais e as salas de aula. No caso do ensino de matemática, desde a década de 1970 que a Didática da Matemática vem produzindo importantes trabalhos de pesquisa, no entanto, os programas nacionais do livro didático não levam em consideração esses trabalhos. A Teoria das Situações Didáticas, de autoria de Guy Brousseau, aparece nesse cenário como referência para o planejamento das aulas do professor de matemática. A TSD – como é conhecida essa teoria –, possivelmente influenciada pela Teoria Epistemológica de Piaget, destaca-se pela visão construtivista em que o professor cria condições para que o aluno, por si só, construa o conhecimento matemático. Nesse sentido, a TSD surge como uma solução para os problemas de aprendizagem em matemática, porém, quando colocada em prática, os problemas relativos à diversidade podem vir à tona e isso nos leva a questionar se o aluno realmente consegue por si só construir o conhecimento matemático, independentemente do contexto.

Na verdade, todos esses problemas de ensino-aprendizagem necessitam de um acompanhamento multidisciplinar, pois, como vemos aqui, tanto a Neurociência quanto a Psicologia apresentam contribuições significativas para os problemas da Educação. Felizmente, já existem propostas de pesquisa em que Psicologia, Neurociência e Educação aparecem como componentes de um campo emergente que uns chamam “Neuroeducação”, outros “Ciência da Mente, Cérebro e Educação”. Nesse sentido, a Universidade de Harvard sai na frente ao criar o Programa de Mestrado em “Mente, Cérebro e Educação” (MBE Program). Indicado para pesquisadores acadêmicos e educadores profissionais, esse programa oferece cursos de mestrado com base na ciência do aprendizado e desenvolvimento e nos métodos de pesquisa que permitem estabelecer fortes conexões entre processos biológicos e resultados educacionais.

A Neuroeducação surge, então, como uma proposta de pesquisa colaborativa (multidisciplinar ou interdisciplinar) ousada e inovadora em que profissionais de diferentes

áreas científicas têm a oportunidade de trabalhar como uma equipe. Evidentemente que muitos problemas surgem quando nos propomos a trabalhar com uma equipe de pesquisadores de áreas distintas, mas o principal obstáculo parece estar sendo transposto pela Universidade de Harvard; o Programa de Mestrado em “Mente, Cérebro e Educação” forma mestres treinados para o entendimento da linguagem científica nas principais áreas que compõem a Neuroeducação. Esses mestres podem atuar como “tradutores” da linguagem científica em equipes interdisciplinares.

Imbuídos dessa nova forma de ver o processo de ensino-aprendizagem, fomos levados a desenvolver nesta tese uma pesquisa que tivesse como parâmetros os pressupostos da Neuroeducação, com o propósito de refletir sobre novas possibilidades de aplicação da TSD e, principalmente, satisfazer ao anseio de contemplar nossa prática docente em Matemática – de formação de professores para os anos iniciais – com um estudo que ajude os futuros professores a lidar com a diversidade em sala de aula e, de uma forma mais abrangente, colaborar para que esse campo emergente se consolide como um novo campo científico.

Este trabalho de tese doutoral busca responder a questionamentos que levantamos em 2016 quando ingressamos no Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemáticas (PPGECM) e, ao mesmo tempo, iniciamos a docência no Curso de Licenciatura Integrada<sup>1</sup> da Faculdade de Educação Matemática e Científica (FEMCI) do Instituto de Educação Matemática e Científica (IEMCI) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Nesta época, frequentávamos as reuniões do Grupo de Didática da Matemática (GEDIM) como crédito obrigatório do doutorado – além de disciplinas obrigatórias – e atuávamos também como professor de matemática na Licenciatura Integrada. Em uma de nossas aulas na Licenciatura Integrada, durante a exposição de um trabalho em grupo, observamos que uma das alunas não interagiu verbalmente no grupo, mantendo-se o tempo todo calada e de costas para a turma. No final da aula, pedimos à aluna que se posicionasse a respeito do tema e, para nossa surpresa, ela começou a chorar copiosamente. Então, encerramos a aula e conversamos a sós com a aluna na tentativa de esclarecer as razões do descontrole emocional. Em seu depoimento, ela afirmou que se tratava de um problema antigo com a Matemática.

---

<sup>1</sup> O curso de **Licenciatura Integrada em Ciências, Matemática e Linguagens** (LIECML) destina-se à formação, em nível de graduação, de professores para ensinar Ciências, Matemática, Língua Materna e Estudos Sociais nos anos iniciais do Ensino Fundamental e na Educação de Jovens e Adultos (EJA). A formação docente desenvolvida no âmbito do referido curso é fundada em quatro níveis de letramento: (1) linguagem materna, (2) linguagem matemática, (3) linguagem científica e (4) digital. ([www.femci.ufpa.br](http://www.femci.ufpa.br))

Argumentamos, então, que ela precisava superar esse problema, pois, futuramente, teria que ensinar essa disciplina para seus alunos. Ela, então, num tom de revolta, explicou que, antes de escolher o curso de Licenciatura Integrada, havia participado da “feira do vestibular” na UFPA e recebeu a informação de que no curso de Licenciatura Integrada do IEMCI iria estudar pouquíssima matemática e que por essa razão fez sua opção no vestibular.

Paralelamente, observamos nas reuniões do GEDIM que a Teoria das Situações Didáticas, de Guy Brousseau, que é construtivista e interacionista, não explora algumas questões importantes que envolvem a diversidade em sala de aula. A TSD trabalha a diversidade através das interações entre os alunos e o meio (*milieu*), naquilo que Brousseau chama de aprendizagem por adaptação, mas não explora a influência de fatores contextuais (mudança do contexto de aprendizagem para alunos com baixo desempenho matemático), socioeconômicos (a influência do status socioeconômico na aprendizagem) e socioemocionais (ansiedade matemática) no ensino-aprendizagem de matemática na escola.

Embora este trabalho não tenha como objetivo tratar das nossas experiências de sala de aula como professor, podemos afirmar que, no caso da nossa aluna da Licenciatura Integrada, há indícios de esquiva e fuga, que são indicadores de ansiedade matemática (MENDES & CARMO, 2011; CARMO & FERRAZ, 2012 ; CARMO & SIMIONATO, 2012; FASSIS, MENDES & CARMO, 2014; MENDES & CARMO, 2014).

Foi, então, a partir da experiência com essa aluna da Licenciatura Integrada e das nossas participações no GEDIM que decidimos desenvolver esta pesquisa, buscando um novo olhar sobre as questões tratadas pela TSD, não com a intenção de modificá-la, mas de inserir nessa teoria novos elementos da Psicologia e da Neurociência, através de um modelo neuroeducacional multidisciplinar, que possibilite a discussão da influência do contexto de sala de aula, do status socioeconômico e da ansiedade matemática na aprendizagem da matemática escolar. A exploração desses fatores, que fazem parte da diversidade em sala de aula, pode nos conduzir a novas possibilidades de aplicação da TSD.

Para um determinado aluno em dificuldade de aprendizagem em matemática escolar, podemos citar algumas estratégias de ensino que iremos discutir ao longo do texto, quanto à possibilidade de melhorar o desempenho matemático: mudança do contexto de aprendizagem em sala de aula; aproximação entre a matemática informal (do cotidiano) e a matemática formal (da escola); identificação, remediação ou reversão da ansiedade matemática; criação de significado pessoal para o conhecimento matemático.

Esperamos que os resultados apresentados nesta tese de doutorado possam proporcionar um olhar diferenciado sobre a aplicação da TSD, aumentando as possibilidades de atuação do professor, com estratégias de ensino que favoreçam a elevação do nível de habilidades matemáticas individuais, a inclusão social, a motivação e o combate à ansiedade matemática.

## CAPÍTULO I

### 1 APROXIMAÇÕES ENTRE NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO

#### 1.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

A chamada “década do cérebro” se caracterizou pelos avanços nas Ciências Neurológicas e isso despertou nos cientistas um grande entusiasmo no estudo do funcionamento cerebral. Tanto que alguns educadores viram a possibilidade de aplicar resultados das Neurociências diretamente em sala de aula. A partir daí, surge uma profunda discussão no meio científico sobre a possibilidade e/ou necessidade de aplicação desses resultados diretamente em sala de aula e sobre quem está habilitado a fazer tal aplicação. Dessas discussões surgiram várias iniciativas de fazer emergir um novo campo de pesquisa capaz de estudar cientificamente a melhor forma de aproximar as Neurociências da Educação. Neste capítulo discutimos como a ‘década do cérebro’ influenciou o surgimento deste novo campo de pesquisa – que alguns chamam “Neuroeducação” e outros, “Ciência da Mente, Cérebro e Educação” –, a pesquisa colaborativa entre pesquisadores de áreas diferentes, levando em consideração a multidisciplinaridade, a interdisciplinaridade e a transdisciplinaridade e os modelos de pesquisa colaborativa propostos para este novo campo. Discutimos também quão complexa é a análise das dificuldades de aprendizagem em leitura/escrita e em matemática, dando ênfase ao “Modelo de Níveis de Desenvolvimento” proposto por Jodi Tommerdahl.

#### 1.2 A DÉCADA DO CÉREBRO

No final dos anos 80 surge nos Estados Unidos, a partir de um grupo de pesquisadores da época, discussões a respeito das possibilidades de avanço das Ciências Neurológicas, tanto no ensino básico quanto no clínico. O resultado dessas questões deu origem em 1988 à proposta de que os anos 90 seriam conhecidos como a “Década do Cérebro”, quando, em um esforço nacional, diferentes cientistas se dedicariam a entender melhor como o cérebro (e o sistema nervoso) estaria organizado, procurando não somente conhecer o funcionamento de um cérebro sadio, mas também de um cérebro deficiente (Goldstein, 1994).

Assim, a partir de um esforço coletivo de diferentes políticos no Congresso e no Senado norte-americano, em 25 de julho de 1989, o presidente Bush assinou um decreto presidencial, conclamando os Estados Unidos a participarem da “Década do Cérebro”. Embora, inicialmente, este movimento tenha sofrido com limitações financeiras, as pesquisas avançaram e a proposta do presidente foi considerada um sucesso científico. Atualmente, as Ciências Neurológicas



Básica e Clínica são identificadas como um importante componente da agenda nacional de pesquisa e cerca de US \$1,5 bilhões é dedicado à pesquisa sobre o sistema nervoso, principalmente através dos programas do Instituto Nacional de Saúde (NIH) (Goldstein, 1994).

A partir dos Estados Unidos, iniciou-se uma reação em cadeia ao redor do mundo e várias federações e sociedades adotaram a “Década do Cérebro”, o que representou, segundo algumas autoridades, um avanço de mais de 50 anos em pesquisas sobre o sistema nervoso. A “Década do Cérebro” se propagou simultaneamente pelo Reino Unido e Europa e permitiu o desenvolvimento de técnicas e tecnologias para o estudo do cérebro humano intacto, promovendo o crescimento das pesquisas em Neurociências e favorecendo o nascimento de algumas disciplinas como: neurobiologia, neurogenética, neurociência computacional, neuroinformática, neurociência cognitiva e transplantes neurais (Tandon, 2000).

Antes da “década do cérebro”, mapear regiões do cérebro humano pelo seu papel funcional parecia uma tarefa muito longe de ser alcançada, mas com os enormes avanços da Neurociência nos últimos anos, isso já é uma realidade. Na verdade, em plena década do cérebro, Pechura & Martin (1991), observavam essas mudanças no mapeamento cerebral, com o surgimento de novos recursos para o estudo das estruturas e funções cerebrais. Nesta época, a grande expectativa girava em torno dos benefícios que estes novos recursos de pesquisa trariam para os distúrbios mentais e neurológicos:

O desafio agora é estabelecer uma iniciativa abrangente que aumente a capacidade dos neurocientistas de fazer descobertas sobre o cérebro e aplicar esse conhecimento aos muitos distúrbios mentais e neurológicos que afetam a humanidade (Pechura & Martin, 1991, p.25).

Portanto, a ‘Década do Cérebro’ ficou marcada pelos significativos resultados baseados em neuroimagens, os quais causaram grande entusiasmo à comunidade científica, mas também levaram alguns educadores a interpretações precipitadas e generalizadas. O principal questionamento que ficou desta década gira em torno de como a Neurociência pode subsidiar a Educação, de forma a melhorar o ensino-aprendizagem em sala de aula. Este questionamento vem sendo discutido até os dias de hoje e veremos os avanços e os desafios que surgiram dessas discussões.

### **1.3 O MODELO DE BRUER**

Foi no final da década do cérebro que John T. Bruer despertou o interesse da comunidade científica para o que ele chamou de “Argumento da Neurociência e Educação”. Bruer (1997) conta que na década de 1990 muitos educadores demonstraram um grande

entusiasmo, por meio de publicações, em como a compreensão emergente do desenvolvimento cerebral e das funções neurais poderia revolucionar a prática educacional. O “argumento da Neurociência e Educação”, ao qual Bruer (1997) se refere, se baseia em três descobertas da Neurobiologia do Desenvolvimento que levaram a interpretações e conclusões precipitadas da parte de educadores em querer aplicar essas descobertas diretamente em sala de aula. Primeiro, os neurocientistas descobriram que durante a infância ocorre um aumento dramático no número de sinapses (sinaptogênese) e em seguida ocorre um período de eliminação sináptica (poda sináptica). Segundo, existem Períodos Críticos que dependem de experiências no desenvolvimento de sistemas sensoriais e motores. Terceiro, em ratos, pelo menos, ambientes complexos ou enriquecidos fazem com que novas sinapses se formem (Bruer, 1997, p. 4).

Segundo Bruer (1997), devemos ser cautelosos ao interpretar e tirar conclusões dessas três descobertas para aplicar na educação; por exemplo, não se sabe exatamente qual a relação da sinaptogênese com a aquisição de habilidades de leitura e aritmética que as crianças adquirem por meio de interação social informal e instrução escolar formal. Por isso, advertiu que a aplicação desses resultados diretamente na educação seria uma ponte longa demais. Bruer (1997) acreditava, baseado nas descobertas da época, que o melhor caminho para aplicar os resultados da Neurociência na Educação seria utilizar duas pontes mais curtas (Figura 2):

Há uma ponte bem estabelecida, hoje com quase 50 anos, entre Educação e Psicologia Cognitiva. Há uma segunda ponte, com apenas 10 anos de idade, entre a Psicologia Cognitiva e a Neurociência (Bruer, 1997, p. 4).

FIGURA 2. As duas pontes de Bruer



Fonte: o autor

Goswami (2006) vai além e classifica a aplicação da sinaptogênese e de períodos críticos nas escolas como neuromitos<sup>2</sup> que precisam ser combatidos para que os verdadeiros avanços da Neurociência Cognitiva possam ser revelados. Há quem afirme que o problema dos neuromitos nas escolas poderia ser combatido se a neurociência fosse incluída como disciplina obrigatória na formação dos professores. Howard-Jones (2014) afirma que “atualmente, os

<sup>2</sup> Neuromito: equívoco gerado por um mal-entendido, uma leitura errada ou uma citação errônea de fatos cientificamente estabelecidos (por pesquisa do cérebro) para justificar o uso da pesquisa do cérebro na educação e em outros contextos. Fonte: OECD Publications, 2002.

professores estão mal preparados para criticar ideias e programas educacionais que reivindicam uma base neurocientífica”. Para Ansari (2015, p.1710):

os programas de formação de professores deveriam treinar sistematicamente os professores na avaliação do conhecimento empírico durante o ‘Pre-service Training’, então esses indivíduos estariam mais bem equipados para usar evidências para subsidiar suas decisões pedagógicas.

E o problema pode ainda ser maior se considerarmos a possibilidade de os neuromitos inibirem a aprendizagem do aluno, em vez de melhorá-la (veja: Tommerdahl 2008; Ansari 2015).

Alguns dos neuromitos mais populares, segundo Rato, J. & Caldas, A. (2010) são: o uso de apenas 10% do cérebro; o funcionamento cerebral esquerdo e direito como independentes; as múltiplas inteligências; os estilos de aprendizagem baseados nas pedagogias multissensoriais; o beber bastante água para melhorar a aprendizagem.

Evidentemente que se trata de uma problemática ainda muito discutida nos dias de hoje, pois quando analisamos o sujeito dentro de um ambiente escolar muitas outras variáveis devem ser levadas em consideração e provavelmente essa era uma das preocupações de Bruer (1997) ao analisar a forma como educadores interpretavam as descobertas da Neurociência, sem levar em consideração o ambiente e as condições envolvidos nessas descobertas. Entretanto, Bruer (1997) admite que a plasticidade cerebral pode fornecer uma base neural para a aprendizagem formal e informal que ocorre nos ambientes socioculturais, inclusive nas escolas, mas é preciso cautela nas interpretações. Enfim, todas essas descobertas da Neurociência e as possibilidades de aplicação na educação necessitavam, segundo Bruer (1997), de mais amadurecimento e muita cautela e tentar aplicar essas descobertas diretamente na educação era uma ponte longa demais.

Segundo Bruer (1997), é necessário que a Psicologia Cognitiva forneça os seus resultados de pesquisas comportamentais da prática escolar (1ª ponte) à Neurociência Cognitiva para que esta possa pesquisar que relações existem entre esses resultados e as atividades cerebrais (2ª ponte). Desta forma, é possível inferir como o estudo do cérebro pode ajudar nas práticas educacionais. Como exemplo da primeira ponte, Psicólogos Cognitivos descobriram que alunos iniciantes na escola, que não trazem habilidade em comparação numérica – Qual número é maior, 5 ou 4? –, terão dificuldades na instrução de aritmética formal na escola. Essa habilidade em comparação numérica as crianças adquirem informalmente com seus irmãos mais velhos, pais, enfim, com seus familiares. Pesquisas apontaram que crianças de origem nas classes mais baixas da sociedade dos Estados Unidos não trazem essas habilidades de casa ao

iniciarem a vida escolar e que esse é um grande problema que precisa ser superado no início das atividades escolares formais, no sentido de nivelar esses alunos com os demais das classes média e alta. Como um exemplo da 2ª ponte, Neurocientistas Cognitivos buscam entender como as estruturas neurais e os circuitos cerebrais implementam os processos cognitivos em habilidades como a comparação numérica. A partir de tecnologias de imagem e gravação do cérebro de população de aprendizado normal, poderemos entender melhor as necessidades educacionais de populações especiais (Bruer, 1997, p.13).

Kurt Fischer parece não concordar com Bruer (1997), no que diz respeito a levar resultados biológicos diretamente para a educação. Segundo Fischer (2009), os exemplos usados por Bruer (1997) são limitados e omitem a grande utilidade da análise biológica na promoção de objetivos educacionais. Além disso, segundo Fischer (2009), Bruer (1997) desconsidera a utilidade de levar conceitos biológicos diretamente às práticas educacionais para se pensar sobre muitas situações escolares. Como contraexemplo, Fischer (2009) usa o caso das crianças com epilepsia severa que tiveram de passar por procedimento cirúrgico para a remoção de um hemisfério do cérebro e por isso são chamadas “crianças de meio-cérebro”. O fato é que, ao contrário das expectativas, algumas das crianças de meio-cérebro cresceram em ambientes que são altamente favoráveis à aprendizagem e desenvolveram fortes habilidades - até mesmo habilidades que a neurociência tradicional indica que elas não deveriam ser capazes de desenvolver. Isto implica que “educar uma ‘criança de meio-cérebro’ requer conhecimento da biologia do cérebro e do corpo, especialmente dos problemas especiais que são criados pela perda de um hemisfério” (Fischer, 2009, p.6). Neste caso, as descobertas da Neurociência devem chegar diretamente a todos os envolvidos na educação destas crianças. Outros trabalhos contribuem nesta discussão reforçando a proposição de que é possível, e em alguns casos necessário, que a Neurociência aplique suas descobertas diretamente à Educação. Por exemplo, resultados recentes da Neurociência, através de medidas de neuroimagem, mostram que é possível prever se uma criança terá ou não dificuldades em leitura e/ou matemática (veja: Ansari, 2015).

O fato é que a preocupação de Bruer (1997) com o grande entusiasmo de querer levar resultados da Neurociência diretamente para a sala de aula era, em parte, pertinente e parecia prever a atuação de pessoas desqualificadas intermediando o diálogo direto entre a Neurociência e a escola. Com relação a isto, Fischer (2009) concorda e também demonstra muita preocupação com o que ele chama de “tentativas irresponsáveis” de venda de muitos projetos comerciais com reivindicações que são “baseadas no cérebro”. A simples tentativa de

generalização das descobertas das Neurociências sem a devida preocupação científica e ética pode levar a atitudes precipitadas e inconsequentes. Por exemplo, “estudos sugerem que a aplicação de corrente elétrica fraca ao cérebro através de eletrodos no couro cabeludo pode levar a melhorias das funções cognitivas” (Ansari, 2015, p. 1714), porém a amostra desta pesquisa, além de pequena, era composta de indivíduos adultos. Generalizar esta pesquisa sugerindo a aplicação deste método em crianças pode levar a atitudes precipitadas e inconsequentes.

Também Goswami (2006) demonstra toda a sua preocupação em fazer algo que possa frear a aplicação errônea da Neurociência à Educação e fala isso baseado no que ela chama de “indústria de aprendizagem baseada no cérebro” e que o atual abismo entre a Neurociência e a Educação está sendo preenchido por pacotes e programas que se dizem baseados na ciência do cérebro. Na verdade, Goswami (2006) está mais preocupada em uma maneira de informar as descobertas da Neurociência diretamente aos professores:

Podemos aterrar o abismo entre a neurociência e a educação falando diretamente com os professores e evitando os intermediários da indústria da aprendizagem baseada no cérebro? (Goswami, 2006, p.6)

Nesta citação, Usha Goswami se refere aos grandes avanços que foram alcançados pelos neurocientistas cognitivos no entendimento da dislexia e da discalculia, mas que são resultados que ainda necessitam de desenvolvimento e se preocupa com a possibilidade – e isto é uma realidade nos dias de hoje – de pessoas não qualificadas levarem esses resultados incipientes à escola. Por isso a pergunta se não seria melhor que os próprios cientistas informassem aos professores sobre os avanços alcançados. Quanto a isso, Goswami (2006) nos conta que uma série de seminários foram realizados no Reino Unido, onde cientistas cognitivos informaram diretamente aos professores os resultados de suas pesquisas. E que na conferência de Cambridge destacados neurocientistas que trabalham em áreas como alfabetização, numeração, QI, aprendizagem, cognição social e TDAH falaram diretamente com os professores sobre as evidências científicas que estavam sendo coletadas nos laboratórios dos cientistas. O resultado desses encontros entre cientistas e professores teve como ponto positivo o esclarecimento de que muitos dos programas baseados no cérebro aplicados nas escolas não tinham nenhuma base científica, mas mostrou também que neurocientistas não possuem habilidades para falar com professores, uma vez que os cientistas estão muito preocupados em estabelecer o rigor de suas pesquisas experimentais, o que inviabiliza uma compreensão por parte dos professores. Para (Goswami, 2006), o melhor seria criar uma rede de comunicadores das pesquisas científicas, para que esses pudessem interpretar a neurociência a partir de uma perspectiva e linguagem dos

educadores, assim como no caminho inverso, as teorias educacionais pudessem ser conhecidas pelos neurocientistas.

Parece então que a comunicação – ou a falta de uma comunicação adequada – entre a neurociência e a educação é um problema sério que precisa ser contornado. Para Howard-Jones (2014), trata-se de um problema que envolve a terminologia e a linguagem diferentes utilizadas por neurocientistas e educadores e isto pode estar por trás dos processos que levam o conhecimento científico a ser compreendido de forma errônea. No entanto, para Howard-Jones (2014), diferentemente da proposta de Goswami (2006), não há necessidade da formação de comunicadores de pesquisa que atuem na interseção da Neurociência com a Educação. Para que a comunicação seja eficaz, neurocientistas devem trabalhar em colaboração direta com os educadores, que são os profissionais que estão mais familiarizados com as condições culturais e os conceitos da educação.

#### 1.4 TRANSDISCIPLINARIDADE

Uma forma de promover essa colaboração seria aproximar os programas de pesquisa das duas áreas, Neurociência e Educação. Poderíamos criar “Programas de Colaboração Científica” entre Neurociência e Educação com o objetivo de possibilitar que pesquisadores dessas duas áreas trabalhem juntos. Este seria um caminho para levar as promissoras pesquisas da Neurociência à sala de aula. Na verdade, a transdisciplinaridade, que une e funde áreas científicas diferentes e leva a um novo campo científico, parece ser o melhor caminho para realizar tal façanha. Koizumi (1999) discute essa questão de transdisciplinaridade por meio das Figuras 3A e 3B abaixo:

Figura 3A Inter ou multidisciplinaridade

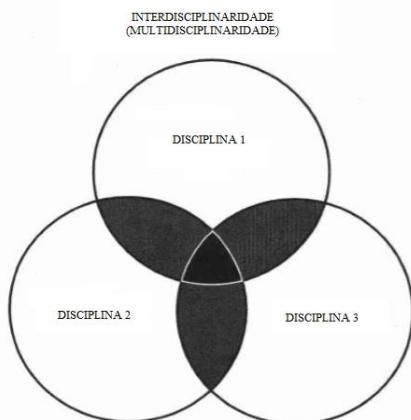
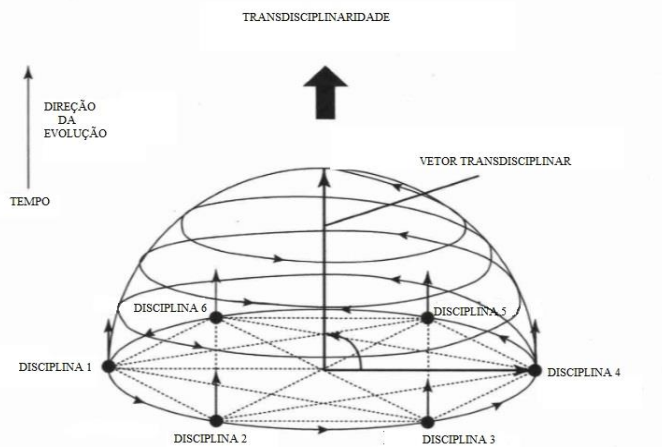


Figura 3B Transdisciplinaridade



Fonte: Koizumi (1999, p.8)

A multidisciplinaridade está situada num plano bidimensional (Figura 3A), enquanto a transdisciplinaridade ocupa um espaço tridimensional (Figura 3B). O conceito de transdisciplinaridade existe em um nível hierárquico superior produzido pela ligação de várias áreas científicas diferentes no nível hierárquico inferior. Para Koizumi (1999), a transdisciplinaridade inclui os conceitos de ponte e fusão entre áreas completamente diferentes. No entanto, é necessária alguma força motriz para interligar e fundir áreas e impulsionar a evolução de uma nova área abrangente e isso exige novas metodologias e novas organizações de pesquisa, incluindo uma linguagem comum, que possibilitem transcender as fronteiras que separam as disciplinas. Uma simples combinação de múltiplas áreas não é suficiente:

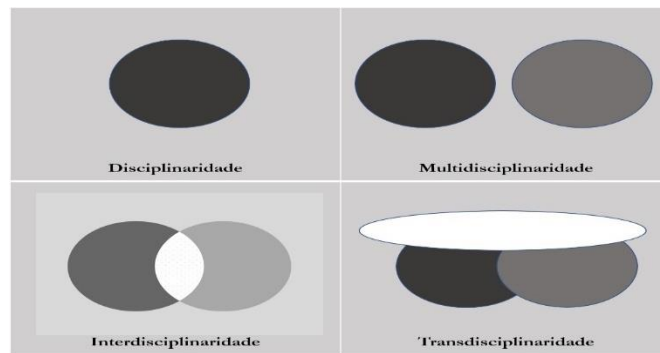
Uma simples combinação de múltiplas áreas não é suficiente para impulsionar o vetor transdisciplinar na Figura 3B na direção perpendicular ao plano multidisciplinar, que é a direção para a qual uma nova disciplina abrangente irá evoluir (Koizumi, 1999, p.8).

Em 2009, Boba M. Samuels retoma essa discussão admitindo que o caminho para uma pesquisa transdisciplinar que possa levar a Neurociência ao encontro da Educação não é uma tarefa simples, mas possível de ser realizada. Para Samuels (2009), as diferenças entre neurociência e educação são muitas, incluindo diferenças históricas, filosóficas e epistemológicas. Porém:

essas dificuldades podem ser superadas, não por uma perspectiva teórica ou metodológica ou epistemológica comum, mas por uma questão comum na qual todos os participantes transdisciplinares aplicam suas próprias especializações com o objetivo de alcançar uma compreensão holística da questão (Samuels, 2009, p.49).

Portanto, para Samuels (2009), multidisciplinaridade é a soma de conhecimentos individuais compartilhados por especialistas ou grupos especializados, enquanto interdisciplinaridade é o conhecimento criado na interseção de disciplinas estabelecidas e que a transdisciplinaridade se caracteriza como um novo tipo de conhecimento que surge da interação de diversas pessoas dentro de um grupo inteiramente novo (Figura 4), mas para que isso seja possível é necessário derrubar os muros que foram construídos para garantir a soberania de cada campo científico.

FIGURA 4. Multi, Inter e Transdisciplinaridade



Fonte: Samuels (2009, p.50)

Encontramos em Koizumi (1999) um excelente exemplo de trabalho em equipe multidisciplinar bem-sucedido, realizado pelo casal Pierre e Marie Curie e o químico analítico Gustave Bemont, no final do século 19, que interligou e fundiu Matemática, Física e Química e este trabalho inicial abriu caminho para um novo campo científico, a Medicina Nuclear. O próprio Hideaki Koizumi coordenou no Japão, no final do século 20, o “Instituto Virtual para Estudos Transdisciplinares”, que funcionava com auxílio da Internet, e que tinha como objetivo, entre outras coisas, avaliar a eficácia de uma organização estruturada especificamente para a investigação transdisciplinar. Essa é uma excelente forma de fomentar a pesquisa transdisciplinar, visto que dispensa a presença física do pesquisador, atendendo perfeitamente às tendências atuais de pesquisa globalizada.

### 1.5 AS INICIATIVAS DE FAZER EMERGIR UM NOVO CAMPO CIENTÍFICO

Voltando à década do cérebro, em alguns países, quase simultaneamente, pesquisadores despertaram grande interesse em relacionar a Biologia e Ciência Cognitiva com a Educação. Fischer (2009, p.4) nos conta que:

nos últimos anos do século XX, algo borbulhou quase simultaneamente em Paris, Tóquio e Cambridge, Massachusetts – um interesse em trazer a biologia e a ciência cognitiva para um relacionamento próximo com a educação, para promover um conhecimento mais profundo de aprendizado e ensino.

E foi no século 21, precisamente em 2004, que os grupos de Cambridge, Tóquio e Paris, em colaboração, fundaram a Sociedade Internacional Mente, Cérebro e Educação (IMBES) e lançaram a revista Mente, Cérebro e Educação.

Além dessas, no século 21 também surgiram outras iniciativas que buscavam a consolidação de um campo emergente que uns chamam Neuroeducação, outros chamam Ciência da Mente, Cérebro e Educação (*MBE Science*), ou ainda Neurociência Educacional, o



qual propõe reunir de forma colaborativa pesquisadores da Neurociência, da Psicologia e da Educação. Surgiram ações na “Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico” (OCDE); na “Pesquisa em Neurociência na Cúpula da Educação”, que reuniu neurocientistas, pesquisadores da educação, profissionais e formuladores de políticas, e na “Associação Europeia para a Pesquisa sobre Aprendizagem e Instrução” (EARLI). Todos esses eventos tinham a missão comum de incentivar a pesquisa interdisciplinar colaborativa e informar sobre as promessas e as armadilhas deste campo em desenvolvimento (Ansari, D., De Smedt, B., Grabner, R.H., 2012, p.106).

Tokuhamas-Espinosa (2008) também apresenta uma iniciativa interessante de pesquisa em que a autora contou com a colaboração de especialistas nas áreas da Neurociência, Psicologia e Educação com o intuito de definir parâmetros para padrões neuroeducacionais. Após realizar uma revisão da literatura sobre potenciais resultados da Neurociência para aplicação em sala de aula, a autora desenvolveu uma meta-análise desse material e os especialistas usaram os critérios estabelecidos pela OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) para chegar a um consenso sobre o uso de informações neuroeducacionais em ambientes de sala de aula. A própria autora atuou como coordenadora das discussões que estabeleceram esses padrões. No final de sua pesquisa, Tokuhamas-Espinosa (2008) propôs 12 Fundamentos, 22 Princípios, e 10 Diretrizes Instrucionais para um novo modelo para o que ela chamou de Neuroeducação.

Dentre todas essas iniciativas, daremos aqui um destaque maior para a Sociedade Internacional da Mente, Cérebro e Educação (IMBES) por abrir as portas para pesquisadores de várias áreas e de qualquer lugar do Mundo que pudessem colaborar para o desenvolvimento do Movimento Mente, Cérebro e Educação (MBE). Foi em 1993 que a Universidade de Harvard respondeu às expectativas da chamada década do cérebro, criando uma interfaculdade denominada Mente, Cérebro e Comportamento (MBB). A ideia de aproximar Neurociência e Educação amadureceu e no início dos anos 2000, sob a liderança de Kurt Fischer, o Programa de Mestrado da Escola de Graduação em Educação de Harvard (HGSE) criou uma opção de Mestrado em MBE. E foi mergulhada neste cenário de grande entusiasmo que surge em 2004 a Sociedade Internacional da Mente, Cérebro e Educação (IMBES) como base de apoio ao crescimento do emergente campo MBE, e três anos depois surge a primeira edição da revista científica Mente, Cérebro e Educação. Para completar essa grande iniciativa, no outono de 2007, a IMBES realizou sua primeira conferência internacional com 14 países e abordou mais de 25 tópicos (veja: Schwartz, 2015).

## 1.6 OS MODELOS DE PESQUISA PARA O NOVO CAMPO

A principal missão da IMBES é a pesquisa colaborativa e o grande desafio é encontrar a forma ideal para fomentar esse tipo de pesquisa. As Figuras 5A e 5B abaixo são usadas por Schwartz (2015) para esclarecer a natureza dos desafios que a IMBES e o campo da MBE enfrentam. A Figura 5A mostra um modelo de relação linear entre as áreas envolvidas. A dificuldade neste modelo é que mover-se de um nível hierárquico para o seguinte gera regras novas para entender as relações entre variáveis. A Figura 5B representa um modelo em forma de diagrama de Venn, cuja importância está na convergência representada pela pequena região central, que sugere um foco único para os colaboradores da pesquisa. No entanto, o que não é óbvio é como a pequena população de indivíduos que se encaixa nos três círculos sobrepostos funcionará em conjunto. Além disso, as conversas que emergem em cada uma das três regiões onde apenas duas disciplinas se sobrepõem (Cérebro-Educação, Mente-Educação e Cérebro-Mente) são únicas e muito diferentes do que está se desdobrando no centro do diagrama (Schwartz, 2015, pp.65-67).

FIGURA 5A: O modelo dos três passos



FIGURA 5B: O modelo da sobreposição de disciplinas



Fonte: (Schwartz, 2015, p.65)

Mesmo que tenhamos avançado nas pesquisas multidisciplinares e interdisciplinares, muito ainda precisa ser feito para que essas pesquisas alcancem um nível de excelência em que Neurocientistas tenham consciência da importância da pesquisa educacional e das abordagens pedagógicas usadas nas escolas, e no caminho inverso, em que pesquisadores educacionais tenham uma boa percepção das teorias e abordagem metodológica da neurociência. E um dos principais fatores que contribui negativamente são os muros que a maioria dos pesquisadores insiste em levantar como uma forma de estabelecer fronteiras que só prejudicam e limitam o desenvolvimento das pesquisas. Uma aproximação mais efetiva entre neurocientistas e educadores resolveria um grande problema que surge ao questionarmos qual o impacto dos resultados neurocientíficos de laboratório quando levados ao contexto escolar. A falta desta

compreensão pode levar a deturpações fundamentais de ambos os lados, como os neuromitos citados anteriormente. Essa questão ecológica é apenas um dos problemas metodológicos a serem superados. O tamanho muito pequeno das amostras em pesquisas de Neurociência – justificados pelo enorme número de dados coletados durante uma sessão de imagem e pelos custos envolvidos na realização de pesquisas de neuroimagem funcional – em comparação com as amostras das pesquisas educacionais também é um problema metodológico que precisa ser superado (Ansari, De Smedt, Grabner, 2012, pp.112-113). Isso reforça ainda mais as ideias de Koizumi (1999) de criar novas organizações de pesquisa para uma abordagem transdisciplinar.

De fato, até aqui parece haver um consenso de que mudanças devem acontecer no planejamento das pesquisas que envolvem Neurociência e Educação, para que os resultados possam chegar às salas de aula, onde o ensino ainda não foi efetivamente contemplado pelas descobertas da neurociência. Em relação a essas mudanças, Tommerdahl (2008, p.8) afirma que:

Apesar do ímpeto crescente desse novo campo da educação, o ensino em sala de aula ainda não foi radicalmente alterado pela introdução de metodologias comprovadas e confiáveis, construídas sobre as ciências do cérebro.

Na verdade, a Neurociência tem avançado na questão do ensino-aprendizagem para crianças com alguma disfunção cognitiva, como a discalculia e a dislexia, mas não tem contribuído no contexto geral de ensino-aprendizagem.

Tommerdahl (2008) discute essa questão de por que as descobertas das neurociências não estão desempenhando um papel maior nas práticas educacionais e destaca as três principais dificuldades encontradas: a primeira é que tanto o estudo do cérebro realizado por neurocientistas quanto o estudo do ensino-aprendizagem realizado por educadores têm alto grau de complexidade, a segunda são as limitações inerentes aos equipamentos de imagem cerebral e a terceira dificuldade gira em torno do fato de que as descobertas de laboratórios não podem ser imediatamente aplicadas à sala de aula, e para esta última dificuldade a autora propõe um modelo multidisciplinar que discutiremos posteriormente.

Quanto à complexidade, como exemplo, Tommerdahl (2008, p.8) comenta a tarefa de escrever no caderno uma frase ditada pelo professor em sala de aula:

parece ser uma tarefa simples, mas envolve demandas cognitivas que incluem o processamento linguístico e pragmático da questão, o reconhecimento de palavras na sentença ditada, a transferência das unidades faladas para sinais escritos e a integração de nosso conhecimento mundial sobre como a escrita é realizada, por exemplo, usando uma letra maiúscula no início de uma frase e usando a pontuação e a ortografia

corretas. Essa lista poderia se tornar ainda mais complexa se adicionássemos tarefas como o uso de memória de trabalho e sistemas de atenção.

Nessa discussão colocada pela Dr.<sup>a</sup> Jodi Tommerdahl, ela chama a atenção para o fato de que analisar as razões pelas quais um determinado aluno não consegue seguir as instruções do professor no exemplo acima torna-se muito difícil, as possibilidades são enormes. O fato é que isso não se restringe apenas às questões de Linguagem, o processo de ensino-aprendizagem em Matemática também tem as suas complexidades.

Como exemplo de sala de aula, podemos citar uma tarefa de Matemática comum nas turmas das escolas brasileiras, a partir do 9º ano, que é resolver uma equação do 2º grau do tipo  $x^2 + 2x - 1 = 0$ , que o aluno poderá resolver aplicando diretamente a Fórmula de Bhaskara  $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$  e, se o aluno não lembrar desta fórmula, poderá, por exemplo, resolvê-la através de fatoração. Analisemos agora a possibilidade de um aluno não conseguir encontrar uma resposta para esta tarefa, que seria, na sua forma mais simplificada,  $x = -1 + \sqrt{2}$  ou  $x = -1 - \sqrt{2}$ . Se o aluno lembrou da Fórmula de Bhaskara, mas não consegue realizar os cálculos necessários, então estamos diante de um problema aritmético que envolve operações de adição, subtração, multiplicação, divisão e radiciação e isso inclui a parte conceitual, as regras de sinal, os algoritmos e as técnicas de resolução. Numa segunda situação, o aluno poderia resolver a tarefa usando fatoração. Neste caso, ele deveria concluir que a equação  $x^2 + 2x - 1 = 0$  é equivalente à equação  $(x + 1)^2 = 2$  e partir para a solução da segunda equação.

Notemos que descobrir o motivo pelo qual um aluno não consegue resolver a tarefa discutida acima é uma análise complexa que envolve muitas variáveis, e que se torna praticamente impossível de analisar se estivermos fora do contexto da situação. Parece que a sala de aula é o laboratório mais indicado para pesquisar este problema. Quanto a isso, já existem alguns estudos de processos neurais associados ao processamento matemático que buscam um alto grau de validade ecológica, através de experimentos que se assemelham às tarefas apresentadas em sala de aula, porém não são realizados no ambiente escolar. Ainda existem outros problemas relatados sobre essa tentativa de alcançar alto grau de validade ecológica: limitações do equipamento de registro de neuroimagem, a amostra era composta só por alunos adultos e, além disso, eram alunos de classe média (veja: Grabner & Ansari, 2010).

Voltando à tarefa matemática proposta acima, poderíamos aqui especular que o aluno não a resolveu porque ele não conseguiu resgatar da memória a fórmula de Bhaskara e nem o

método de fatoração. Quanto a isso, propomos uma simulação de como pesquisadores, isoladamente, reagiriam a esta situação.

O Dr. Kurt Fischer afirmaria que devemos ter cautela com modelos que colocam o cérebro como o responsável direto pela aprendizagem de um indivíduo, sem levar em consideração o corpo, os relacionamentos e a cultura de uma pessoa:

Usando esse modelo, as pessoas falam como se o aprendizado ocorresse no cérebro, deixando de fora as formas como o corpo contribui para a aprendizagem, bem como os papéis que o ambiente de uma pessoa desempenha na formação da aprendizagem e no fornecimento de informações (Fischer, 2009, p. 5).

O Dr. Todd Rose diria que para encontrar o motivo pelo qual um determinado aluno não consegue resolver uma tarefa de sala de aula é preciso levar em consideração o comportamento deste aluno em vários contextos:

As respostas às perguntas de “quem” exigem muito mais do que uma compreensão da biologia das diferenças dos alunos com base em medidas dimensionais, como testes de inteligência ou avaliações padronizadas (Rose, T.; Daley, S.; & Rose, D., 2011, p.155).

O Dr. Daniel Ansari reagiria afirmando que a educação é um processo que induz a plasticidade cerebral através da instrução em um contexto social e que:

Os professores são os orquestradores da plasticidade neuronal de seus alunos durante o horário de aula. Para que o conhecimento seja adquirido, o cérebro tem que codificar a informação, o que envolve mudanças na conectividade entre as células nervosas (isto é, a plasticidade sináptica) (Ansari, 2015, p.1704).

O Dr. Alexander Vaninsky diria que pode se tratar de um caso de ansiedade matemática, que, na sua opinião, é a principal barreira para o sucesso nesta disciplina e por isso deve ser eliminada. Além disso, em alguns casos, nenhuma técnica de ensino funciona:

tais casos incluem déficit de memória de trabalho que pode resultar em ansiedade matemática, fraca memória de longo prazo que impede o armazenamento dos novos fatos por um tempo razoavelmente longo e excessivo ruído de informação nos canais que dificulta a aquisição de informações (Vaninsky, 2017, p.387).

O Dr. Guy Brousseau provavelmente faria uso da sua Teoria das Situações Didáticas para afirmar que esta tarefa deveria fazer parte de uma Situação Didática, em uma referência clara ao Construtivismo, em que:

o aluno aprende adaptando-se a um meio que é um fator de contradições, de dificuldades, de desequilíbrios, um pouco como acontece na sociedade humana. Esse saber, fruto da adaptação do aluno, manifesta-se pelas respostas novas, que são a prova da aprendizagem (Brousseau, 1996, p.49).

Não queremos usar essas informações para inferir sobre o problema acima colocado e nem confrontar os teóricos, mas apenas fazer uma provocação no sentido de mostrar como são

diferentes as formas de olhar um mesmo problema que ocorre em sala de aula e como seria interessante se pesquisadores trabalhassem juntos na tentativa de melhorar o ensino-aprendizagem, no caso, de matemática.

O fato é que em ambos os métodos de resolução da tarefa que discutimos acima precisamos da aritmética para resolver, portanto, a dificuldade pode estar nas aulas de Matemática dos anos iniciais, uma dificuldade que vem se arrastando ao longa da vida escolar do aluno e que provoca enormes problemas no aprendizado e até nas relações sociais no ambiente escolar. Seja qual for a origem desta dificuldade, em uma pesquisa colaborativa entre as Neurociências, a Psicologia e a Educação Matemática, uma questão de pesquisa para este problema colocado acima seria “o que está causando a dificuldade em resolver esta tarefa por parte de alguns alunos e quais as estratégias educacionais indicadas para corrigir ou amenizar este problema em sala de aula”. A pesquisa poderia iniciar pelos Teóricos da Educação Matemática através de uma investigação preliminar que envolveria os alunos e o professor da turma – as suas participações seriam imprescindíveis. Em seguida, encaminhada para uma discussão multidisciplinar. Esta seria uma forma interessante de levar um problema de sala de aula para o conhecimento de neurocientistas, psicólogos e educadores e desta forma fomentar a pesquisa multidisciplinar. Resultados surpreendentes poderiam surgir desta pesquisa colaborativa. Estamos longe de atuarmos conforme os modelos transdisciplinares discutidos acima – Koizumi (1999) e Samuels (2009) – e que parecem ser o melhor caminho para levar a Neurociência ao encontro da Educação, pelo menos até o momento, portanto, uma pesquisa “multi-inter-disciplinar” já seria um grande avanço dentro da perspectiva de melhorar o processo ensino-aprendizagem, porque, na verdade, nem isso é feito atualmente. Acreditamos que o conhecimento transdisciplinar surgirá naturalmente, desde que exista o espírito de colaboração que transcende aos interesses individuais dos participantes desta base de pesquisa.

A segunda dificuldade encontrada por Tommerdahl (2008) são as limitações dos equipamentos de imagem cerebral. Um grande desafio é desenvolver um único equipamento de monitoramento da atividade cerebral que possua múltiplas capacidades, pois atualmente diferentes equipamentos de imagem cerebral têm diferentes capacidades que permitem diferentes possibilidades. Além disso, alguns equipamentos de monitoramento da atividade cerebral são extremamente barulhentos e outros sofrem interferência com o movimento da cabeça, o que dificulta a participação de crianças.

Em relação à terceira dificuldade encontrada por Tommerdahl (2008), vejamos um modelo de pesquisa multidisciplinar interessante que contempla a discussão acima. Na verdade,

a autora propõe um “tráfego de mão dupla” entre as Teorias Educacionais e as Neurociências, passando pela Psicologia. Inicialmente, detectada uma dificuldade na aprendizagem, Teóricos da Educação iniciam a pesquisa e, em seguida, encaminham-na no sentido de cima para baixo, conforme a Figura 6, até chegar nos Neurocientistas e, no sentido inverso, as descobertas da Neurociência para o problema relatado devem retornar, passando novamente pela Neurociência Cognitiva, Psicologia, até chegar nos Teóricos da Educação, antes de chegar na sala de aula, repetindo este processo quantas vezes forem necessárias para se chegar num consenso do que seria a melhor estratégia educacional para a questão de pesquisa e a partir daí iniciar a Testagem desta estratégia.

FIGURA 6. Modelo de Níveis de Desenvolvimento



Fonte: Tommerdahl (2008, p.9)

Na verdade, a autora admite que, para o Modelo de Níveis de Desenvolvimento avançar o mais efetivamente possível:

é necessário que os pesquisadores educacionais trabalhem junto com os estudiosos nos níveis cognitivo e psicológico para desenvolver e testar hipóteses sobre o funcionamento dos mecanismos subjacentes à aprendizagem (Tommerdahl, 2008, p.10).

Dentro da proposta deste modelo, é importante romper as fronteiras dos campos envolvidos para que a pesquisa colaborativa aconteça efetivamente e, usando aqui as ideias de Koizumi (1999, 2004), para que isso aconteça é necessário que haja motivação para o trabalho multidisciplinar, ou ainda que exista uma “força motriz” que impulse a pesquisa, resultando em novas organizações e metodologias de pesquisa, consolidando, desta forma, um novo campo de pesquisa da Mente, Cérebro e Educação, voltado para o melhoramento do processo ensino-aprendizagem.

Fischer (2009) concorda que a pesquisa deve ser colaborativa e de mão dupla, porém defende a inclusão de profissionais da educação, como professores, técnicos educacionais e os próprios alunos para trabalharem junto com os pesquisadores e formularem questões e métodos de pesquisa, de modo que possam conectar pesquisa e educação. Ele também critica a forma

atual de avaliação do ensino-aprendizagem através de testes padronizados nacionais e internacionais:

O que a educação precisa é de avaliações de performances escolares reais que sejam moldadas por pesquisadores, professores e alunos trabalhando juntos para examinar a eficácia de muitos aspectos da aprendizagem e do ensino no contexto das escolas (currículos, arranjos escolares, tipos de sala de aula, etc.) (Fischer, 2009, p.4)

Na verdade, Fischer (2009) propõe mudanças significativas para melhorar a infraestrutura dessas pesquisas colaborativas. Por exemplo, o Movimento MBE (*Mind, Brain, and Education*), que traz a biologia, a ciência cognitiva e o desenvolvimento humano, juntamente com a educação, para criar uma base científica forte para o ensino e o aprendizado, precisa melhorar a sua infraestrutura e, para tal, Fischer (2009, p.12) propõe três mudanças que são:

a) a criação de escolas de pesquisa para promover pesquisas que se conectam à prática e à política, (b) o estabelecimento de bancos de dados úteis sobre aprendizagem e desenvolvimento, e (c) a invenção de uma nova classe de educador que se especializa em traduzir entre pesquisa e prática e / ou em engenharia de materiais educativos e atividades baseadas em pesquisa.

Segundo Fischer (2009), essas escolas de pesquisas devem funcionar de forma semelhante aos hospitais universitários que prestam serviços à comunidade, mas que servem também para pesquisas que envolvem estudantes de medicina, profissionais da medicina, pesquisadores e pacientes, reunindo, desta forma, pesquisa e prática. O banco de dados seria semelhante ao trabalho que o INEP do Ministério da Educação realiza no Brasil, porém os dados devem incluir a forma como o aprendizado e o ensino ocorrem nas salas de aula, na frente de computadores ou em outros ambientes de aprendizado e não apenas dados estatísticos resultados de testes padronizados. Segundo Fischer (2009), essa iniciativa de criação de Engenheiros Educacionais, que nasce do programa de MBE em Harvard e na *International MBE Society* (IMBES), visa aplicar as descobertas da ciência cognitiva e da neurociência ao aprendizado em sala de aula e pode projetar materiais educacionais e atividades baseadas em pesquisas que promovem o aprendizado em softwares educacionais, na televisão infantil ou em playgrounds.

Muita coisa pode ser feita quando o espírito de colaboração é colocado acima dos interesses individuais. Esperamos que este trabalho possa contribuir de forma reflexiva para o futuro das pesquisas colaborativas que visam aproximar Neurociência e Educação e que as descobertas possam efetivamente ser aplicadas em sala de aula de forma segura, ética e eficiente.



## 1.7 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O que efetivamente surgiu na “década do cérebro” foi um grande entusiasmo em aplicar resultados da Neurociência na Educação, evidentemente, para obter respostas para um grande número de questionamentos sobre ensino-aprendizagem. Inicialmente, as preocupações se voltavam para os casos de disfunções cognitivas de origem neurológicas e se expandiu para os problemas gerais de ensino-aprendizagem. O fato é que essa “explosão em busca de ouro” fragmentou a pesquisa em várias frentes, sem comunicação entre os grupos, com metodologias e organizações independentes e muitas vezes com aplicações diretas na educação sem uma comprovação científica necessária. Isto parece estar sendo contido por organizações compostas por alguns países que tomaram a frente das discussões na tentativa de estabelecer as bases de um novo campo científico. Embora não se tenha chegado a um consenso quanto ao rótulo deste novo campo, já se conseguiu estabelecer que o caminho transdisciplinar é o mais indicado para levar a Neurociência ao encontro da Educação. Na verdade, muito ainda precisa ser discutido para se colocar em prática esse modelo transdisciplinar, pois existem vários obstáculos no caminho. Por exemplo, um grande desafio para o trabalho colaborativo neste modelo é derrubar os muros que cercam as áreas envolvidas. Motivar pesquisadores ao trabalho colaborativo é uma tarefa difícil que precisa ser superada; além disso, criar ambientes de pesquisa colaborativa com a participação direta de técnicos educacionais, professores e alunos necessita de mudanças profundas na política educacional. Quanto tempo a Medicina levou para convencer a humanidade da necessidade de estudar a anatomia em cadáveres? Hoje, como mostramos neste capítulo, médicos, alunos de medicina, pesquisadores, técnicos, enfermeiros e pacientes convivem nos hospitais universitários espalhados pelo Mundo. Não queremos ser pessimistas, até acreditamos que a Educação já está passando por transformações significativas, porém são iniciativas particulares de algumas áreas científicas. É necessário mais do que isso, é preciso iniciar uma abordagem “multi-inter-disciplinar” nas pesquisas sobre ensino-aprendizagem nas escolas. Acreditamos que os conhecimentos transdisciplinares surgirão naturalmente, desde que haja um espírito de colaboração que deixe de lado os interesses particulares dos representantes de cada área envolvida na pesquisa. O mais difícil é convencer profissionais de áreas diferentes a trabalharem juntos. Escrever artigos juntos já seria um bom começo. Por exemplo, o caso do casal Curie citado neste capítulo. Será que eles planejaram esta transdisciplinaridade que levou a um novo campo científico? Ou será que foi o resultado natural da “multi-inter-disciplinaridade” desenvolvida com um interesse comum do casal? O momento é de reflexão, de diálogo e, acima de tudo, de colaboração.

## CAPÍTULO II

### 2 A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS

#### 2.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

A Didática da Matemática é o estudo do processo de disseminação e transformação do conhecimento matemático em uma instituição e tem como objeto principal de estudo o ensino do conhecimento matemático. “A Didática da Matemática como um campo da ciência encontra-se na interseção da matemática, da epistemologia, da história da matemática, da psicologia linguística e filosofia”. (SRIRAMAN; ENGLISH, 2010, p. 19)

Na França, a sociedade de pesquisadores envolvidos em Didática da Matemática teve início na década de 1970 com os trabalhos de Guy Brousseau e Gérard Vergnaud, os quais são considerados como os fundadores desta sociedade. Destacamos como marco teórico na pesquisa em Didática da Matemática a *Teoria das Situações Didáticas (TSD)* de Guy Brousseau e a extensão desta Teoria por Yves Chevallard, a *Teoria Antropológica do Didático (TAD)*.

#### 2.2 O TRIÂNGULO DIDÁTICO

Brousseau (1986, p.399), define uma situação didática como:

um conjunto de relações estabelecidas explicitamente e / ou implicitamente entre um estudante ou um grupo de estudantes, um certo *milieu* (possivelmente incluindo instrumentos ou objetos) e um sistema educacional (o professor) a fim de fazer com que seus alunos adquiram um saber constituído ou em processo de constituição.

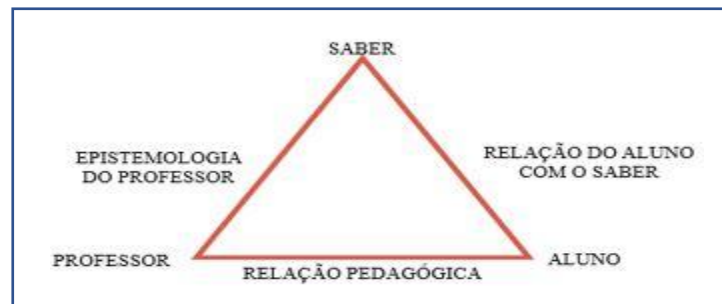
Muitos autores preferem manter a palavra *milieu*, cuja tradução para o português é meio, pois a palavra meio não representa completamente o significado atribuído a *milieu* na Teoria das Situações Didáticas (TSD). Na TSD, “o *milieu* é constituído não apenas por meio material, como a sala de aula, o quadro, o caderno, etc. Além do componente material temos o componente cognitivo (saberes e conhecimentos) e o componente social (parceiros, outros alunos, professor)”. (ALMOULOUD, 2007, P.45)

A ideia principal da Teoria das Situações Didáticas (TSD) é a criação de um modelo de interação entre o aprendiz, o saber e o meio (*milieu*) no qual a aprendizagem ocorre. Neste modelo,

o aluno aprende adaptando-se a um meio que é um factor de contradições, de dificuldades, de desequilíbrios, um pouco como acontece à sociedade humana. Este saber, fruto da adaptação do aluno, manifesta-se através de respostas novas, que são a prova da aprendizagem (BROUSSEAU, 1996, p.49).

Essa aprendizagem “é uma referência à epistemologia construtivista de Piaget, segundo a qual a aprendizagem decorre de processos de adaptação, no sentido biológico do termo, desenvolvidos pelo sujeito diante de situações problemáticas” (ALMOULOU, 2007, p. 32). Por isso, afirmamos que ao estruturar a TSD, Guy Brousseau não aplicou diretamente a epistemologia genética de Piaget, mas possivelmente se inspirou nela para criar o que ele chamou de *aprendizagem por adaptação*. Além disso, o objeto central de estudo da TSD não é o sujeito cognitivo, mas a *situação didática* na qual são identificadas as interações estabelecidas entre o professor, o aluno e o saber (Figura 7).

FIGURA 7 – Triângulo Didático



Fonte: ALMOULOU (2007, p. 32)

Segundo Brousseau (1996), dentro deste modelo, em alguns momentos, cabe ao aluno o trabalho intelectual comparável a uma atividade científica de pesquisa do matemático, porém, saber matemática não se resume em aprender definições e teoremas e como aplicá-los. Fazer matemática implica resolver problemas, mas só isto também não basta. É preciso criar situações que levem o aluno a agir, formular, provar, construir modelos, linguagens, conceitos, teorias, discutir estes modelos com os outros alunos, reconhecer aqueles que são conformes à cultura e retirar destes aqueles que lhe são úteis. E para tornar isto possível, “o professor tem, pois, de imaginar e propor aos alunos situações que eles possam viver e nas quais os conhecimentos apareçam como a solução ótima e passível de ser descoberta para os problemas colocados” (BROUSSEAU, 1996, p.38).

### 2.3 A SITUAÇÃO DIDÁTICA COMO UM JOGO DIDÁTICO

A *Teoria das Situações Didáticas* (TSD) propõe uma ruptura com a aula tradicional de matemática, em que o professor é o centro das atenções e o aluno *assiste* passivamente à exposição direta do assunto matemático em questão. Ao contrário, a TSD propõe que o professor *desafie* o aluno com um jogo ou problema matemático, cujas intenções didáticas só são reveladas pelo professor ao final do trabalho dos alunos, que se assemelha ao de um pesquisador. Brousseau (1996, p.50) se refere à situação didática como um jogo devido às

interações dos alunos com o problema proposto pelo professor: “o professor está, pois, envolvido num jogo com o sistema das interações do aluno com os problemas que ele lhe coloca. Este jogo ou esta situação mais vasta é *a situação didáctica*”. Após o professor explicar as regras da situação didáctica proposta, cabe ao aluno aceitar o *desafio* e a partir daí passar às fases de investigação do problema proposto, sem a interferência direta do professor. Essa etapa da TSD em que o professor não interfere diretamente no aprendizado dos alunos é chamada de *situação a-didáctica*.

## 2.4 MOMENTOS DIDÁTICOS DA TSD

### 2.4.1 DEVOLUÇÃO

A situação didáctica de *devolução* é o momento em que o professor personaliza e contextualiza o problema matemático e convence o aluno a aceitar o desafio. É neste momento que o professor transfere a responsabilidade da aprendizagem para os alunos, colocando-os no jogo ou problema matemático. A partir daí, os alunos se apropriam da situação e fica, então, caracterizada a situação a-didáctica.

Brousseau afirma que o problema escolhido pelo professor é parte essencial de uma situação ainda maior:

o professor procura devolver ao aluno uma situação a-didáctica que provoque nele a interação mais independente e a mais fecunda possível. Para isso, comunica ou se abstém de comunicar, conforme o caso, informações, perguntas, métodos de aprendizado, heurísticas etc. O professor está, portanto, envolvido em um jogo com o sistema de interações dos alunos com os problemas que ele lhes apresenta. (BROUSSEAU, 1986, p.298)

Essas interações dos alunos com o problema proposto se caracterizam pelo uso de conhecimentos já adquiridos na tentativa de resolução deste problema. As trocas de informações entre os alunos na ação, formulação e validação de suas hipóteses, sem a interferência do professor, constituem a situação a-didáctica. Todos esses aspectos descrevem o contexto de aprendizado dos alunos em uma situação a-didáctica.

### 2.4.2 A SITUAÇÃO A-DIDÁTICA

As fases de ação, formulação e validação formam a *situação a-didáctica*, na qual a intenção didáctica não é revelada pelo professor, porém, não devemos confundir as situações a-didáticas com situações não didáticas, em que não há intenção pedagógica. Na verdade, a intenção pedagógica ocorre durante todo o processo didático da TSD, por meio do planejamento do professor. Nesse sentido, afirmamos que as situações didáticas e a-didáticas são formas

distintas do processo de ensino-aprendizagem da TSD, e que, toda situação a-didática é um tipo de situação didática.

Na situação a-didática o professor não interfere diretamente no aprendizado dos alunos, mas atua como um mediador, organizando os trabalhos dos grupos, para que os alunos realizem um trabalho intelectual comparável a uma atividade científica de pesquisa do Matemático.

#### **2.4.2.1 FASES DA SITUAÇÃO A-DIDÁTICA**

Fase de *Ação*: o aluno joga o jogo, ou inicia o problema matemático, buscando estratégias de adaptação à situação;

Fase de *Formulação*: o aluno começa a estabelecer esquemas teóricos com uma linguagem apropriada, porém sem a intenção de provar matematicamente esses esquemas;

Fase de *Validação*: o aluno usa o saber matemático com o intuito de provar matematicamente, para os seus pares, suas estratégias de jogo, ou seus esquemas para a resolução do problema matemático, através de linguagem matemática apropriada.

#### **2.4.3 INSTITUCIONALIZAÇÃO**

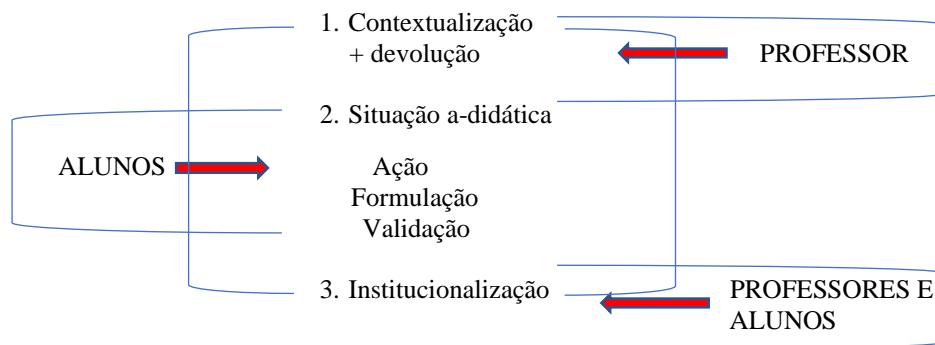
A situação didática de *Institucionalização* é o momento em que o professor transforma a situação em didática, no sentido de revelar a intenção didática que estava implícita no problema proposto. Neste momento, o professor deve usar todos os recursos didáticos necessários para elevar o conhecimento adquirido pelos alunos a um estatuto de saber, que não dependa mais dos aspectos subjetivos e particulares; além disso, deve também estabelecer as devidas correlações com outros saberes. Na institucionalização o professor revela a intenção didática estabelecendo um diálogo matemático formal, apresentando definições, propriedades e teoremas, realizando assim uma socialização com a turma (FREITAS, 2010, pp. 102-103).

Durante a institucionalização, caracterizada pela sistematização por meio de apresentação de definições, propriedades e teoremas, em linguagem matemática mais formalizada, em que deve ocorrer uma socialização, professores e alunos dialogam sobre conhecimentos matemáticos historicamente construídos relativos ao problema abordado (FREITAS, 2010, p.103).

#### **2.4.4 SÍNTESE DOS MOMENTOS DIDÁTICOS DA TSD**

O esquema da Figura 8 mostra de forma sintética os momentos didáticos da TSD com a correspondente atuação de alunos e professor:

FIGURA 8: Momentos Didáticos da TSD

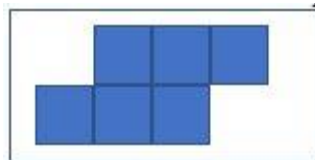


Fonte: (FREITAS, 2010, p.103)

### 2.4.5 UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO DA TSD

Vejamos um interessante exemplo cuja proposta construtivista é de aprendizado através de resolução de problema: “considere que a aresta do quadrado é de 1 unidade. Acrescente quadrados a esta forma (Figura 9) de modo que ela fique com um perímetro de 18 unidades” (WALLE, 2009, p.63). Este é um problema indicado para o 4º ou 5º ano do fundamental e tem como objetivo principal desenvolver algumas ideias sobre área e perímetro.

FIGURA 9: Forma inicial do problema



Fonte: Walle (2009, p.63)

Passaremos agora à discussão de como seria a aplicação deste problema da Figura 9 em sala de aula, nos moldes da TSD. Evidentemente que seria impossível descrever aqui as reações da turma e do professor à situação didática que iremos propor, porém é possível mostrar caminhos prováveis – que servem de modelos – na tentativa de esclarecer melhor os momentos didáticos da Teoria das Situações Didáticas. Neste sentido, primeiro consideraremos que o professor da turma já trabalhou o conceito de área e perímetro em aulas anteriores. Segundo, incluiremos mais uma pergunta a esse problema: ao acrescentar quadrados à forma inicial e obter o perímetro de 18 unidades, qual o valor da área da nova figura que você formou? Vejamos como seria uma proposta de aplicação deste problema nos moldes da TSD (chamaremos essa proposta de **Aplicação 1**):

### Intenções Didáticas:

- refinar as ideias de área e perímetro (o comprimento do contorno ao redor de uma região). Esses conceitos causam grandes confusões para os alunos: “talvez isso seja porque ambos envolvem regiões a serem medidas ou porque fórmulas são ensinadas aos estudantes para ambos os conceitos e eles tendem a confundir fórmulas” (WALLE, 2009, p.416);
- conduzir os alunos a perceberem que duas formas geométricas com o mesmo perímetro nem sempre têm a mesma área.
- mostrar aos alunos que duas formas geométricas com a mesma área não têm necessariamente o mesmo perímetro (isto deve ser feito na Institucionalização).

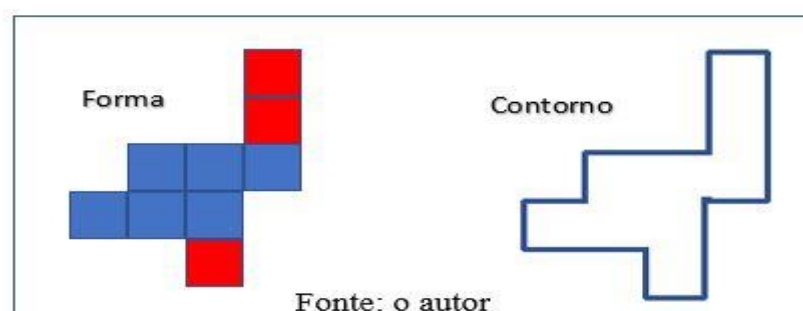
1º) Devolução: o professor apresenta o problema aos alunos, forma pares (sugestão nossa) e distribui o material didático disponível, por exemplo, papel quadriculado e quadrados de cartolina (material concreto). É neste momento que o professor deve convencer os alunos a trabalharem sem a sua interferência, por conta própria. Não por recompensa, mas pelo desafio. Algo prazeroso e descontraído, porém focado no desafio.

### 2º) Situação a-didática:

- Ação: os alunos iniciam o “jogo” buscando a melhor estratégia, por exemplo, escolhendo a melhor forma de iniciar: papel quadriculado ou quadrados de cartolina?
- Formulação: o aluno começa a estabelecer esquemas teóricos com uma linguagem apropriada, porém sem a intenção de provar matematicamente esses esquemas. Mostraremos quatro possibilidades de esquemas teóricos que os alunos podem seguir para resolver este problema:

Formulação 1: o aluno pode simplesmente usar um esquema de tentativas, acrescentando quadrados e criando novas formas geométricas até achar uma cujo perímetro é 18. Por exemplo, a forma da Figura 10 (os quadrados em vermelho foram acrescentados à forma original)

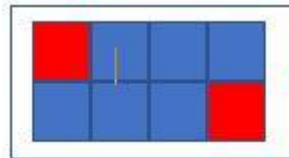
FIGURA 10: Esquema de tentativas



- Validação 1: o aluno soma as arestas que formam o contorno da nova forma e mostra que o resultado é 18. A área desta figura é a soma dos quadrados (unidade de área) que a compõem. Neste caso, a área é igual a  $9 u^2$  (unidade quadrado).

O aluno pode também acrescentar dois quadrados para transformar a forma inicial em um retângulo (Figura 11), que é uma forma conhecida, verificar que o perímetro deste retângulo é 12 e concluir que para obter um perímetro 18 podemos aumentar o comprimento e/ou a altura deste retângulo, acrescentando quadrados e formando novos retângulos.

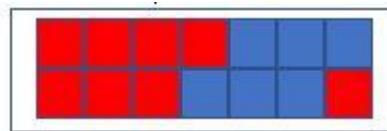
FIGURA 11: Forma retangular



Fonte: o autor

Formulação 2: se o aluno mantiver a altura do retângulo da Figura 11 (2 unidades), terá que acrescentar quadrados até que o comprimento seja 7 unidades (Figura 12).

FIGURA 12: Modificando apenas o comprimento

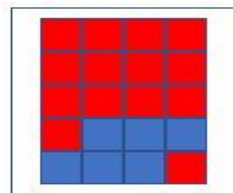


Fonte: o autor

- Validação 2: a soma dos lados que representam a altura do retângulo da Figura 11 é  $2+2=4$  e para 18 faltam 14 ( $18-4$ ), portanto é necessário que cada lado que representa o comprimento seja 7, pois  $7+7=14$ . Assim teremos o perímetro igual a  $2+7+2+7=18$  unidades (Figura 12). Neste caso, a soma dos quadrados que compõem a Figura 12 é 14, isto é, a área é igual a  $14 u^2$  (unidade quadrado).

Formulação 3: se o aluno mantiver o comprimento do retângulo da Figura 11 (4 unidades), terá que acrescentar quadrados até que a altura seja 5 unidades (Figura 13).

FIGURA 13: Modificando apenas a altura



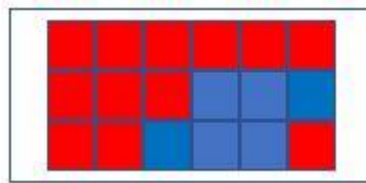
Fonte: o autor



- Validação 3: a soma dos lados que representam o comprimento do retângulo da Figura 11 é  $4+4=8$  e para 18 faltam 10 ( $18-8$ ), portanto é necessário que cada lado que representa a altura seja 5, pois  $5+5=10$ . Assim teremos o perímetro igual a  $4+5+4+5=18$  unidades (Figura 13). Neste caso, a soma dos quadrados que compõem a Figura 13 é 20, isto é, a área é igual a  $20 u^2$  (unidade quadrado).

Formulação 4: o aluno resolve aumentar a altura e o comprimento do retângulo da Figura 11. Por exemplo, se aumentar uma unidade à altura, passando de 2 para 3 unidades, terá que acrescentar quadrados até que o comprimento passe de 4 para 6 unidades (Figura 14).

FIGURA 14: Modificando comprimento e altura

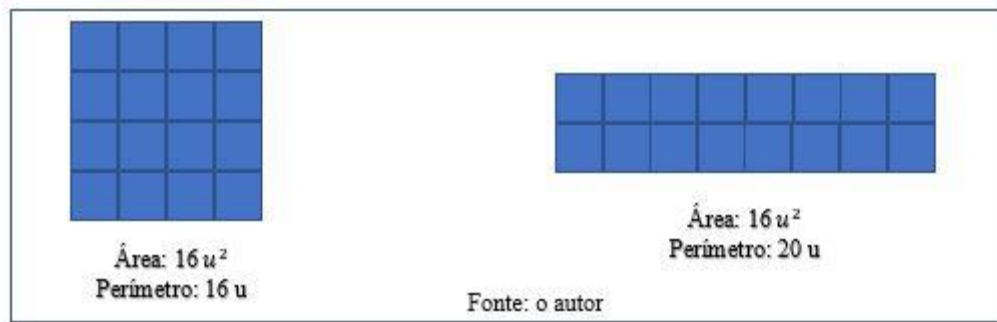


Fonte: o autor

- Validação 4: aumentando a altura do retângulo da Figura 11 para 3 unidades, a soma dos lados deste novo retângulo que representam a sua altura será  $3+3=6$  unidades e para 18 faltam 12 ( $18-6$ ), portanto é necessário que cada lado que representa o comprimento do novo retângulo seja 6, pois  $6+6=12$ . Assim teremos o perímetro igual a  $3+6+3+6=18$  unidades (Figura 14). Neste caso, a soma dos quadrados que compõem a Figura 14 é 18, isto é, a área é igual a  $18 u^2$  (unidade quadrado).

3º) Institucionalização: é o momento de o professor assumir a situação didática, socializando os resultados encontrados, revelando a intenção didática que estava implícita no problema proposto. Para tanto, o professor pode iniciar reforçando os conceitos de área e perímetro, trabalhando nas diferenças conceituais. Em seguida deve usar as próprias soluções dos alunos para mostrar que duas formas geométricas com o mesmo perímetro não têm necessariamente a mesma área. É o momento também de o professor mostrar aos alunos através de exemplos que duas formas com a mesma área não têm necessariamente o mesmo perímetro. Por exemplo, usando a mesma unidade de medida do problema proposto, o quadrado 4 por 4 tem a mesma área ( $16 u^2$ ) do retângulo 2 por 8, porém o perímetro do quadrado é 16 unidades e o do retângulo 20 unidades (Figura 15).

FIGURA 15: áreas iguais e perímetros diferentes



Na prática, isto significa dizer que um criador de galinhas que queira construir um galinheiro de  $16 m^2$  com tela de arame gastará mais tela no formato retangular – 20 metros de tela contra 16 metros no formato quadrado. O professor pode aproveitar essa aplicação do conhecimento matemático adquirido para trabalhar na história da matemática o surgimento das unidades de medidas, desde o antigo Egito até a convenção que estabeleceu o metro como unidade de medida padrão para todos os países.

## 2.5 O CONTRATO DIDÁTICO

Segundo Brousseau (1996), durante as aulas de matemática, estabelecemos uma relação de responsabilidades entre professor e aluno – obrigações recíprocas –, semelhantes a um contrato, porém as regras nem sempre são explícitas. Além disso, a parte desse contrato que interessa à TSD é o contrato didático, isto é, a parte específica do conteúdo matemático. Exemplos de transgressões do contrato geral (contrato pedagógico):

- 1) O aluno xinga o professor ao término da aula, numa atitude de desrespeito;
- 2) Comportamento inadequado do professor em sala de aula.

O contrato didático estabelece as regras da relação entre professor e aluno, especificamente voltadas ao conhecimento matemático visado. Vejamos alguns exemplos:

Regras explícitas:

- 1) A prova será individual e não será permitido nenhum tipo de diálogo entre alunos, ou;
- 2) A prova será em dupla e não será permitido nenhum tipo de diálogo entre duplas, apenas entre pares da mesma dupla.

3) Na atividade de hoje, cada aluno deve tentar resolver o problema individualmente e assim que escrever uma solução (ou tiver uma ideia de como resolver o problema) deve formar uma dupla com um parceiro que esteja nas mesmas condições.

Regras implícitas:

- 1) O aluno não pode se recusar em participar das tarefas propostas pelo professor em sala de aula.
- 2) O professor tem de criar condições suficientes para a apropriação dos conhecimentos.

Evidentemente existem cláusulas do contrato didático que não são comuns a todas as classes. Por exemplo, aulas tradicionalmente expositivas – o professor é o centro das atenções, expõe o conteúdo matemático diretamente no quadro e no final da aula propõe aos alunos exercícios de fixação – possuem cláusulas do contrato didático diferentes das aulas que seguem o modelo da TSD, em que os alunos trabalham nas situações a-didáticas sem a interferência do professor e somente no final da aula o professor institucionaliza o conhecimento matemático visado. Observemos que o trabalho do aluno e do professor são diferentes nos dois casos citados. Em uma aula expositiva, consideramos que o professor cumpre com as suas obrigações expondo o conteúdo matemático no quadro e passando exercícios no final da aula; o aluno, por sua vez, deve tentar compreender a aula e resolver os exercícios no final. Se o aluno não conseguir resolver os exercícios do final da aula, isso configura uma ruptura do contrato didático por parte do aluno. Normalmente, quando isso ocorre, é solicitado ao professor que explique novamente o conteúdo no quadro. Na verdade, a situação pode se complicar bastante a medida que o professor se utiliza de outros meios para se fazer entender, por exemplo, os que levam os alunos a simplesmente memorizar regras, deixando de lado toda a parte conceitual (SILVA, 2010, pp. 55-75). Por exemplo, quando o professor pula o conceito de valor posicional e parte direto para a memorização da regra do “pegar emprestado” ou não trabalha completamente o conceito de valor posicional, isto pode causar problemas de significado pessoal, levando os alunos a erros de interpretação das regras. É necessário que o professor trabalhe bem a parte conceitual – neste caso, valor posicional do algarismo –, para evitar que o aluno atribua significados pessoais que levem à aplicação incorreta da regra. A Figura 16 mostra a forma correta de efetuar uma subtração quando aparece o algarismo 0, mas o aluno que ainda não assimilou completamente o conceito de valor posicional pode se perguntar como é possível tirar 1 de 0. Esse é um erro comum e mostraremos um exemplo observado em sala de aula no decorrer deste trabalho.

FIGURA 16: algoritmo da subtração

$$\begin{array}{r}
 \phantom{0}9 \\
 \phantom{0}6 \phantom{0}10 \phantom{0}12 \\
 \cancel{7} \cancel{0} \cancel{2} \\
 - \phantom{0}3 \phantom{0}4 \phantom{0}6 \\
 \hline
 \phantom{0}3 \phantom{0}5 \phantom{0}6
 \end{array}$$

Fonte: o autor

### 2.5.1 RUPTURA DO CONTRATO DIDÁTICO E RENEGOCIAÇÃO

A ruptura do contrato didático – transgressão de suas cláusulas – nem sempre significa algo negativo para a aprendizagem. Uma ruptura desse contrato por parte do aluno ou do professor pode ser um sinal de que o contrato didático precisa ser renegociado para que os objetivos didáticos sejam alcançados. Por exemplo, quando o professor deseja introduzir um novo conceito matemático e para isso muda o seu estilo de aula expositiva para uma situação-problema, nos moldes da TSD, em que os próprios alunos assumem em parte a responsabilidade do aprendizado – supondo que isto não tenha sido feito antes com esta turma –, caracteriza-se para os alunos uma ruptura do contrato didático, cabendo ao professor a renegociação deste contrato. Neste caso, a manifestação por parte dos alunos é espontânea e imediata:

Os alunos recebem a ficha de atividade e aguardam que o professor inicie o trabalho. Quando este lhes diz que são eles que devem trabalhar, a primeira reação vem imediatamente, através de questões do tipo: “não sei fazer”, “como começa?”, “a teoria não foi dada”, “você não vai explicar o enunciado?”, “não entendi o que é pra fazer” e assim por diante. (SILVA, 2010, pp. 55-75).

A renegociação do contrato didático para esta situação de mudança de estilo de aula passa a ser vital para que o professor alcance os objetivos da aula. Uma vez realizada essa renegociação com sucesso, o aluno percebe que os erros fazem parte do jogo e não são mais uma violação das cláusulas do contrato didático, eles fazem parte das tentativas de acertar, de forma semelhante como ocorre no trabalho do pesquisador.

## 2.6 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

As aulas expositivas de matemática, em que o professor é o centro das atenções, ainda predominam nas escolas brasileiras. As pesquisas na área da Didática da Matemática parecem encontrar fortes resistências por parte dos professores dessa disciplina. O problema pode estar

na própria formação do professor de matemática, pois somente há pouco tempo a Didática da Matemática foi incluída no currículo das licenciaturas. Desde a década de 1970 que a Didática da Matemática vem influenciando o ensino de matemática na França e em vários outros países. A TSD aparece nesse cenário como uma proposta transformadora que transfere, pelo menos em parte, a responsabilidade do aprendizado em matemática para o aluno.

Vimos neste capítulo um exemplo de transmissão do conhecimento matemático em que o aluno constrói este conhecimento interagindo com seus colegas e o meio. A aplicação da TSD requer a participação efetiva de todos os alunos. O sucesso de uma situação didática depende de vários fatores, mas principalmente da participação direta dos alunos. A não participação do aluno na atividade proposta pelo professor ou o insucesso do aluno em acompanhar o nível da turma durante a aplicação da TSD se configuram num grave problema a ser superado. Nesse sentido, nos próximos capítulos, discutiremos aspectos do contexto de aprendizagem em sala de aula que podem influenciar negativamente o desempenho em matemática e que não são explorados pela TSD. Problemas de elevação do nível de desempenho dos alunos com dificuldade na adaptação à matemática escolar (por questões socioeconômicas ou socioemocionais), de criação de significado para o conhecimento matemático e de combate à ansiedade matemática.

## CAPÍTULO III

### 3 A ABORDAGEM NEOPIAGETIANA DE BIDE LL E FISCHER

#### 3.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Neste capítulo, mostraremos os aspectos gerais da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer. Porém, inicialmente, examinaremos os princípios da epistemologia genética de Piaget. Isso se faz necessário para discutirmos a possibilidade de influência da teoria de Piaget na estruturação da TSD e para compreendermos aquilo que Bidell e Fischer (2017) apontam como problemas a serem superados na aplicação da teoria de Piaget na educação, especificamente no ensino e aprendizagem. Após esta breve discussão, destacaremos os principais resultados da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer.

#### 3.2 A TEORIA DE PIAGET: interacionismo e construtivismo

A Teoria da Inteligência de Piaget vem, por muitas décadas, chamando a atenção de educadores, psicólogos e pesquisadores dos mais variados campos das ciências. Buscando entender a formação do conhecimento, Piaget criou um campo de estudos voltado para o desenvolvimento da criança, chamado Epistemologia Genética, que é interacionista e construtivista. No que diz respeito ao interacionismo, Boden (1983, p.15) afirma que um dos aspectos da teoria de Piaget que despertou grande interesse dos psicólogos foi a “sua visão da mente como sistema em contínuo desenvolvimento de estruturas auto-reguladoras que ativamente medeiam e são transformadas pela interação do indivíduo com o meio ambiente”. Para Piaget, o conhecimento não nasce com a criança, como pensavam os racionalistas e nem no meio, como pensavam os empiristas, mas nas interações do sujeito com os objetos dentro do meio onde ocorre o desenvolvimento intelectual. É justamente nessas interações do sujeito com a realidade que ocorre a construção do conhecimento, processo chamado de construtivismo. Bock, Furtado e Teixeira (1999, p.110) também destacam a dimensão interacionista na teoria de Piaget, deixando evidente que a ênfase está na interação do sujeito com o objeto físico e que “não está clara em sua teoria a função da interação social no processo de conhecimento”.

O que despertou o interesse de Piaget no desenvolvimento intelectual da criança foram as respostas erradas registradas no teste de inteligência Binet-Simon. Para Piaget, as respostas das crianças eram consideradas erradas porque eram analisadas do ponto de vista dos adultos. A partir daí, Piaget baseou seus estudos nas mudanças de estágios do desenvolvimento, os quais denominou estádios. Para Piaget “a criança possui uma lógica de funcionamento mental que

difere – qualitativamente – da lógica do funcionamento mental do adulto. Propôs-se consequentemente a investigar como, através de quais mecanismos, a lógica infantil se transforma em lógica adulta” (DAVIS; OLIVEIRA, 1994, p.37). Segundo Lima (1980, p.232), as mudanças de estágios ocorrem com maior ou menor aceleração, de acordo com maior ou menor atividade do meio físico e social adulto, e “o desenvolvimento intelectual pode sofrer profundas decalagens, de acordo com a estimulação do meio, mas jamais quebra a ordem sequencial”.

A busca por equilíbrio é a base da teoria de Piaget, o processo de equilibração é a autorregulação do organismo diante de uma situação nova. Segundo Piaget, o desenvolvimento cognitivo do indivíduo ocorre através de constantes desequilíbrios e equilibrações. Quando surge uma nova possibilidade orgânica ou mudanças no meio ambiente, por menores que sejam, isto provoca ruptura do estado de harmonia entre o organismo e o meio, e então surge o desequilíbrio. É neste momento que o indivíduo busca a reorganização mental através dos mecanismos de assimilação e acomodação para alcançar um novo estado de equilíbrio. Na assimilação, o indivíduo incorpora elementos do ambiente com os quais interage a um esquema ou estrutura cognitiva já existente. Na acomodação, ocorre a modificação ou a criação de novos esquemas ou estruturas cognitivas para se ajustar às necessidades impostas pelo meio ambiente. A assimilação e a acomodação conduzem o indivíduo ao processo de adaptação, ou seja, ao restabelecimento do equilíbrio. Encontramos em Davis e Oliveira (1994, p.38) um esclarecedor exemplo deste processo de adaptação:

Embora assimilação e acomodação sejam processos distintos e opostos, na realidade eles ocorrem ao mesmo tempo. Por exemplo, ao pegar uma bola, ocorre assimilação na medida em que a criança pequena faz uso do esquema de pegar (uma certa postura de braço, mão e dedos) que já lhe é conhecido, atribuindo à bola o significado do “objeto que se pega”. No entanto, a acomodação também está presente, uma vez que o esquema em questão precisa ser modificado para se ajustar às características do objeto. Assim, a abertura dos dedos e a força empregada para retê-lo são diferentes quando se pega uma bola de gude ou uma bola de futebol.

Para Bock, Furtado e Teixeira (1999, p.127), o conceito de adaptação leva à afirmação de que a inteligência é uma adaptação, ela “é assimilação, pois incorpora dados da experiência do indivíduo e, ao mesmo tempo, acomodação, uma vez que o sujeito modifica suas estruturas mentais para incorporar os novos elementos da experiência”. Portanto, podemos afirmar que a inteligência é a capacidade de adaptação a situações novas e, como isso ocorre desde o nascimento da criança, “a atividade sensorial-motora da criança (com os hábitos que dela resultam) já é inteligência (inteligência curta) sem a mobilidade que alcançará no final do

desenvolvimento: tudo que leva à adaptação é inteligência” (LIMA, 1980, p. 235). As outras formas de inteligência, segundo a teoria de Piaget, serão discutidas a seguir.

### **3.3 ESTÁGIOS DO DESENVOLVIMENTO SEGUNDO PIAGET**

Segundo Piaget, o desenvolvimento intelectual é um processo de equilíbrios sucessivas, contínuo e caracterizado por quatro estágios distintos: o sensório-motor, o pré-operatório, o operatório-concreto e o operatório-formal. Esses estágios ocorrem em sequência, do nascimento aos 12 anos de idade, e se caracterizam pela complexidade crescente, flexibilidade de faixa etária e ordem sequencial, isto é, não é possível saltar estágios.

#### **3.3.1 ESTÁGIO SENSÓRIO-MOTOR (0 a 2 anos)**

No início deste estágio (de 0 a 1 ano), as ações do bebê na interação com os objetos são primitivas, centralizadas e inconscientes, isto é, “no campo do espaço, bem como nas diferentes faixas perceptivas em processo de construção, o bebê relaciona tudo ao seu corpo, como se fosse o centro do universo - mas um centro que não tem conhecimento de si” (PIAGET, 1997, p.31). Não há uma diferenciação entre sujeito e objetos, o sujeito desconhece a si mesmo como autor das ações. “Em outras palavras, a ação primitiva exibe uma indiferenciação completa entre o subjetivo e o objetivo, e uma centralização fundamental que, no entanto, é basicamente inconsciente porque está ligada a essa falta de diferenciação” (PIAGET, 1997, p.31). Na faixa de 1 a 2 anos, o bebê começa a ter consciência de si mesmo como fonte das ações e, portanto, do conhecimento, pelas iniciativas de coordenação das ações com os objetos. “Mas coordenar ações é deslocar objetos e, na medida em que esses deslocamentos são coordenados, o ‘grupo de deslocamentos’, que é assim progressivamente elaborado, possibilita a atribuição de determinadas posições sucessivas aos objetos” (PIAGET, 1997, p.32). Essas iniciativas de coordenação das ações conduzirão o bebê a novas experiências, em que as reproduções de experiências já adquiridas serão fundamentais para a assimilação e formação de esquemas:

por exemplo, o bebê tenta agarrar um objeto suspenso sem sucesso, mas consegue tocá-lo, e o movimento subsequente do balanço, uma experiência não encontrada anteriormente, tem o interesse de novidade para ele. Ele então tentará reproduzir essa ocorrência e, nesse ponto, podemos começar a falar de assimilação reprodutiva (reprodução do mesmo movimento) e da formação do início de um esquema. (PIAGET, 1997, p.33)

Considerando que o bebê assimilou essa experiência citada, quando ele encontra outro objeto suspenso, ele o assimila ao mesmo esquema, por reconhecimento, e, quando ele repete a ação nessa nova situação, a assimilação é generalizada. Esses três aspectos, repetição,



reconhecimento e generalização, caracterizam a coordenação de ações por assimilação recíproca:

Por exemplo, se o objeto empurrado ou sacudido produz um som, ele pode se transformar, por sua vez, ou simultaneamente, em algo para se olhar e ouvir, e daí resulta uma assimilação recíproca que leva a criança, entre outras coisas, a sacudir qualquer tipo de brinquedo para descobrir que tipo de barulho ele fará. (PIAGET, 1997, p.33)

Observemos que nesta fase do desenvolvimento o bebê é estimulado a usar diferentes esquemas de assimilação para se adaptar às novas experiências. Por exemplo, “ele tentará sacudir, etc., para mover o dossel do berço para balançar os brinquedos de produção de som suspensos ali e que permanecem além de seu alcance, etc.” (PIAGET, 1997, p.33).

A noção de “eu” é uma importante aquisição neste estágio, que ocorre quando a criança diferencia o mundo exterior do seu próprio corpo e também se torna capaz de estabelecer diferenças entre objetos, culminando num entendimento da realidade, em que a existência dos objetos independe da percepção deles, isto é, a criança tem consciência da existência de um brinquedo mesmo quando a mãe o esconde dela.

### **3.3.2 ESTÁGIO PRÉ-OPERATÓRIO (2 a 7 anos)**

Antes de iniciar as suas considerações a respeito do pensamento pré-operacional, Piaget (1997) enfatiza o progresso observado no primeiro estágio do desenvolvimento entre as fases das ações elementares não coordenadas inicialmente, em que não há diferenciação estável entre sujeito e objetos, e aquela em que ocorrem diferenciações coordenadas. Esse progresso é o que garante a existência de ferramentas de interação cognitiva. Porém, isto só ocorre no nível da ação real, em que a ação reflexiva ainda está ausente:

Em outras palavras, os esquemas de inteligência sensório-motor ainda não são conceitos, pois não podem ser tratados com o pensamento e só entram em jogo no momento de sua utilização prática e material, sem que a criança tenha conhecimento de sua existência como esquemas, já que ela não possui o aparato semiótico para designá-los e apreendê-los na consciência (PIAGET, 1997, p.35).

Neste estágio pré-operatório, ocorre o aparecimento da linguagem oral, que provocará modificações nos aspectos intelectuais, afetivos e sociais da criança. Além da inteligência prática construída no estágio anterior, a criança irá dispor de esquemas que envolvem uma ideia preexistente a respeito de algo:

Por outro lado, com a ocorrência da linguagem, jogo simbólico, imagens mentais, etc., a situação muda notavelmente: nas ações simples que garantem a interdependência direta entre sujeito e objetos, em certos casos se sobrepõe um novo tipo de ação que é interiorizado e mais precisamente conceitualizado (PIAGET, 1997, p.35)

Esse novo tipo de ação vai além de um simples deslocamento de objetos, a criança é capaz de representar conceitualmente esse descolamento, evocando em pensamento outros deslocamentos a partir do primeiro.

O início do estágio pré-operatório (de 2 a 4 anos) se caracteriza por pré-conceitos e pré-relações, o que torna as crianças incapazes de lidar com a situação atual e imediata com objetividade suficiente:

Nosso estudo da primeira etapa do pensamento pré-operacional (de cerca de dois a quatro anos) mostrou que, por um lado, os únicos intermediários entre sujeito e objetos ainda são apenas pré-conceitos e pré-relações (sem a quantificação de 'todos' e 'alguns' para o primeiro e sem a relatividade de conceitos para o último) (PIAGET, 1997, p.39).

Como exemplo de pré-conceito, se for mostrado à criança algumas fichas redondas vermelhas e também algumas fichas azuis (algumas redondas e outras quadradas), quando questionada, a criança responderá prontamente que todas as fichas redondas são vermelhas, mas negará que todas as fichas quadradas sejam azuis (já que também existem fichas azuis redondas). Ela identifica facilmente duas classes com a mesma extensão, mas ainda não entende a relação da subclasse, isto é, não entende a quantificação “todos” e “alguns”. Quanto à pré-relação, uma criança afirma que tem um irmão, mas nega que esse seu irmão tenha um irmão, porque existem apenas duas crianças na família (PIAGET, 1997, pp. 39-40).

Um segundo nível do estágio pré-operatório (de 5 a 6 anos) se caracteriza pela descentralização semelhante à que ocorreu no estágio sensório-motor, porém tudo que foi adquirido será reconstruído em um novo plano:

E então descobrimos um tipo semelhante de descentralização, mas agora entre conceitos ou ações conceituadas – não mais apenas entre movimentos, também devido a coordenações progressivas que, neste caso particular, assumem a forma de funções. (PIAGET, 1997, p. 41)

Por exemplo, se mostrarmos um pedaço de barbante colocado em forma de um ângulo reto a uma criança de 5 a 6 anos, ela será capaz de prever que puxar uma das extremidades fará com que o comprimento de um de seus segmentos aumente e encurte o da outra extremidade, isto é, uma variável é modificada em função da outra. É neste sentido que as coordenações progressivas assumem a forma de funções.

Uma das mais importantes características deste estágio é a dependência da percepção imediata. A criança considera apenas a aparência das coisas. Ela tem muita dificuldade, por exemplo, em perceber que, se derrarmos a mesma quantidade de água em dois recipientes de formas diferentes, um mais alto que o outro, a quantidade de água em cada recipiente

permanece igual. A criança dirá que o recipiente mais alto possui mais água. Além disso, durante este estágio, a criança não possui um conceito operatório completo, isto é, as ações ainda não são reversíveis; por exemplo, não consegue entender que a subtração é a operação inversa da adição.

### 3.3.3 ESTÁGIO OPERATÓRIO-CONCRETO (7 a 12 anos)

Em um primeiro nível deste estágio (de 7 a 8 anos), ocorre o desenvolvimento fundamental de ferramentas conceituais; as ações conceituadas (interiorizadas) durante o estágio anterior adquirem status de operações como transformações inversas, em decorrência das progressões das coordenações. São mudanças qualitativas, devido às transformações mais ou menos contínuas, mas que caracterizam uma fase de transição com o estágio anterior. Além disso, as estruturas operacionais desse nível passam a ser formadas a partir das propriedades, interconectadas, de transitividade e conservação. As conservações estão intimamente ligadas tanto à transitividade quanto ao fechamento dessas estruturas operacionais, isto é, se alguém tem  $A = C$  porque  $A = B$  e  $B = C$ , é porque alguma propriedade é conservada de  $A$  a  $C$ , e, se o sujeito aceitar, conforme necessário, as conservações  $A = B$  e  $B = C$ , deduzirá delas  $A = C$  pelos mesmos argumentos (PIAGET, 1997, pp. 44-46).

Portanto, uma criança neste nível de desenvolvimento já é capaz de realizar uma ação e revertê-la para o seu início; por exemplo, percebe que  $3 + 5 = 8$  porque  $8 - 5 = 3$  (transformações inversas), assim como ela já percebe que, se derrarmos a mesma quantidade de água em dois recipientes de formas diferentes, um mais alto que o outro, a quantidade de água em cada recipiente permanece igual (princípio da conservação).

O pensamento lógico neste nível está condicionado às operações concretas, que, por sua vez, estão relacionadas diretamente com o objeto, semelhante ao que acontece nos níveis pré-operacionais, exceto pelo fato de que agora as ações recebem uma estrutura operacional, isto é, são combináveis de maneira transitiva e reversível. Porém, nesse nível, existem limitações para essa estrutura operacional: “assim, no que diz respeito ao peso, a conservação da quantidade, a seriação etc., e até a transitividade das equivalências, são dominadas apenas em nove a dez anos e não em sete a oito, como é o caso com os conteúdos mais simples” (PIAGET, 1997, p.51). Nesse nível de 9 a 10 anos também ocorrem mudanças significativas na percepção espacial, que se diferencia do nível anterior pela construção de relações entre dois ou mais objetos.

### 3.3.4 ESTÁGIO OPERATÓRIO-FORMAL (12 anos em diante)

Este estágio se caracteriza pela transformação do pensamento concreto em pensamento formal (abstrato). O adolescente se liberta da necessidade de manipulação de objetos concretos, isto é, ele não necessita mais de que o seu pensamento esteja representado fielmente na realidade concreta: “a principal característica das operações formais é a capacidade de lidar com hipóteses em vez de simplesmente com objetos” (PIAGET, 1997, p.56).

Segundo Piaget (1997, p.55), a partir dos 12 anos, o jovem desenvolve o pensamento lógico-matemático, isto é, o pensamento voltado para a determinação da realidade no campo das possibilidades e na formulação de hipóteses: “neste estágio, as operações finalmente assumem o caráter extratemporal, que é a peculiaridade das relações lógico-matemáticas puras”. Por exemplo, a infinitude dos números inteiros e as propriedades aritméticas são extratemporais, diferentes dos deslocamentos físicos, que dependem do tempo. O sujeito não lida mais com operações que permanecem concretas; com as operações formais, o conhecimento transcende a própria realidade e, portanto, dispensa o concreto como intermediário.

O fato de existir flexibilidade de faixa etária para cada estágio, significa que devemos considerar as médias de idades em que prevalecem certas características comuns de pensamento. Isto implica que a teoria de Piaget é fortemente caracterizada pela maturação, pois é devido a ela que crianças em uma mesma faixa etária apresentam características psicológicas comuns. Porém, Piaget reconhece que, nessa perspectiva de existência de uma forma específica de pensamento dentro de um determinado estágio do desenvolvimento, podem ocorrer atrasos ou avanços individuais em relação ao grupo, provavelmente, devido à natureza do ambiente onde as crianças estão inseridas e pelos contextos impostos. A dinâmica do desenvolvimento intelectual dentro de cada estágio sofre influência direta da maturação (a maturidade do sistema nervoso), da interação social (que ocorre através da linguagem), da experiência física com os objetos e da equilíbrio. Dentre estes, o de menor peso na teoria de Piaget é a interação social. “Desta maneira, a educação – e em especial a aprendizagem – tem, no entender de Piaget, um impacto reduzido sobre o desenvolvimento intelectual<sup>3</sup>” (DAVIS; OLIVEIRA, 1994, p.46).

---

<sup>3</sup> Desenvolvimento cognitivo e aprendizagem não se confundem: o primeiro é um processo espontâneo, que se apoia predominantemente no biológico. A aprendizagem, por outro lado, é encarada como um processo mais restrito, causado por situações específicas (como a frequência à escola) e subordinado tanto à equilíbrio quanto à maturação (DAVIS; OLIVEIRA, 1994, p.46).

### **3.4 A ABORDAGEM NEOPIAGETIANA DE THOMAS BIDELE E KURT FISCHER**

Desde a década de 1960 que a Teoria de Piaget vem despertando o interesse dos educadores para a possibilidade de sua aplicação nas escolas, como um caminho para solucionar os problemas da aprendizagem. De fato, a Epistemologia Genética de Piaget chamou muita atenção dos educadores pela sua proposta de estudar a evolução humana em seus aspectos cognitivos, nos quais a aquisição do conhecimento se dá através do processo de adaptação ao meio (ontogênese). Porém, Piaget concentrou sua pesquisa no desenvolvimento cognitivo da criança e do adolescente, sem a pretensão de desenvolver técnicas de aprendizagem. A sua grande contribuição para a educação está no entendimento de que a criança não é um adulto pequeno, mas um ser em desenvolvimento que tem pensamentos e comportamentos específicos de uma faixa etária, os quais são determinados por vários fatores, tais como: hereditariedade, maturação, interação, entre outros. Portanto, com o passar dos anos, os educadores foram percebendo que Piaget é importante para a compreensão do desenvolvimento da criança e do adolescente, mas que a teoria de Piaget por si só não resolveria o problema do ensino-aprendizagem, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas na área da educação voltadas para descobertas de novas técnicas de ensino-aprendizagem. Neste sentido, a teoria piagetiana tem sido considerada particularmente apropriada para direcionar a educação em dois aspectos importantes:

(a) o desenvolvimento de novos métodos de ensino que capitalizariam as atividades exploratórias e inventivas da própria criança; (b) o fortalecimento do ensino de cursos escolares específicos, particularmente em ciências e matemática, cultivando e consolidando as estruturas básicas de pensamento científico e matemático (DEMETRIOU; SHAYER, 2017, p.1).

Discutiremos agora a aplicabilidade educacional da teoria de Piaget, que, de acordo com Bidell e Fischer (2017), é limitada e essa limitação se configura como uma lacuna entre a teoria do desenvolvimento e a prática educacional: “uma das principais causas dessa lacuna contínua tem sido as concepções fundamentalmente neutras em relação ao contexto das habilidades cognitivas, encontradas nas teorias tradicionais do desenvolvimento cognitivo”. (BIDELL e FISCHER, 2017, p.11)

#### **3.4.1 O PRINCÍPIO DA ESPECIFICIDADE DE DOMÍNIO**

Para início das discussões, Bidell e Fischer (2017) destacam a tensão existente entre o construtivismo e o modelo de estágios do desenvolvimento, que na visão desses autores está diretamente ligada à aquisição do conhecimento prevista neste modelo como resultado da interação com o meio, independentemente do contexto. Além disso, chamam a atenção para a

concepção de caminho unilinear de desenvolvimento como uma consequência deste modelo, isto é, “como cada indivíduo passa pela mesma sequência de estágios universais, todos os indivíduos devem compartilhar o mesmo caminho e o mesmo resultado do desenvolvimento” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.12). Porém, segundo esses autores, o desenvolvimento não ocorre através de um único caminho (Figura 17A), mas em caminhos diferentes que levam a resultados diferentes do desenvolvimento (Figura 17B).

Figura 17A: Escada do desenvolvimento

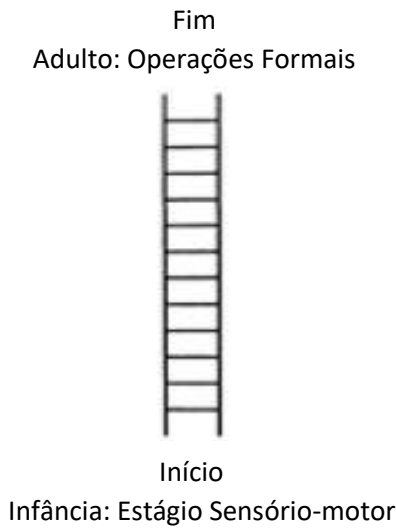


Figura 17B: Metáfora da teia do desenvolvimento



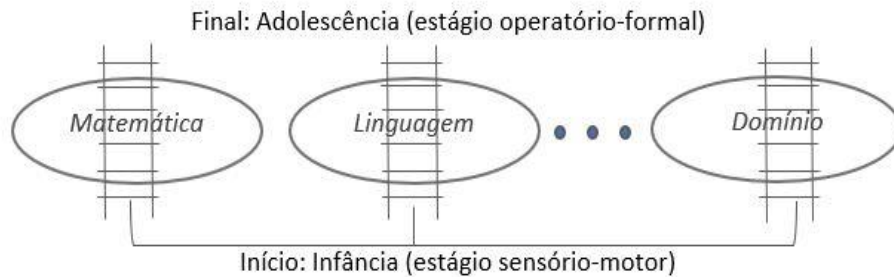
Fonte: Bidell e Fischer (2017, p.13)

Com o reconhecimento de que a teoria dos estágios do desenvolvimento de Piaget não contempla a variabilidade presente nas pessoas reais, o Princípio da Especificidade de Domínio foi aceito por vários pesquisadores do desenvolvimento cognitivo. Segundo esse princípio, o conhecimento é organizado dentro de domínios específicos definidos por conteúdos (por exemplo, aritmética, geometria) ou tarefas, diferentemente do modelo de Piaget no qual o conhecimento é organizado em estruturas de estágio unitárias que atravessam todos os tipos de tarefas e situações. O reconhecimento dessa limitação da teoria de Piaget – o conhecimento não precisa ser organizado em estruturas unitárias únicas – se configura como um grande avanço no entendimento da importância do contexto para o desenvolvimento da pessoa. Porém, o Princípio da Especificidade de Domínio não explica, por exemplo, quais dificuldades teriam alunos individualmente em um mesmo conteúdo ou tarefa, por isso esse princípio não é suficiente para uma concepção contextualizada da cognição (BIDELL; FISCHER, 2017, p.13).

O princípio da especificidade de domínio prevê caminhos de desenvolvimento diferentes para diferentes domínios e esses caminhos permanecem unilineares dentro desses

domínios (Figura 18). Segundo este princípio, “O ponto final é determinado biologicamente, e é difícil ver como as trocas autônomas da pessoa com o meio social podem afetar o curso desse caminho pré-estabelecido para o conhecimento” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.14).

FIGURA 18: Caminhos unilineares



Fonte: o autor

No tocante às teorias em que o contexto não é considerado no desenvolvimento cognitivo (teorias de contexto neutro), Bidell e Fischer (2017) afirmam que essas teorias separam a organização do conhecimento da prática no contexto, isto é, assumem que o contexto não influencia em nada essa organização, que a organização do conhecimento independe do contexto. Como consequência, essas teorias representam uma contradição para os educadores que tentam usá-las como ferramenta, as intervenções educacionais não teriam como ajudar nessa organização: “se a organização do pensamento e do conhecimento é primordialmente uma propriedade da pessoa (organizada dentro ou entre domínios) e, portanto, relativamente impermeável à variação contextual, então como intervenções educacionais específicas podem afetá-la?” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.15). Portanto, nessas teorias de contexto neutro as estruturas cognitivas são o resultado de um processo de desenvolvimento independente da aprendizagem. As estruturas cognitivas são gerais e têm o papel educacional de “prontidão”, isto é, preparam as mentes das crianças para a aprendizagem. A aprendizagem, por sua vez, tem o papel de preencher essas estruturas pré-formadas com conteúdo educacional. Desta forma, os educadores estão diante do dilema de se concentrar no desenvolvimento estrutural cognitivo das crianças ou em seu aprendizado. Porém, como pode o educador estimular o desenvolvimento de estruturas cognitivas para preparar as crianças para a aprendizagem, se esse desenvolvimento é considerado por estas teorias – Piaget, por exemplo – como espontâneo? A outra opção seria esperar pacientemente até que o processo de desenvolvimento conduza à “prontidão”. Seja como for, estaremos diante de uma situação problemática, pois “ambas as alternativas desconsideram e desvalorizam as interações cotidianas contínuas de professor-

criança e pares que constituem o vasto volume de atividades educacionais, e assim ambas as abordagens se mostraram consistentemente fúteis” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.16).

Um outro problema observado nas teorias de contexto neutro para a intervenção educacional se refere à adoção de uma única sequência universal e de um mesmo resultado esperado no final de cada fase do desenvolvimento. Primeiro, isto tende a excluir a possibilidade de flexibilização da prática educacional para atender às necessidades de grupos específicos de cultura, classe ou gênero: “a seleção de um único caminho de desenvolvimento - geralmente o que tipifica o desenvolvimento masculino branco, de classe média - como o padrão de realização educacional arrisca alienar as crianças que trazem diversas origens para a cultura escolar” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.16). Segundo, é errado pensar que todas as crianças possuem as mesmas habilidades acadêmicas, pois, de acordo com a ideia de prontidão, nem todas as crianças pertencem ao meio sociocultural dominante. Isto porque, segundo Bidell e Fischer (2017), pelo menos nos Estados Unidos da América, a prontidão funciona bem para crianças brancas de classe média, porém não funciona bem para crianças em contextos culturais diferentes. Esperar que ocorra a prontidão em crianças de classes sociais inferiores da sociedade pode configurar-se em perda de tempo instrucional, enquanto os professores esperam que estas crianças estejam prontas para a alfabetização, por exemplo.

Até aqui, Bidell e Fischer (2017) vêm demonstrando que a aplicação da teoria do desenvolvimento de Piaget à educação deve ser repensada. Nesse sentido, propõem a inclusão do contexto como fator indissociável do desenvolvimento intelectual. Desta forma, a Teoria Cognitiva do Desenvolvimento passa a descrever como a organização cognitiva é construída no contexto da atividade cotidiana. “Tais descrições exigem novas concepções de habilidades cognitivas - não como estruturas orgânicas abstratas, mas como organizações de pensamento e ação específicas do contexto” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.17). Entretanto, essas novas concepções de habilidades compartilham da abordagem construtivista na teoria de Piaget, na qual a aquisição do conhecimento ocorre através de um processo construtivo, autorregulador e baseado em ação. Porém, esse processo será descrito a partir de agora através da visão Neopiagetiana da Teoria da Habilidade de Fischer (1980), a qual descreve esse processo como a construção de habilidades específicas e contextualizadas, em vez do equilíbrio geral de estruturas que transcendem o contexto. Neste sentido, Bidell e Fischer (2017, p.17) definem habilidade como “uma estrutura de controle que rege uma classe específica de ações que uma pessoa pode executar em um contexto específico” e, portanto, depende tanto da pessoa quanto do contexto. Nessa perspectiva, não tem sentido falar da habilidade de uma pessoa em um



determinado domínio, mas tem sentido falar da habilidade de uma pessoa em um contexto específico dentro de um domínio. Para um melhor entendimento, vejamos o exemplo abaixo:

Um exemplo de uma habilidade pode ser extraído do desenvolvimento do conhecimento aritmético. Quando uma criança pequena pode ajudar a arrumar a mesa contando quatro garfos e colocando cada um em um prato, a criança exibe uma habilidade que rege uma atividade de contagem que controla a variação apresentada pela quantidade de garfos na gaveta e nos pratos na mesa. Esta é uma habilidade numérica específica que a criança construiu para um propósito expresso em um contexto particular (BIDELL; FISCHER, 2017, p.17).

Este exemplo nos mostra que essa habilidade aritmética de contagem é dependente deste contexto (ajudar a arrumar a mesa) e ela certamente contribuirá para um conjunto mais geral e abstrato de habilidades matemáticas, porém essa habilidade não se configura como uma estrutura generalizada de conhecimento quantitativo independente do contexto (ajudar a arrumar a mesa).

A teoria da habilidade parte de habilidades específicas de contextos particulares para formar novas habilidades em um contexto original, não aplica estruturas gerais prontas. Para ficar mais claro, usando o exemplo acima em que a criança desenvolveu habilidades de contagem para arrumar a mesa, “se ela também desenvolve habilidades para correspondência de contagem de palavras para numerais na pré-escola, então ela pode coordenar as duas habilidades para formar uma habilidade nova e mais geral para usar numerais para representar os resultados de uma contagem nestes contextos” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.18).

Uma outra observação importante é que a influência direta do contexto no desenvolvimento de habilidades nas crianças inclui principalmente as ações de outras pessoas. Neste sentido, os objetivos da educação não devem se limitar a promover uma progressão cognitiva baseada puramente nos estágios do desenvolvimento. Isso significa que, além da teoria cognitiva de estágios de desenvolvimento, devemos considerar outras ferramentas para compreendermos o processo educacional: “a educação é um empreendimento amplamente social que envolve desenvolvimento cognitivo, desenvolvimento emocional, interação social e uma variedade de fatores culturais, incluindo etnia, raça, classe e gênero” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.18).

Um questionamento que surge quando nos deparamos com a teoria da habilidade é como aplicá-la em sala de aula. Primeiro, não devemos separar rigidamente estrutura cognitiva de conteúdo acadêmico. Além disso, o desenvolvimento cognitivo e o aprendizado devem ser integrados no pensamento educacional:

As crianças não aplicam estruturas cognitivas gerais pré-existentes às tarefas e materiais encontrados nas escolas, mas constroem estruturas cognitivas específicas do contexto para organizar suas atividades em cada tipo de tarefa ou situação de aprendizagem da qual participam. (BIDELL; FISCHER, 2017, p.19).

A citação acima se refere a teorias do contexto neutro, por exemplo, a teoria de Piaget, que separa desenvolvimento de aprendizado. Segundo essas teorias, primeiro a criança deve desenvolver estruturas gerais da matemática para depois aprender componentes específicos como, por exemplo, algoritmos aritméticos. Porém, segundo a teoria da habilidade, a estrutura cognitiva para o algoritmo aritmético é construída nesse contexto específico. O desenvolvimento e a aprendizagem devem convergir na construção e generalização de habilidades. Para ilustrar isto, Bidell e Fischer (2017) comentam que o uso do algoritmo da adição para duas parcelas é uma tarefa que envolve vários componentes, que incluem alguns procedimentos da adição, como contagem de dedos ou marcas no papel, o “vai 1” que envolve o significado de valor posicional, etc. “Todas essas características específicas do algoritmo aritmético devem ser organizadas por uma estrutura cognitiva que constitua uma habilidade para algoritmos aritméticos de duas posições” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.18). Portanto, é nesse sentido que a teoria da habilidade afirma que a criança parte de habilidades específicas de contextos particulares para formar novas habilidades no contexto original.

### **3.4.2 FAIXA DE DESENVOLVIMENTO**

Passaremos a descrever agora uma das características mais importantes da teoria da habilidade e que desempenhará um papel também importante neste trabalho de tese de doutoramento: a Faixa de Desenvolvimento.

Bidell e Fischer (2017) se referem à Faixa de Desenvolvimento como um tipo especial de influência que as interações sociais exercem sobre os processos de aprendizado e direcionamento do desenvolvimento. Trata-se de uma influência contextual que provoca mudança no nível cognitivo que ocorre com as diferenças no contexto ambiental de uma pessoa:

Contrariamente à perspectiva de contexto neutro, o nível de habilidade cognitiva de um indivíduo em uma dada tarefa ou situação não é rigidamente determinado por um sistema lógico preestabelecido, mas é altamente flexível e difere de acordo com o grau de apoio social proporcionado por um dado contexto situacional (BIDELL; FISCHER, 2017, p.18).

Essa Faixa de Desenvolvimento pode ser observada diariamente pelos professores através das variações na habilidade cognitiva demonstradas pelas crianças na realização de uma tarefa (ou situação) em diferentes contextos, isto é, a criança pode demonstrar um entendimento de alto nível em uma tarefa (ou situação) em um determinado contexto e não conseguir o mesmo

nível de entendimento nesta mesma tarefa se o contexto for mudado. Para um melhor esclarecimento:

Uma criança demonstra uma compreensão de alto nível quando segue de perto uma discussão liderada pelo professor; ela pode efetivamente reafirmar e explicar o argumento em seus próprios termos. Então, algumas horas depois, quando ela encontra o assunto novamente, ela parece ter perdido o entendimento, recuando para um modo de pensar muito menos sofisticado (BIDELL; FISCHER, 2017, p.24).

Quem primeiro estudou esse fenômeno foi Vygotsky ao estabelecer o conceito de zona de desenvolvimento proximal, que se referia a uma série de níveis de habilidade que um indivíduo poderia alcançar sob diferentes condições de apoio social. Neste sentido, “a teoria da habilidade, portanto, compartilha com a teoria vigotskiana a ideia de que o nível de habilidade é dependente do contexto, com o apoio social desempenhando um papel central nas variações de nível” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.24).

Com base no fato de que o apoio social desempenha um papel central nas variações do nível de habilidade, Bidell e Fischer (2017, p.24) fazem observações importantes que merecem destaque:

- “A teoria da habilidade de Fischer (1980) descreve a faixa do desenvolvimento em termos do nível de desempenho cognitivo que uma criança pode alcançar sob diferentes condições de apoio social”;
- “Quando uma criança realiza uma tarefa de forma independente, sem ajuda especial de outras pessoas ou da estrutura da situação, a criança atua em seu ‘nível funcional’, que é tipicamente modesto”;
- “O nível de desempenho de uma criança na mesma tarefa sobe para o seu ‘nível ideal’ quando as influências ambientais convergem para suportar um comportamento sofisticado”;
- “Quando o assunto é familiar e alguém ou alguma coisa prepara os elementos-chave da tarefa (por exemplo, modelando-os ou dando instruções sobre eles), a criança pode sustentar um desempenho de alto nível”;
- “Com a convergência de todos esses fatores ambientais e motivação para um bom desempenho, a criança pode realmente produzir seu mais alto nível de habilidade. Mas o comportamento cai de volta ao nível funcional assim que o suporte contextual da preparação dos elementos-chave é removido”;

- “Essa queda de nível acontece, por exemplo, quando um estudante produz um entendimento de alto nível com o apoio do argumento do professor, mas um entendimento de baixo nível com o apoio de seu próprio argumento”;
- “Os níveis funcionais e ideais são índices reais da compreensão da criança, porque essa compreensão varia realmente com o suporte contextual”.

### 3.4.3 A METÁFORA DO ANDAIME

Bidell e Fischer (2017) se basearam no trabalho de David Wood, Jerome S. Bruner e Gail Ross (1976) para considerar que, além dos níveis ideal e funcional, as crianças podem trabalhar em um nível ainda mais alto, apoiadas em “andaimes”. A metáfora do “andaime” está fundamentada em pesquisas sobre os resultados da interação da criança com um adulto na realização de tarefas. Os “andaimes” ajudam as crianças em tarefas que estão inicialmente além de suas capacidades: “esse andaime consiste essencialmente no fato de o adulto ‘controlar’ os elementos da tarefa que estão inicialmente além da capacidade do aprendiz, permitindo-lhe concentrar-se sobre e apenas completar os elementos que estão dentro de sua faixa de competência” (WOOD; BRUNER; ROSS, 1976, p.90).

Segundo Bidell e Fischer (2017), o nível por “andaimes” ocorre pela coparticipação na tarefa por outra pessoa com nível de habilidade superior ao da criança – um adulto ou uma criança mais velha –, além disso:

com o andaime que essa outra pessoa fornece, a criança e o adulto juntos podem realizar com sucesso uma tarefa que a criança não poderia fazer independentemente, mesmo com o apoio de modelagem ou instrução. Em desenvolvimento, a criança acaba apropriando-se do nível de suporte (andaime), primeiro tornando-o seu nível ideal e, posteriormente, seu nível funcional (BIDELL; FISCHER, 2017, p.25).

A mensagem principal é que a faixa de desenvolvimento nos fornece uma ferramenta poderosa para analisar os efeitos do contexto social das interações em sala de aula para a construção de habilidades específicas: “os professores não precisam esperar pelo surgimento da prontidão para começar a ensinar conteúdo” (BIDELL; FISCHER, 2017, p.25).

A educação tem dificuldade em lidar com a generalização, isto é, como transferir os conceitos e comportamentos de um contexto para outro contexto. Segundo Bidell e Fischer (2017), as teorias de contexto neutro, como a teoria dos estágios de Piaget, que prevê a generalização através de estruturas orgânicas universais, não apresentam resultados satisfatórios. No processo de generalização construtiva, as habilidades, como propriedades de

pessoas-em-contextos, devem ser generalizadas por meio de reconstrução para outros contextos:

Como as habilidades variam em nível como uma função do suporte contextual e dos "andaimes", a generalização pode ser influenciada pela manipulação do suporte na forma de modelagem, estímulos ou por "andaimes"; e o aluno pode gradualmente avançar para usar a habilidade generalizada independentemente, sem suporte (BIDELL; FISCHER, 2017, p.27).

Resta ao professor saber o momento certo de aplicar os diferentes tipos de suporte para que os alunos alcancem a generalização necessária. Para tanto, deve o professor observar as diversidades de níveis individuais encontrados em uma sala de aula, mas deixaremos essa discussão para o próximo capítulo.

### **3.5 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO**

A teoria de Piaget continua influenciando pesquisadores de vários campos da ciência, principalmente, quando a questão envolve o comportamento da criança e do adolescente. A sua epistemologia genética é de grande importância para o entendimento de que a criança pensa de forma diferente em cada estágio do desenvolvimento e, principalmente, pensa diferente do adulto. Porém, embora interacionista, a teoria de Piaget destaca a interação do sujeito apenas com o objeto físico, não deixando clara a importância da interação social no processo de aquisição do conhecimento, como se o desenvolvimento ocorresse quase de forma independente dela. Nesse sentido, a aprendizagem teria um impacto reduzido sobre o desenvolvimento intelectual.

Em sua Abordagem Neopiagetiana, Bidell e Fischer (2017) se posicionam contrariamente a alguns dos aspectos da teoria de Piaget. Bidell e Fischer não separam a estrutura cognitiva da atividade contextualizada, pois esta separação cria o dilema da prontidão, o que causa, segundo eles, um grande problema no dia a dia das escolas. Para esses pesquisadores, a interação social tem um importante papel no desenvolvimento intelectual. Através da teoria da habilidade, defendem que não há necessidade de esperar pelo desenvolvimento cognitivo para ensinar conteúdo e que cada criança está pronta para aprender e se desenvolver nas interações sociais cotidianas em contextos educacionais.

No próximo capítulo, discutiremos a influência do status socioeconômico do aluno na aprendizagem e a viabilidade de inserir na TSD os resultados da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) apresentados até aqui. Esses resultados serão tratados como uma estratégia de elevação do nível de desempenho em matemática, através da mudança do contexto

de aprendizagem em sala de aula, de alunos com dificuldade de adaptação à matemática escolar, em qualquer nível de escolaridade.

## **CAPÍTULO IV**

### **4 A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS (TSD) E A ABORDAGEM NEOPIAGETIANA DE BIDELL E FISCHER**

#### **4.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO**

Neste capítulo, levaremos em consideração alguns aspectos da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) sobre a TSD e, em seguida, criaremos estratégias de ensino-aprendizagem específicas da Matemática. Para isso, discutiremos o trabalho de outros autores que mostram fatores que influenciam direta ou indiretamente na aprendizagem do aluno. O próprio Brousseau (1998, p.73) admite que é possível que pesquisadores interpretem e usem de formas diferentes e até mesmo divergentes a sua Teoria das Situações Didáticas em matemática: “em todo caso, T.S. (a teoria das situações) é usada por vários pesquisadores e pertence a eles tanto quanto a mim. Portanto, se houver cooperação entre os pesquisadores, pode haver interpretações e usos diferentes e possivelmente divergentes”. Por outro lado, Bidell e Fischer (2017, p.26) destacam a possibilidade de uso da Abordagem Neopiagetiana como referência para intervenções educacionais: “a consideração da faixa do desenvolvimento pode facilitar a formulação de estratégias de ensino específicas, ajudando os profissionais a avaliar o impacto de suas atividades na construção de conhecimentos específicos”.

#### **4.2 A TSD NA VISÃO DA ABORDAGEM NEO-PIAGETIANA DE BIDELL E FISCHER**

Em primeiro lugar, é necessário deixar claro que Brousseau, ao estruturar a sua Teoria das Situações Didáticas, não aplicou diretamente a epistemologia genética de Piaget, mas possivelmente se inspirou nela para criar o que ele chamou de “aprendizagem por adaptação”. Essa aprendizagem por adaptação ocorre quando “o aluno é desafiado a adaptar seus conhecimentos anteriores às condições de solução de um novo problema” (PAIS, 2002, p.69). Na verdade, para Brousseau (1986), o saber se manifesta pelas respostas novas dos alunos, que são o resultado da adaptação do aluno a um meio (*milieu*); um novo problema é uma forma de desafio nesse meio e conseqüentemente o aluno precisará dos conhecimentos anteriores para resolvê-lo. Portanto, o que causa o desequilíbrio é o desafio proposto pelo professor, que deve ser algo novo para o aluno e com intenção didática.

No entanto, para que haja a adaptação e posteriormente o reequilíbrio, por se tratar de algo novo para o aluno – um desafio –, é necessário que ele supere o seu próprio nível de

conhecimento. Nesse sentido, Pais (2002, p.69) afirma, ao se referir à aprendizagem por adaptação, que: “a aprendizagem se expressa pela componente da criatividade, pois, para resolver um problema, é preciso que o aluno ultrapasse o seu próprio nível de conhecimento, revelando a operacionalidade dos conteúdos dominados até então”. E é justamente neste ponto que iniciaremos nossa discussão sobre a aplicabilidade da TSD em sala de aula, pois acreditamos que essa superação do próprio nível do aluno nem sempre é possível. Alguns alunos podem ter extrema dificuldade nessa superação de nível e, pelo menos para esses alunos, a interferência do professor durante a situação a-didática pode ser necessária.

Segundo Freitas (2010, p.78), a TSD é uma referência para o processo de aprendizagem em sala de aula pelas relações professor-aluno-conhecimento (matemático), mas principalmente por valorizar o conhecimento do aluno e seu envolvimento na construção do saber matemático e, além disso, “valoriza o trabalho do professor, que consiste, fundamentalmente, em criar condições suficientes para que o aluno se aproprie de conteúdos matemáticos específicos”. Concordamos que a TSD é uma referência para o ensino-aprendizagem em sala de aula, porém, mesmo que o professor se esforce para criar tais condições, a não interferência direta do professor nas fases da situação a-didática da TSD revela, em nosso entendimento, um ponto a ser discutido com base em aspectos sociais importantes que caracterizam o Neopiagetianismo, conforme assinalam Bidell e Fischer (2017). A TSD estabelece que as interações entre os alunos colaboram na aproximação dos entendimentos que cada um tem sobre o assunto em questão. Porém, essas interações podem ser insuficientes para determinados alunos. É também verdade que o professor pode buscar o nivelamento da turma nas discussões e na retomada do tema durante a institucionalização, mas acreditamos que, para alguns alunos, o apoio adequado durante as fases da situação a-didática pode ajudar a resolver problemas isolados de aprendizagem.

Essa não interferência por parte do professor é vista como fundamental na TSD: “entre o momento em que o aluno aceita o problema como seu e o momento em que produz a sua resposta, o professor recusa-se a intervir como proponente dos conhecimentos que pretende fazer surgir” (BROUSSEAU, 1996, p.49). Realmente essa não interferência planejada do professor é importante, porém discutiremos as possibilidades de flexibilidade desta estratégia.

Segundo Pais (2002), essa não interferência direta do professor é caracterizada como um estímulo ao aluno na superação das dificuldades na aprendizagem de algo novo, por meios próprios. E são as situações a-didáticas que proporcionam as condições necessárias para essa superação por parte do aluno: “então, surge a necessidade de uma superação de condicionantes



e de informações que não lhe foram passadas. Esses procedimentos são essenciais para o desenvolvimento da aprendizagem” Pais (2002, p.71). Quanto a isto, cabe aqui fazermos duas importantes observações. Embora Pais (2002) não tenha deixado claro quais condicionantes devem ser superados, no que diz respeito às dificuldades de aprendizagem da matemática, é necessário “rever um conjunto de condicionantes internos (funcionamento do cérebro, língua falada e estilo de aprendizagem) e condicionantes externos (fatores socioculturais e estilos de ensino)” (OLIVEIRA; NEGREIROS; NEVES, 2015, p.1023). Além disso, alguns alunos podem precisar de um apoio específico do professor durante a situação a-didática para superação dos condicionantes internos e externos.

Freitas (2010), referindo-se à devolução, classifica as escolhas de informações que devem e que não devem ser repassadas aos alunos como uma questão difícil a ser superada pelo professor. O professor deve encontrar um equilíbrio na quantidade de informações a serem repassadas ao aluno. Se as informações forem insuficientes, o aluno terá problemas no processo cognitivo e, se forem excessivas, o professor recai nos mesmos erros do ensino tradicional. Portanto, o professor fica diante de duas posições didáticas extremadas: “numa delas, o professor ausenta-se do quadro pedagógico e deixa o aluno a fazer tentativas aleatórias, o que, certamente, descaracteriza a atividade escolar; na outra, o essencial do raciocínio é repassado precipitadamente ao aluno” (FREITAS, 2010, p.92). Diante dessas importantes observações sobre o trabalho do professor na TSD, questionamos: como pode o professor alcançar esse equilíbrio sem conhecer o aluno e que estratégias o professor deve usar para avaliar esse equilíbrio? Segundo Bidell e Fischer (2017), não são as informações, ou a quantidade delas, que vão mudar o nível intelectual de um aluno, mas o tipo de apoio contextual corretamente aplicado. Em uma sala de aula encontraremos alunos que simplesmente trabalharão em seu nível funcional, sem apoio particular, outros precisarão apenas ter a habilidade modelada, por exemplo com algumas instruções, e outros precisarão da coparticipação de outra pessoa com nível de habilidade superior. O fato é que, se nada for feito, há o risco de a própria institucionalização do professor se tornar a atividade didática principal, o que transformaria a situação didática em algo muito próximo do chamado ensino tradicional – não construtivista.

A TSD, da forma como foi pensada por Brousseau (1986), deve conduzir o aluno a agir de forma independente e cabe ao professor a tarefa de simular na sala de aula uma microsociedade científica que incentive os debates e as provas. Após planejar a situação, a simulação começa com a devolução da situação-problema à turma que, segundo Freitas (2010, p.83), “tem o significado de transferência de responsabilidade, uma atividade na qual o

professor, além de comunicar o enunciado, procura agir de tal forma que o aluno aceite o desafio de resolvê-lo, como se o problema fosse seu e não somente porque o professor quer”. Realizada a devolução da situação-problema, inicia-se a situação a-didática propriamente dita e, “no transcorrer das atividades escolares, deve haver condições para que o aluno realize atos que não estão sob o controle do professor” (PAIS, 2002, p.71). Notemos que na TSD o foco não é o aluno, mas a situação didática. É ela que tem de dar condições de ação ao aluno, porém, preocupados com a diversidade em sala de aula, defendemos que não só a situação deve ser pensada, mas o aluno também deve ser considerado.

#### **4.2.1 INFLUÊNCIA DO STATUS SOCIOECONÔMICO (SSE) NO DESEMPENHO EM MATEMÁTICA ESCOLAR**

Dados fornecidos pelo National Mathematics Advisory Panel de 2008 afirmam que “em média, as crianças de famílias desfavorecidas, de baixa renda, apresentam pior desempenho matemático do que seus colegas de famílias de renda mais alta” nos EUA. As habilidades matemáticas que as crianças desenvolvem em casa, antes do início da escolaridade, são determinantes para o bom aproveitamento em matemática. Todas as crianças trazem de casa habilidades matemáticas, antes de iniciarem a vida escolar; o problema está no nível de conhecimento que elas trazem. O envolvimento dos pais nas atividades matemáticas, no lar, influencia fortemente o desempenho da criança, porém esse envolvimento está condicionado à escolaridade deles. As pesquisas mostram que, além da capacidade cognitiva, a renda familiar e as experiências no lar influenciam diretamente o conhecimento matemático que as crianças desenvolvem. Há fortes indícios de que alunos desfavorecidos, com status socioeconômico<sup>4</sup> baixo, se não receberem um tratamento individualizado no início da escolaridade, terão dificuldade de acompanhar o nível dos colegas das classes sociais média e alta e, além disso, o desempenho em matemática nos outros anos do ensino fundamental pode ficar comprometido, podendo levar esses alunos a reprovações em matemática e, até mesmo, a repetirem a série ou desistirem da escola (JORDAN; LEVINE, 2009).

Evidentemente, não podemos apontar a falta de habilidades matemáticas desenvolvidas no lar como a única causa da não adaptação do aluno à matemática escolar. De fato, estudos apontam também para a lacuna existente entre a matemática informal (do cotidiano) e a

---

<sup>4</sup> O status socioeconômico (SSE) é tipicamente definido pela renda familiar, pelo nível de pobreza na vizinhança da criança e pela escolaridade dos pais (JORDAN; LEVINE, 2009, p.60).

matemática formal (da escola). Por exemplo, se ribeirinhos do Estado do Pará forem dividir a colheita do açaí entre suas famílias, torna-se inviável contar os caroços e depois dividir pelo número de famílias, embora seja uma solução matematicamente correta. Na prática, eles colocam os caroços de açaí em latas e da mesma forma o açaí é comercializado. O mesmo acontece em uma colheita de feijão:

A contagem dos grãos é um processo perfeitamente correto do ponto de vista matemático, mas inapropriado do ponto de vista da tarefa que se deseja realizar. A mensuração com latas não é um processo reconhecido na escola, onde só lidamos com medidas convencionais, mas representa uma solução adequada, que supõe os mesmos conceitos matemáticos usados se falássemos em litros (SCHLIEMANN, A. D.; CARRAHER, D. W.; CARRAHER, T. N., 2011. p.29).

A escola não pode desprezar o saber matemático que os jovens alunos menos favorecidos socioeconomicamente adquirem ajudando o pai ou a mãe nas mais diversas profissões que a sociedade disponibiliza (ou impõe) para essas pessoas. Essa é a realidade das nossas escolas públicas e não podemos culpar o aluno por buscar soluções práticas para os problemas matemáticos, porque é assim que ele vê a matemática:

“Na escola, a matemática é uma ciência, ensinada em um momento definido por alguém de maior competência. Na vida, a matemática é parte da atividade de um sujeito que compra, que vende, que mede e encomenda peças de madeira, que constrói paredes, que faz o jogo na esquina” (SCHLIEMANN, A. D.; CARRAHER, D. W.; CARRAHER, T. N., 2011. p.35).

Portanto, devemos refletir com mais profundidade antes de tirarmos conclusões a respeito do desempenho matemático dos alunos menos favorecidos socioeconomicamente em nossas escolas públicas, que podem estar repassando a culpa do fracasso escolar exclusivamente para estes alunos. Nesse sentido, o fracasso escolar pode ser um fracasso da própria escola, localizado:

a) na incapacidade de aferir a real capacidade da criança; b) no desconhecimento dos processos naturais que levam a criança a adquirir o conhecimento; c) na incapacidade de estabelecer uma ponte entre o conhecimento formal que deseja transmitir e o conhecimento prático do qual a criança, pelo menos em parte, já dispõe (SCHLIEMANN, A. D.; CARRAHER, D. W.; CARRAHER, T. N., 2011. pp.60-61).

Neste trabalho, um destaque será dado ao item (c) desta citação, em que aproximações entre a matemática prática (do cotidiano) e a matemática formal (da escola) podem trazer bons resultados na adaptação dos alunos menos favorecidos socioeconomicamente à matemática escolar.

#### **4.2.2 O CONTEXTO DE APRENDIZAGEM EM SALA DE AULA**

Inicialmente, consideremos que a diversidade encontrada em uma sala de aula não pode ser discutida exclusivamente por características biológicas, pois quando questionamos “quem”

é o aluno somos levados a considerar diversos aspectos referentes, principalmente, ao contexto: “a biologia é uma explicação inadequada porque as diferenças existem não apenas entre os indivíduos, mas também com o mesmo indivíduo em resposta a diferentes contextos, pessoas e problemas” (ROSE; DALEY; ROSE, 2011, p.155). Desta forma, qualquer tipo de avaliação que tenha como objetivo determinar “quem” é o aluno – testes de inteligência, por exemplo –, administrado uma única vez e em um único contexto se mostra insuficiente. Além disso, Rose, Daley e Rose (2011, p.155) também chamam a atenção para a complexidade em analisar a aprendizagem e o comportamento e que para entendermos “quem” é o aluno vários aspectos devem ser analisados, o que “requer explicar padrões de estabilidade no comportamento, na aprendizagem, na variabilidade e fatores que influenciam essa variabilidade, incluindo o poderoso papel do contexto”. Por exemplo, um aluno que se destaca com uma excelente nota em uma avaliação individual escrita pode ter um desempenho considerado baixo em uma avaliação em que tenha de explicar o mesmo assunto do teste escrito diante da sua turma e, ainda, o resultado pode ser diferente se a plateia for composta de pessoas não familiares ao aluno.

Consideramos o trabalho do professor em sala de aula uma das atividades mais complexas que existe, principalmente quando as turmas são muito heterogêneas. Quando falamos de turma heterogênea estamos nos referindo a “esse pequeno universo onde interagem professores e alunos com diferentes origens sociais e vivências culturais, condições econômicas, saberes, valores e expectativas” (AMBROSETTI,1999, p.95)

A dificuldade de lidar com a diversidade em sala de aula, principalmente com as turmas numerosas de nossas escolas públicas, leva muitos professores a trabalhar com um aluno “padrão”, isto é, eles agrupam os alunos em níveis de “fortes”, “médios” e “fracos” e essa generalização pode se transformar em preconceito (AMBROSETTI, 1999, pp. 95-96). Essa prática, além de discriminar alunos, pode realmente dificultar (ou impedir) a identificação de problemas de aprendizado e o acompanhamento individual desses alunos.

Uma grande vantagem que vemos na aplicação da TSD nas aulas de matemática nas escolas é que, durante a construção do conhecimento pelos alunos (situação a-didática), Brousseau (1996) sugere que o professor não interfira didaticamente no aprendizado. Isto proporciona ao professor totais condições de observação do comportamento dos alunos durante as trocas de informações na ação, formulação e validação de suas hipóteses na realização da tarefa matemática. É o momento certo de o professor de matemática conhecer seus alunos e identificar possíveis problemas de aprendizado: “a atitude observadora da professora permite-

lhe conhecer cada aluno, percebendo a diversidade de vivências, interesses e universos culturais que existem entre as crianças na sala de aula e trabalhando com tal característica” (AMBROSETTI, 1999, p.120).

Nesse sentido, discutiremos, na próxima subseção, de que forma a Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer poderá contribuir com à TSD, no que diz respeito ao contexto de aprendizado da situação a-didática.

### **4.2.3 CONTRIBUIÇÕES DA ABORDAGEM NEO-PIAGETIANA DE BIDELE E FISCHER À TSD**

Freitas (2010, p.91), referindo-se à situação a-didática, afirma que “devemos possibilitar ao aluno o máximo de independência para que ele possa desenvolver autenticamente seus próprios mecanismos de resolução do problema”. Concordamos com essa afirmação, porém, tendo em vista a diversidade em sala de aula e considerando tudo que foi mostrado anteriormente sobre a diversidade em sala de aula, pode-se fazer necessária a intervenção do professor – direta ou indiretamente – durante as fases da situação a-didática, para apoiar um ou outro aluno com dificuldades de acompanhar o nível da turma.

Na situação a-didática da TSD os alunos podem e devem se ajudar mutuamente. Por exemplo, durante a formulação, “o aluno troca informações com uma ou várias pessoas, que serão os emissores e receptores, trocando mensagens escritas ou orais. Estas mensagens podem estar redigidas em língua natural ou matemática, segundo cada emissor” (ALMOULOU, 2007, p.38). O fato é que, dependendo da turma e da situação-problema, essa interação entre os alunos, embora importante e necessária, pode não ser suficiente para que o objetivo seja alcançado, isto é, para que os grupos de alunos previamente estabelecidos pelo professor para a atividade em questão consigam formular uma estratégia de resolução da situação-problema. Além disso, supondo que consigam formular uma estratégia, a validação desta estratégia requer um alto nível de abstração. Portanto, com base em Bidell e Fischer (2017), além de escolher uma boa situação-problema, o professor deve acompanhar atenciosamente os trabalhos dos alunos nas fases da situação a-didática da TSD, com o objetivo de detectar alunos ou grupos de trabalhos que estejam com dificuldades no desenvolvimento das fases da situação a-didática – ação, formulação e validação – e avaliar a necessidade ou não de um apoio contextual para um aluno (ou um grupo de alunos) em particular que não esteja conseguindo acompanhar o ritmo da turma.

Segundo Brousseau (1996, p.38), o professor deve organizar a situação didática de uma maneira que permita ao aluno agir de forma semelhante à de um pesquisador em uma atividade científica. Portanto, as situações-problema têm de proporcionar ao aluno condições para que ele “aja, formule, prove, construa modelos, linguagens, conceitos, teorias, os troque com outros, reconheça aqueles que são conformes à cultura, retire desta aqueles que lhe são úteis, etc.”. E é nesse sentido que Freitas (2010, p.85) fala a respeito do trabalho do professor: “o professor prepara, organiza a situação e tem controle sobre o andamento dela, não sobre o saber, para que o aluno possa vivenciá-la como se fosse um pesquisador que busca encontrar a solução sem a ajuda do mestre”. Uma boa forma de proporcionar este clima de pesquisa em sala de aula, nos moldes da TSD, é partir dos casos particulares para o geral. Por exemplo, suponhamos que o professor tenha como objetivo principal de sua aula o caso geral de solução de uma equação do 2º grau – a fórmula de Bhaskara, como é chamada no Brasil –, que ainda não é de conhecimento de uma certa turma do 9º ano de uma determinada escola. Inicialmente, consideremos que já é do conhecimento dos alunos que a equação  $ax^2 + bx + c = 0$  é a forma geral de representar qualquer equação do 2º grau, em que a, b e c representam números reais quaisquer com  $a \neq 0$ . Além disso, consideremos também que os alunos já sabem resolver uma equação do 2º grau aplicando o método de completamento de quadrados. Então, tudo isto é conhecimento anterior, uma ferramenta a ser usada pelos alunos desta turma.

Portanto, esperamos que os alunos saibam aplicar o processo de complemento de quadrados, por exemplo, como método de resolução da equação  $2x^2 + 4x - 2 = 0$ , que consiste em primeiro dividir toda a equação por dois (coeficiente do  $x^2$ ) para deixar na forma  $x^2 + 2x - 1 = 0$  e, então,  $x^2 + 2x = 1$ . Em seguida, nesta última equação, acrescentar em ambos os lados o quadrado da metade do coeficiente do x, isto é,  $\left(\frac{2}{2}\right)^2$ , que é igual a 1. Chegaremos, então, em  $x^2 + 2x + 1 = 1 + 1$ , ou ainda,  $x^2 + 2x + 1 = 2$ . Este processo permite que o lado esquerdo da equação se torne um trinômio quadrado perfeito, isto é,  $(x + 1)^2 = 2$ . A partir daí é só extrair a raiz quadrada e efetuar os cálculos aritméticos para chegar na solução  $x = -1 \pm \sqrt{2}$ , isto é,  $x' = -1 + \sqrt{2}$  ou  $x'' = -1 - \sqrt{2}$ , que são as raízes da equação  $2x^2 + 4x - 2 = 0$ . É necessário que o aluno tenha aprendido bem esse método para que possa resolver a situação-problema que iremos propor. Como mostrado anteriormente, alunos que tiveram dificuldades na aprendizagem da matemática nos anos iniciais – por exemplo, pela influência do status socioeconômico e por não terem recebido o apoio contextual

necessário – podem ainda estar apresentando dificuldades de aprendizagem em matemática no 9º ano do Ensino Fundamental.

Seria muito cômodo ao professor se utilizar do ensino tradicional, partindo diretamente da fórmula de Bhaskara  $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ , porém, em uma abordagem construtivista, através da TSD, propomos uma situação-problema, que chamaremos de **Aplicação 2**, em que os alunos devem responder à seguinte questão:

- Aplicando o método de completamento de quadrados, mostre uma expressão matemática que represente a solução da equação do 2º grau  $ax^2 + bx + c = 0$ .

*Intenção Didática:* esperamos que os alunos descubram a fórmula geral de solução de uma equação do 2º grau (a fórmula de Bhaskara, como é conhecida no Brasil).

*Devolução:* durante a devolução dessa situação-problema, o professor deve estimular o aluno a aceitar o desafio de trabalhar com letras, em vez de números, e falar da importância de buscar uma generalização dos casos particulares em matemática.

Feita a devolução, inicia-se a situação a-didática, isto é, sem a interferência direta do professor, os grupos previamente organizados irão buscar uma resposta para a situação-problema proposta.

*Ação:* durante a fase de ação os alunos podem discutir, por exemplo, como aplicar o método de complemento de quadrados nesta equação, cujos coeficientes não são números, são letras.

*Formulação:* esperamos que os alunos cheguem à conclusão de que basta aplicar o método de complemento de quadrados na equação  $ax^2 + bx + c = 0$ , como se as letras a, b e c fossem números.

A partir daí, os alunos terão de validar essas hipóteses, mostrando uma expressão geral de resolução desta equação do 2º grau.

*Validação* das hipóteses formuladas:

$$ax^2 + bx + c = 0 \Leftrightarrow \frac{ax^2}{a} + \frac{bx}{a} + \frac{c}{a} = \frac{0}{a} \Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0 \Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} - \frac{c}{a} = 0 - \frac{c}{a}$$

$$\Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x = -\frac{c}{a} \Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 = -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \Leftrightarrow x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 = -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 \Leftrightarrow$$

$$\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a} \Leftrightarrow \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a^2} \Leftrightarrow x + \frac{b}{2a} = \pm \sqrt{\frac{b^2 - 4ac}{4a^2}} \Leftrightarrow x = -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \Leftrightarrow x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}.$$

Todo esse cálculo algébrico tem um alto nível de abstração; além disso, o aluno precisa ter um bom conhecimento aritmético e algébrico para efetuar as passagens mostradas acima. Portanto, as dificuldades de aprendizagem em matemática nos anos iniciais, discutidas anteriormente, podem também interferir nos cálculos algébricos do 9º ano. Temos consciência de que existem alunos que não apresentam nenhuma dificuldade em desenvolver essa validação. Porém, a nossa preocupação aqui é com os alunos que provavelmente não estão conseguindo acompanhar o nível da turma. Esta dificuldade parece se agravar mais ainda em nossas escolas públicas. A realidade das escolas públicas no Brasil parece se encaixar perfeitamente nos problemas de status socioeconômico já abordados. Supondo que a maioria dos pais de alunos que pertencem à classe social menos favorecida economicamente tem baixa escolaridade, pode haver pouco ou nenhum tipo de apoio educacional no lar. Evidentemente que não podemos entender isto como uma regra, mas, se pelo menos um aluno se enquadra neste contexto social, com certeza esta é uma realidade que deve ser levada em consideração.

O professor não pode se dar por satisfeito porque a média da turma está alta e somente alguns alunos se encontram abaixo desta média. Não podemos aceitar esse fato como normal, visto que esses alunos também são de sua responsabilidade. O professor poderia pensar que o caso dos alunos que estão abaixo da média da turma seria, então, um problema para os técnicos educacionais ou para as famílias desses alunos resolverem. Afirmamos que não. Todos os alunos são da responsabilidade do professor em sala de aula, principalmente aqueles que não têm nenhum apoio educacional em seus lares. O fato é que, dependendo da turma, a resolução dessa situação-problema pode ser uma tarefa difícil para alguns alunos. A interação entre os alunos durante as fases de uma situação a-didática da TSD pode ajudar no nivelamento da turma, elevando o nível de entendimento desses alunos em dificuldade. Porém, se isso não for suficiente, então, um apoio contextual adequado, seguindo o modelo da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017), pode ser aplicado para transformar essa situação difícil em algo acessível aos alunos em dificuldade.

Por exemplo, na Aplicação 2 apresentada acima, o professor, ao perceber a dificuldade de alguns alunos na situação a-didática, poderia, nos moldes da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017), dar um apoio contextual na forma de instrução, que seria uma recomendação para que esses alunos utilizem um quadro comparativo a fim de auxiliar na



resolução da tarefa, um modelo a ser seguido. Aliás, a TSD não impõe nenhuma restrição quanto à possibilidade de o professor ajudar alunos em dificuldades na realização de uma tarefa; pelo contrário, Brousseau (1996, p.51) afirma que o professor tem a obrigação social de ajudar o aluno em dificuldade na realização de uma tarefa. Portanto, esse apoio contextual em forma de instrução poderia fazer parte do plano de aula do professor para ser usado caso ele considerasse necessário. Para não interromper o trabalho dos outros alunos, a instrução deve ser entregue impressa somente aos alunos com dificuldades nas fases da situação a-didática.

Portanto, visando a contribuir na aplicação da TSD em sala de aula, propomos, com base na Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017), um apoio contextual em forma de instrução para a **Aplicação 2** discutida acima:

*Instrução:* Faça um quadro comparativo com a equação completa de coeficientes numéricos  $2x^2 + 4x - 2 = 0$  do lado esquerdo e a equação geral  $ax^2 + bx + c = 0$  do lado direito. Aplique o processo de completamento de quadrados na equação da esquerda e repita o processo passo a passo na equação da direita.

Observemos que a instrução não revela a intenção didática do professor, que seria o caso geral de solução de uma equação do 2º grau – a fórmula de Bhaskara –, a qual deve ser “descoberta” pelos próprios alunos. Além disso, a instrução só deve ser utilizada quando o professor perceber que os alunos estão em extrema dificuldade nas fases da situação a-didática. Esperamos que, de posse desta instrução, os alunos que antes não estavam conseguindo ter sucesso na situação a-didática possam realizar a tarefa, preenchendo o quadro comparativo da instrução de forma semelhante ao quadro 1 abaixo:

**Quadro 1** – Quadro Comparativo

$2x^2 + 4x - 2 = 0$	$ax^2 + bx + c = 0$
$\frac{2}{2}x^2 + \frac{4}{2}x - \frac{2}{2} = \frac{0}{2}$	$\frac{ax^2}{a} + \frac{bx}{a} + \frac{c}{a} = \frac{0}{a}$
$x^2 + 2x - 1 = 0$	$x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a} = 0$
$x^2 + 2x = -(-1)$	$x^2 + \frac{b}{a}x = -\frac{c}{a}$
$x^2 + 2x + \left(\frac{2}{2}\right)^2 = 1 + \left(\frac{2}{2}\right)^2$	$x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{\frac{b}{a}}{2}\right)^2 = -\frac{c}{a} + \left(\frac{\frac{b}{a}}{2}\right)^2$
$x^2 + 2x + 1^2 = 1 + 1^2$	$x^2 + \frac{b}{a}x + \left(\frac{b}{2a}\right)^2 = -\frac{c}{a} + \left(\frac{b}{2a}\right)^2$

$(x + 1)^2 = 2$	$\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2}{4a^2} - \frac{c}{a} \Rightarrow \left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 = \frac{b^2 - 4ac}{4a^2}$
$x + 1 = \pm\sqrt{2}$	$x + \frac{b}{2a} = \pm\sqrt{\frac{b^2 - 4ac}{4a^2}}$
$x = -1 \pm\sqrt{2}$	$x = -\frac{b}{2a} \pm \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \Rightarrow x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

Fonte: Adaptado de Giovanni e Castrucci (2009, p.115)

Antes de iniciar a institucionalização, o professor deve analisar se um ou outro aluno necessita de apoio contextual diferenciado, pois para alguns alunos a instrução pode ter sido insuficiente. Neste caso, como já mostrado, a recomendação de Bidell e Fischer (2017) é que a generalização de habilidades pode ser alcançada por um suporte contextual na forma de “andaimes”, em que o professor da turma ou um professor estagiário – propomos que o aluno de licenciatura em estágio obrigatório nas escolas poderia participar efetivamente dessas atividades – realizaria junto com o aluno o preenchimento do quadro 1. Nessa coparticipação do professor, ou professor estagiário, o aluno não pode ser um simples observador, ele tem de participar efetivamente da tarefa e cabe ao participante adulto estimular o aluno, por exemplo, com algumas “dicas” de como proceder nos cálculos matemáticos. Segundo Bidell e Fischer (2017), o aluno acaba se apropriando desse nível de suporte.

Abordaremos agora a institucionalização da **Aplicação 2**, conforme preconiza a TSD. Durante a institucionalização, o professor assume total controle sobre a situação didática, conduzindo a turma para uma socialização dos resultados. É o momento também de revelar os objetivos didáticos da aula. Porém, a institucionalização não deve se limitar a discutir o conhecimento apenas no nível da situação que o gerou, mas elevá-lo a um status de saber. Certificando-se de que todos os alunos tiveram sucesso na realização da tarefa, o professor deve despersonalizar e descontextualizar o problema: “sob o controle do professor, é o momento onde se tenta proceder a passagem do conhecimento, do plano individual e particular, à dimensão histórica e cultural do saber científico” (PAIS, 2002, p.74). É necessário que o aluno compreenda o significado do assunto estudado e onde ele se enquadra no saber científico. Portanto, com relação à situação-problema discutida acima, o professor deve apresentar o resultado encontrado pelos alunos de forma despersonalizada e descontextualizada. Deve apresentar a chamada fórmula de Bhaskara como um saber culturalmente aceito e mostrar as suas correlações com outros saberes. Portanto, o professor pode iniciar a institucionalização mostrando aos alunos a importância do resultado encontrado por eles. Por exemplo, que eles não precisam mais aplicar o método de complemento de quadrados para encontrar a solução da

equação  $2x^2 + 4x - 2 = 0$ . Segundo a nova fórmula descoberta pelos próprios alunos, basta conhecer os coeficientes  $a$ ,  $b$  e  $c$  para encontrar a solução de forma econômica. Como neste caso  $a = 2$ ,  $b = 4$ ,  $c = -2$ , basta substituir esses valores na fórmula de Bhaskara para encontrarmos a solução econômica:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \Leftrightarrow x = \frac{-4 \pm \sqrt{4^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-2)}}{2 \cdot 2} \Leftrightarrow x = -1 \pm \sqrt{2} \Leftrightarrow x' = -1 + \sqrt{2} \text{ ou } x'' = -1 - \sqrt{2}.$$

Após isto, o professor pode, então, discutir a condição de existência de raízes reais, mostrando aos alunos o caso em que o discriminante  $\Delta = b^2 - 4ac$  é um número negativo. Além disso, pode também mostrar, através da história da matemática, como os matemáticos superaram o problema da raiz quadrada de um número negativo, fazendo uma breve apresentação do surgimento dos números complexos. Quanto à correlação com outros saberes, o professor pode aplicar a fórmula de Bhaskara para resolver problemas geométricos, por exemplo, no cálculo de área ou na determinação do número de lados de um polígono sendo conhecido o número de diagonais.

Ainda em relação a esta turma fictícia do 9º ano, suponhamos que o professor da turma, dando sequência às suas aulas, teria agora, como objetivos didáticos, estabelecer relações entre as raízes e os coeficientes da equação do 2º grau. Seguindo o que preconiza a TSD, vamos propor uma situação-problema em forma de desafio aos alunos, a qual chamaremos de **Aplicação 3**, para que eles próprios estabeleçam as relações. Novamente, partiremos de um caso particular para o caso geral. Para isso, propomos o seguinte desafio aos alunos:

- Vamos supor que o professor organizou a turma em grupos de quatro alunos. Cada grupo receberá duas equações do 2º grau diferentes, todas com  $a = 1$  (coeficiente do  $x^2$ ) e que possuam raízes reais. Cada par de alunos do grupo ficará com uma equação. O professor, então, desafiará a turma com o seguinte jogo:

1ª Tarefa: Encontre dois números cuja soma é  $-b$  e o produto  $c$ , sendo  $b$  e  $c$  coeficientes da equação  $ax^2 + bx + c = 0$  que você recebeu;

2ª Tarefa: depois de achar os dois números, verifique se eles são raízes da sua equação;

3ª Tarefa: Podemos concluir que em toda equação do 2º grau  $ax^2 + bx + c = 0$ , que possui raízes reais, a soma delas é  $-b$  e o produto é  $c$ ? Justifique sua resposta.

*Intenções Didáticas:*

- mostrar aos alunos, na 1ª e na 2ª tarefa, um caso particular das relações entre as raízes e os coeficientes de uma equação do 2º grau, sem que eles tenham consciência disto. Eles devem encarar essas tarefas como um jogo de adivinhação;
- estimular os alunos, na 3ª tarefa, a descobrirem por eles próprios o caso geral das relações entre as raízes e os coeficientes de uma equação do 2º grau.

*Devolução:* durante a devolução dessa situação-problema, o professor explica as regras do jogo (1ª, 2ª e 3ª tarefas) e estimula o aluno a aceitar o desafio.

Feita a devolução na forma de jogo ao aluno, discutiremos agora as possibilidades para as atuações de alunos nas fases da situação a-didática para 1ª e 2ª tarefas:

Esperamos que durante as fases de ação, formulação e validação os alunos possam trocar ideias sobre as tentativas de acertar na escolha dos números e não tenham dificuldades em fazer a 1ª e 2ª tarefas, pois o objetivo principal está no desenvolvimento da 3ª tarefa. Por isso, o professor deve selecionar equações que levem a resultados simples, com números inteiros. Por exemplo, suponhamos que dois alunos de um grupo receberam a equação  $x^2 - 3x + 2 = 0$ , sendo  $b = -3$ ,  $c = 2$  e, como já foi dito, o coeficiente  $a$  será 1 em todas as equações. Esses dois alunos, então, deverão interagir entre si como se estivessem participando de um jogo, até descobrirem, na 1ª e 2ª tarefas, que os números procurados são 1 e 2. As validações, para este exemplo especificamente, são mostradas abaixo:

*Validação da 1ª tarefa:* considerando o exemplo acima, basta mostrar que  $1 + 2 = 3$  (a soma é  $-b$ ) e  $1 \cdot 2 = 2$  (o produto é  $c$ );

*Validação da 2ª tarefa:* considerando o exemplo acima, os alunos deverão verificar que 1 e 2 são raízes, substituindo o  $x$  da equação  $x^2 - 3x + 2 = 0$  por 1 e 2, isto é,  $1^2 - 3 \cdot 1 + 2 = 0$  e  $2^2 - 3 \cdot 2 + 2 = 0$ .

Na verdade, embora as equações sejam diferentes, para cada equação os pares de números encontrados sempre serão raízes, o que levará o grupo a responder sim na 3ª tarefa. No entanto, será necessário validar essa hipótese provando que a relação é válida para qualquer equação do 2º grau e, como a 3ª tarefa é comum a todos, o grupo deve trabalhar como uma equipe nesta validação.

Discutiremos agora as possibilidades para as atuações dos alunos nas fases da situação a-didática para a 3ª tarefa:

Ação e Formulação da 3ª tarefa:

Esperamos que, da mesma forma como fizemos na **Aplicação 2** anterior, os alunos percebam que devem trabalhar com a equação geral  $ax^2 + bx + c = 0$  e com sua solução geral  $x = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}$ , sendo  $\Delta = b^2 - 4ac$ . O símbolo matemático  $\pm$  indica a possibilidade de duas raízes reais:  $x' = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$  ou  $x'' = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$ .

*Validação das hipóteses formuladas na 3ª tarefa*

Será que a soma das raízes é sempre  $-b$  e o produto sempre igual a  $c$ ? Verifiquemos:

$$1^\circ) \text{ soma das raízes: } x' + x'' = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} + \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-b + \sqrt{\Delta} - b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-2b}{2a} = \frac{-b}{a}$$

- Significa que em toda equação do 2º grau, em que  $x'$  e  $x''$  são raízes reais,  $x' + x'' = \frac{-b}{a}$

- Portanto, desde que o coeficiente  $a$  seja 1, podemos afirmar que a soma das raízes é  $-b$ .

$$2^\circ) \text{ produto das raízes: } x' \cdot x'' = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} \cdot \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{(-b + \sqrt{\Delta}) \cdot (-b - \sqrt{\Delta})}{4a^2} = \frac{(-b)^2 - (\sqrt{\Delta})^2}{4a^2} = \frac{b^2 - \Delta}{4a^2}$$

$$\text{Como } \Delta = b^2 - 4ac, \text{ então } x' \cdot x'' = \frac{b^2 - (b^2 - 4ac)}{4a^2} = \frac{b^2 - b^2 + 4ac}{4a^2} = \frac{4ac}{4a^2} = \frac{c}{a}$$

- Significa que em toda equação do 2º grau, em que  $x'$  e  $x''$  são raízes reais,  $x' \cdot x'' = \frac{c}{a}$

- Portanto, desde que o coeficiente  $a$  seja 1, podemos afirmar que o produto das raízes é  $c$ .

Com a validação feita corretamente, os alunos poderão observar que as relações verificadas na 1ª e na 2ª tarefa eram na verdade um caso particular das relações entre raízes e coeficientes de uma equação do 2º grau. Novamente seguindo a proposta Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017), preocupamo-nos, na verdade, com a possibilidade real de que um grupo ou alguns alunos em um grupo não consigam realizar essa tarefa. Neste caso, precisaremos de apoio contextual durante a situação a-didática. Evidentemente que a quantidade de alunos na situação de extrema dificuldade de acompanhar o nível da turma varia de escola para escola e depende de vários fatores, por exemplo o status socioeconômico dos alunos, entre outros, como já foi discutido. Portanto, supondo que o professor observou alguns alunos com dificuldade na

validação desta tarefa e pensando no nivelamento da turma, propomos aos alunos em dificuldade de aprendizado o seguinte apoio contextual em forma de instrução:

**Instrução:** Use a solução geral da equação do 2º grau  $x' = \frac{-b+\sqrt{\Delta}}{2a}$  e  $x'' = \frac{-b-\sqrt{\Delta}}{2a}$  para calcular  $x' + x''$  (soma) e  $x'.x''$  (produto).

Observemos que essa instrução não revela as intenções didáticas do professor. Os alunos com extremas dificuldades na realização da tarefa podem, a partir desse suporte contextual, acompanhar o nível de desenvolvimento dos outros grupos que estejam progredindo nas fases da situação a-didática. Além disso, essa instrução deverá ser entregue impressa somente ao aluno (ou grupo) no qual o professor verificou extrema dificuldade na realização da tarefa e julgou que sem ajuda adequada não conseguirá chegar aos resultados esperados. É importante fazer isto sem interromper os trabalhos dos outros grupos que estejam tendo sucesso na situação a-didática. Ademais, pode ocorrer que, mesmo de posse da instrução, um aluno de um grupo não consiga acompanhar o nível das discussões dos outros membros do grupo. Neste caso, o ideal é que o professor possa solicitar a coparticipação de uma outra pessoa – ele mesmo ou um professor estagiário – para que este aluno receba a ajuda necessária em forma de “andaime”.

Discutiremos agora a institucionalização desta tarefa, conforme preconiza a TSD. Na institucionalização desta situação-problema, o professor revela suas intenções didáticas, mostrando a importância das relações descobertas pelos próprios alunos. A partir dessas relações, o professor deve mostrar que é possível achar a equação do 2º grau, conhecendo apenas as suas raízes. Por exemplo, se  $x' = \frac{2}{5}$  e  $x'' = -1$  são raízes de uma equação do 2º grau, então  $x' + x'' = \frac{-3}{5} = \frac{-b}{a}$  e  $x'.x'' = \frac{-2}{5} = \frac{c}{a}$ . Portanto,  $a = 5, b = 3, c = -2$  e a equação procurada é  $5x^2 + 3x - 2 = 0$ . É o momento também de o professor mostrar aos alunos que essas relações de soma e produto levam à expressão  $(x - x') \cdot (x - x'') = 0$ , que é a forma fatorada da equação do 2º grau, e a sua demonstração é um excelente exercício de fatoração, que o professor pode propor aos alunos em um próximo desafio. Mas, voltando ao exemplo acima, substituindo nesta forma fatorada as raízes  $x' = \frac{2}{5}$  e  $x'' = -1$ , teremos  $(x - \frac{2}{5}) \cdot (x + 1) = 0$ , e, efetuando a multiplicação, chegaremos na mesma equação  $5x^2 + 3x - 2 = 0$ .

Acreditamos que o suporte contextual bem aplicado pelo professor, além de possibilitar o nivelamento da turma, vai diminuir consideravelmente as reprovações em matemática e, conseqüentemente, diminuirá também a evasão escolar. Porém, o mais importante é recuperar

a autoestima daqueles alunos considerados “fracos” por estarem, estatisticamente, abaixo da média da turma em matemática.

#### 4.2.4 SITUAÇÕES EM CONTEXTOS DIDÁTICOS

Com base em tudo que discutimos até aqui, propomos uma contribuição para a aplicação da TSD. O professor terá que observar atentamente os trabalhos dos grupos e saber o momento certo e o tipo de apoio contextual adequado para atender à diversidade encontrada em sala de aula:

As crianças que tentam trabalhar em situações em que seu nível funcional é muito baixo em relação às demandas de tarefas podem precisar ser apoiadas (andaimes), coparticipando com um professor, uma criança mais velha ou um colega. Outros podem precisar apenas ter a habilidade modelada ou encontrar a tarefa em um cenário mais familiar. Outros ainda podem precisar simplesmente trabalhar em seu nível funcional, sem apoio particular, para generalizar habilidades para cenários já familiares. (BIDELL; FISCHER, 2017, p.27)

Seguindo essas orientações, propomos que o professor de matemática, durante a aplicação da TSD em sala de aula, observe a possibilidade de intervenção com apoio contextual (modelagem ou instrução), sempre que julgar que um aluno ou grupo de alunos apresenta extrema dificuldade de desenvolvimento das fases da situação a-didática, com forte tendência de não obterem sucesso dentro dos objetivos traçados pelo professor. Além disso, é importantíssimo identificar aquele aluno que, mesmo com apoio contextual na forma de modelagem ou instrução, não está conseguindo acompanhar o nível de discussões do grupo. Neste caso, esse aluno precisará de um apoio contextual diferenciado em forma de “andaimes”. Portanto, identificamos dois tipos de situação que podem ocorrer durante a aplicação da TSD em sala de aula, sempre que o professor intervier com apoio contextual durante a situação a-didática, as quais passaremos a chamar de *Situações em Contextos Didáticos* (SCD):

**SCD1:** o apoio contextual é dado na forma de instrução ou modelagem sempre que, durante a situação a-didática, o professor perceber que um aluno ou um grupo de alunos apresenta extrema dificuldade de desenvolvimento das fases da situação a-didática, com forte possibilidade de não alcançarem os objetivos planejados pelo professor.

**SCD2:** o apoio contextual é dado na forma de coparticipação sempre que, durante a situação a-didática, o professor perceber que, mesmo recebendo instrução ou modelagem, o aluno não consegue acompanhar o nível das discussões do seu grupo de trabalho.

### 4.3 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

As estratégias contidas nas Situações em Contextos Didáticos (SCD) podem e devem ser usadas pelo professor em qualquer nível do ensino escolar – fundamental ou médio –, portanto, durante toda a vida escolar de um aluno. Muitas dificuldades de aprendizado em matemática no ensino fundamental e médio ocorrem devido ao nível de abstração e criatividade exigidos do aluno. Porém, acreditamos que essas dificuldades também têm origem nas estratégias de ensino de matemática nos anos iniciais do ensino fundamental. Como já foi discutido, existem habilidades matemáticas pré-escolares, desenvolvidas principalmente no lar, necessárias para uma boa compreensão da matemática escolar, que muitos alunos não desenvolvem por diversos motivos, mas isso não significa falta de inteligência. Na verdade, esses alunos menos favorecidos economicamente precisam de adaptação à matemática escolar, e as Situações em Contextos Didáticos podem proporcionar essa adaptação com a elevação do nível de desempenho em matemática. A situação a-didática exige que o professor se dedique ao máximo em detectar possíveis desníveis de habilidades matemáticas, sempre buscando o nivelamento da turma. Por isso, se tivermos professores bem treinados para essas Situações em Contextos Didáticos, muitos problemas futuros de aprendizado em matemática poderão ser evitados.

No próximo capítulo, trataremos da Ansiedade Matemática como um fator socioemocional altamente prejudicial ao desempenho matemático, da Criação de Significado como estratégia motivacional e da inserção dos resultados apresentados na TSD.



## **CAPÍTULO V**

### **5 A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS E A INFLUÊNCIA DOS FATORES SOCIOEMOCIONAIS NO PROCESSO DE ENSINO/APRENDIZAGEM DA MATEMÁTICA**

#### **5.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO**

Consideramos a Teoria das Situações Didáticas uma das principais teorias na pesquisa do processo de ensino-aprendizagem em Matemática e depois de várias décadas de sua publicação nos deparamos com a possibilidade de mostrar como seria trabalhar de forma multidisciplinar, com base nos significativos avanços na área da neurociência socioafetiva. E é nesse clima de pesquisa colaborativa que iremos expor nossas ideias sobre a aplicabilidade da TSD, propondo formas diferenciadas de atuação do professor, sempre com a intenção de mostrar como seria produtivo discutir essa reconhecida teoria sob os olhares de outras áreas do conhecimento.

#### **5.2 APROXIMANDO A PESQUISA NEUROCIENTÍFICA DA PRÁTICA EDUCACIONAL**

Embora tenhamos praticamente três décadas de pesquisas neurocientíficas<sup>5</sup> desenvolvidas por meio de imagens, a lacuna entre essas pesquisas e a prática educacional ainda é considerável. As pesquisas neurocientíficas ocorrem de forma independente e não correlacionadas à realidade da sala de aula. Além disso, as pesquisas neurocientíficas têm desconsiderado variáveis socioculturais importantes, que influenciam fortemente todo o processo educacional, incluindo a escola: “a premissa central do nosso trabalho é que o desenvolvimento neurobiológico e sociocultural são codependentes; nenhum pode existir sem o outro e cada um influencia e organiza o outro ao longo do tempo” (IMMORDINO-YANG; GOTLIEB, 2017, p.345). A pesquisa multidisciplinar entre campos científicos distintos, incluindo o educacional, facilita os níveis de análise de um problema observado em sala de aula, à medida que os pesquisadores educacionais têm acesso direto a esses problemas.

Nos dias de hoje já existe uma preocupação em aproximar as pesquisas neurocientíficas da educacional, através do estudo da influência das relações sociais sobre os mecanismos

---

<sup>5</sup> A neurociência é o estudo dos processos neurobiológicos - como os sistemas nervosos se desenvolvem e funcionam através dos organismos. Nos seres humanos, a neurociência aborda processos celulares, moleculares, genéticos e epigenéticos, bem como processos neurais que sustentam o corpo e a mente (IMMORDINO-YANG; GOTLIEB, 2017, p.346).

biológicos. Trata-se da Neurociência Socioafetiva<sup>6</sup>. A justificativa da necessidade deste subcampo da Neurociência está na própria estrutura das pesquisas realizadas na neurociência e na educação, que dificultam demasiadamente a tradução dos resultados da pesquisa de um campo para o outro. O ideal é que as duas áreas realizem a pesquisa com o foco em uma mesma questão. Trabalhando de forma colaborativa os dois campos seriam beneficiados. A neurociência ajudaria a pesquisa em educação, por exemplo, testando a plausibilidade biológica das teorias educacionais e, por sua vez, a educação favoreceria a pesquisa em neurociência proporcionando validade ecológica às teorias neurocientíficas (IMMORDINO-YANG; GOTLIEB, 2017).

Uma das questões levantadas pela neurociência socioafetiva é a influência da ansiedade matemática na aprendizagem desta disciplina. A seguir, iremos discutir alguns estudos que tratam essa questão dentro da proposta de pesquisa defendida pela neurociência socioafetiva.

### **5.2.1 ANSIEDADE MATEMÁTICA**

No que diz respeito às emoções, quando um animal ou pessoa se encontram, por exemplo, em uma situação de perigo, a frequência cardíaca e a pressão sanguínea aumentam, a digestão diminui, o sangue é desviado para os músculos esqueléticos e, principalmente, a mente fica ocupada com estratégias para lutar, esconder ou fugir. São essas respostas corporais e mentais de um organismo diante de uma determinada situação que caracterizam a emoção. Mas estas reações emocionais podem ocorrer também em situações não reais, através de inferência, memórias, crenças ou imaginação, qualidades quase exclusivas de seres humanos. O medo diante de uma situação de perigo é uma interpretação cognitiva das respostas corporais e mentais (emoção) chamado de sentimento das emoções. Portanto, são as emoções (ocorrem primeiro) que provocam nos seres humanos os sentimentos. A importância disto para a educação é que emoções e sentimentos interferem no processo cognitivo (IMMORDINO-YANG; GOTLIEB, 2017).

A ansiedade matemática não nasce com a pessoa e não tem relação com transtornos de aprendizagem, ela é adquirida pelo indivíduo, principalmente, por experiências negativas marcantes na aprendizagem matemática na escola. Mas também pode ter sua origem no lar,

---

<sup>6</sup> A neurociência socioafetiva investiga mecanismos neurobiológicos em contextos sociais e emocionais, utilizando ferramentas como a neuroimagem (para medir a estrutura e função do cérebro), registro psicofisiológico (para medir excitação e reatividade corporal) e análise hormonal (para medir a modulação de substâncias químicas de sinalização fisiológicas no corpo - por exemplo, aquelas associadas a estresse, puberdade, relacionamentos sociais e comportamentos relacionados a gênero) (IMMORDINO-YANG; GOTLIEB, 2017, p.346).

onde é passado culturalmente dos pais para os filhos que matemática é difícil e somente poucos conseguem dominá-la. Alguns professores reforçam essa informação em sala de aula através de regras e metodologias de ensino inadequadas e pelo uso de controle aversivo (punição ou ameaça de punição). Portanto, para identificar as causas da ansiedade matemática, tanto a história passada do indivíduo, quanto os aspectos atuais que o fragilizam diante de situações relacionadas à matemática, devem ser considerados (CARMO e SIMIONATO, 2012).

### **5.2.1.1 RESULTADOS DE NEUROIMAGEM**

Immordino-Yang e Gotlieb (2017) destacam Lyons e Beilock (2012), Maloney e Beilock (2012) e Beilock e Maloney (2015) como exemplos significativos de trabalhos que buscam explicações sobre ansiedade matemática, através de pesquisas que analisam imagem de ressonância magnética funcional (fMRI) e que fazem recomendações importantes para os pesquisadores educacionais.

Lyons e Beilock (2012) sugerem combater a ansiedade matemática com intervenções educacionais que busquem o controle das respostas emocionais negativas a estímulos matemáticos, ao em vez de mero treinamento adicional em matemática (por exemplo, aulas de reforço ou particulares), e afirmam que, desta forma, aumentamos as chances de revelar uma população de indivíduos matematicamente competentes, que poderiam não ser descobertos. Para chegar a esses resultados, realizaram experiências com um grupo de pessoas de alta ansiedade matemática e com um grupo de controle de pessoas de baixa ansiedade matemática. Todos os participantes realizaram uma tarefa aritmética mental e uma tarefa de verificação de palavras, ambas com aquisição de imagem de ressonância magnética funcional (fMRI) e, através de uma sugestão controlada pelos pesquisadores, os participantes identificaram a natureza da próxima tarefa (matemática ou palavras). Foi a partir desse experimento que Lyons e Beilock (2012) conseguiram separar a atividade neural subjacente à antecipação de fazer matemática da atuação em matemática propriamente dita.

Maloney e Beilock (2012) afirmam que, independentemente da capacidade real de um aluno em matemática, a ansiedade matemática interfere na sua concentração, que diante de um teste (ou uma tarefa) de matemática passa a se preocupar demasiadamente com a situação e suas consequências, comprometendo os recursos cognitivos da memória de trabalho. Quando a capacidade da memória de trabalho em manter o foco na tarefa matemática é bloqueada, o desempenho matemático fica comprometido.

Maloney e Beilock (2012) afirmam também que há fortes indícios de que a ansiedade matemática é transmitida socialmente do professor para o aluno através das atitudes matemáticas negativas e as crianças que iniciam a escolarização formal com dificuldades matemáticas básicas de contagem e comparação numérica são mais suscetíveis de aceitar sugestões sociais que destacam a matemática negativamente, portanto, podem estar predispostas à ansiedade matemática. Por isso é importante agir de forma preventiva nos anos iniciais da escolarização, reforçando as habilidades numéricas e espaciais em crianças que demonstrarem deficiência nestas habilidades matemáticas básicas. Quanto aos alunos que já têm ansiedade matemática, os autores recomendam que devemos aplicar estratégias de controle das emoções negativas que antecedem ao início de uma tarefa matemática. Uma dessas estratégias indicadas pelos autores seria a aplicação da escrita expressiva – pessoas escrevem livremente sobre suas emoções em relação a um teste (ou tarefa) de matemática que irá ocorrer – que pode aliviar o peso que os pensamentos negativos colocam sobre a memória de trabalho.

Beilock e Maloney (2015) afirmam que, quando estão diante de uma tarefa matemática, pessoas com alto grau de ansiedade matemática não conseguem se concentrar na tarefa, mesmo se tratando de alunos com boa capacidade real em matemática. O fato é que essas pessoas fazem duas coisas ao mesmo tempo: cuidam de suas preocupações e dos cálculos matemáticos. Por isso, o desempenho em matemática é prejudicado.

Beilock e Maloney (2015) destacam o trabalho de Young, Wu e Menon (2012) que mostraram evidências, através de dados neurocientíficos de fMRI, que crianças com alto grau de ansiedade matemática ativam áreas no cérebro responsáveis pelas emoções negativas e, ao mesmo tempo, diminuem atividades em áreas responsáveis pelos recursos cognitivos da memória de trabalho, o que sugere que a ansiedade matemática bloqueia esses recursos cognitivos. O mais alarmante é que, provavelmente, a ansiedade matemática começa muito cedo, ainda nos anos iniciais da escolarização, e pode piorar com o passar dos anos escolares se nada for feito para conter o seu avanço.

Beilock e Maloney (2015) também apontam várias pesquisas que mostram que adultos com alto grau de ansiedade matemática têm dificuldade com tarefas que avaliam sua capacidade matemática básica de contagem, representação numérica e espacial. Dessa forma fica reforçada a ideia de que a ansiedade matemática está fortemente relacionada com a matemática dos anos iniciais, o que pode influenciar o desempenho em matemática mais complexa, por exemplo, álgebra e geometria. Esse quadro sugere que adultos com alto grau de ansiedade matemática provavelmente começaram a escolarização com dificuldades em habilidades matemáticas

básicas. Supondo que isto seja verdade e levando em consideração a influência social negativa de pais de alunos e professores, Beilock e Maloney (2015) concluem que crianças que iniciam a escolarização formal com dificuldades em habilidades matemáticas básicas (contagem, representação numérica e espacial) são mais predispostas a desenvolverem ansiedade matemática, sob influências negativas em relação à matemática diretamente dos pais e professores com ansiedade matemática. O professor com alto grau de ansiedade matemática transmite isso para seus alunos e pais com alto grau de ansiedade matemática, que ajudam frequentemente seus filhos com o dever de casa de matemática, também transferem para seus filhos essa ansiedade matemática.

### **5.2.1.2 INDICADORES E ESTRATÉGIAS DE REVERSÃO DE ANSIEDADE MATEMÁTICA**

O controle aversivo (punição ou ameaça de punição) descrito na obra do psicólogo B. F. Skinner ainda é utilizado hoje nas escolas brasileiras, não mais como punição física – como acontecia antigamente –, mas de forma cada vez mais sutil, porém não menos danosa. O controle aversivo do professor aparece nas notas baixas, agressões verbais, etc. e que essa é uma prática que corrobora com as situações que mais causam ansiedade matemática nos alunos (MENDES e CARMO, 2011).

A ansiedade matemática pode ser identificada através de padrões de comportamento divididos em três componentes emocionais: (1) reações fisiológicas desagradáveis, tais como taquicardia, sudorese, extremidades frias, gastralgias, cefaleias, náuseas; (2) reações de fuga (resolver rapidamente a prova de Matemática, sair da sala quando o professor o requisita para ir ao quadro, etc.) e esquiva (faltar à aula de Matemática, adoecer no dia da prova ou no dia anterior à prova, etc.) que têm por função a retirada, a cessação ou o adiamento do contato com a estimulação aversiva e (3) reações cognitivas específicas, em forma de atribuições negativas à Matemática (regras) e/ou autoatribuições negativas em relação ao desempenho em Matemática (autorregras) (FASSIS, MENDES e CARMO, 2014).

As estratégias de reversão da ansiedade matemática devem ser direcionadas à família, à escola e ao estudante e, portanto, as intervenções são diferenciadas. Por exemplo, estudos com intervenções no ambiente de estudo e nas estratégias de ensino apresentaram bons resultados na aprendizagem e na redução de estresse em estudantes do ensino básico e universitários:

as estratégias envolveram principalmente rearranjos no ambiente de estudo, tais como presença de monitores, trabalhos em pequenos grupos, acompanhamento individualizado, rodas de conversa sobre matemática, procedimentos de ensino

individualizado e ensino a distância via computador (CARMO e SIMIONATO, 2012, p.321).

Um outro aspecto importante do combate à ansiedade matemática é o discurso motivacional do professor em sala de aula em oposição ao controle aversivo. Além disso, modelos de ensino com base em agentes motivadores apresentam excelentes resultados no combate à ansiedade matemática e no desempenho matemático: “os estudantes expostos ao modelo motivador apresentaram melhora no desempenho matemático quando comparados aos estudantes expostos aos outros modelos” (CARMO e SIMIONATO, 2012, p.323). Na próxima subseção trataremos justamente da questão motivacional nas aulas de matemática como procedimento educacional que influencia diretamente o desempenho escolar do aluno.

### **5.2.2 A REDE DMN E A CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO**

A Neurociência Socioafetiva parte do princípio de que a aprendizagem e o bom desempenho acadêmico são processos socioemocionais, situados no contexto das relações interpessoais e que refletem as experiências dos indivíduos e grupos e são também processos biologicamente fundamentados que ocorrem no cérebro. A pesquisa educacional atual afirma que fatores sociais e emocionais influenciam na aprendizagem, e para apoiar essas pesquisas a Neurociência estudou os mecanismos cerebrais que produzem esses fatores. Primeiramente, descobriu-se que as habilidades cognitivas e emocionais observadas na educação são apoiadas por redes cerebrais complexas e interconectadas e não por processadores neurais que, supostamente, trabalhariam de forma independente. Em seguida, com a descoberta da rede DMN (Default Mode Network), foi possível identificar as regiões do cérebro que são ativadas quando focamos em sentimentos socioemocionais, padrões de pensamentos de autoprocessoamento, identidade, significado e pensamento orientado para o futuro. Pesquisas comprovaram que a rede DMN é fortemente ativada quando as pessoas se desconectam de tarefas cognitivas complexas e “sonham” acordadas ou simplesmente descansam no scanner de fMRI. Nesse sentido, cientistas concluíram que não se trata de apoiar o descanso ocioso, mas de ativação coordenada da DMN para o bom funcionamento psicológico do indivíduo, pois a rede DMN é fortemente solicitada durante todo tipo de tarefas que envolvem pensamentos dirigidos internamente, interpretativos e reflexivos (IMMORDINO-YANG, 2016).

Immordino-Yang (2016) também afirma que a rede DMN, comprovadamente, alterna sua ativação com outras redes cerebrais que dão suporte à atenção externa, ação física e orientação de tarefas centradas em resultados quantitativos (por exemplo, problemas matemáticos). Durante essas situações, a rede DMN estará, relativamente, inativa. Portanto, do

ponto de vista neurológico, não é possível dedicar atenção total simultaneamente ao cumprimento de uma determinada tarefa e refletir sobre o significado mais amplo dela agora e no futuro. Portanto, mediante resultados de fMRI obtidos em laboratórios de pesquisa, podemos afirmar que instituições educacionais que optam – por opção própria ou por força do sistema educacional – por técnicas de aprendizagem baseadas em treinamento excessivo de tarefas concretas (no caso da matemática, muitos exercícios de fixação e complementares), sem o devido tratamento das questões conceituais e de significado, podem gerar sérios problemas na formação dos alunos:

encorajar os alunos a se concentrarem no aqui e agora para realizar tarefas concretas dadas a eles, poderia enfraquecer a criação de significado socioemocional, o desenvolvimento de identidade, a compreensão conceitual dos alunos e, finalmente, seu sucesso acadêmico de longo prazo (IMMORDINO-YANG, 2016, p.215).

O treinamento matemático em forma de exercícios é um importante mecanismo para o desenvolvimento de habilidades específicas, porém, pensando na formação geral do aluno e no estímulo à motivação, devemos destinar um tempo de aula significativo para as discussões das questões conceituais e de significado pessoal relacionadas ao conteúdo matemático. O professor pode achar que um determinado conceito matemático já está bem entendido pelos alunos, porém é possível que o aluno ainda não tenha o entendimento necessário para dar um significado a uma situação que envolva este conceito. Por exemplo, em Walle (2009), uma criança da 3ª série do ensino fundamental dos Estados Unidos cometeu um erro muito comum de subtração (Figura 19). A turma estava fazendo cálculos de subtração com “empréstimo”. A próxima coluna continha um zero e a criança não sabia como proceder (como tirar 1 de 0?). Diante deste problema, ela resolveu dar um significado próprio para a regra do “pegar emprestado da próxima coluna”, criando um significado incorreto, estendendo as regras parcialmente entendidas. A criança decidiu que a “próxima coluna” deveria significar a próxima que tivesse algo nela (um algarismo diferente de zero). Então, “pegou emprestado” do 6 e ignorou o 0, não conseguindo encontrar o resultado da subtração. A criança deixou registrada em seu caderno a seguinte justificativa: “não tem nada na coluna seguinte, assim eu peguei emprestado do 6”. Notemos que a realização desta tarefa matemática não era o momento esperado para que o aluno construísse significados sobre as regras de “pegar emprestado”. A tarefa exigia a aplicação direta dessas regras, porém a parte conceitual não havia sido completamente assimilada pelo aluno e por isso ele teve de primeiro criar um significado pessoal, estendendo as regras de forma incorreta, na tentativa de resolver a situação-problema em que a simples tarefa matemática se transformou.

FIGURA 19: Criando Significado Incorreto

$$\begin{array}{r}
 \phantom{0}5 \phantom{0}13 \\
 \cancel{6}0\cancel{3} \\
 \hline
 257 \\
 \hline
 6
 \end{array}$$

Fonte: WALLE (2009, p.44)

Instituições de ensino que se concentram (ou são obrigadas a se concentrarem) demasiadamente na orientação de tarefas e medidas quantitativas, como pontuações em testes, apresentam uma aparente melhora no aproveitamento e produtividade dos alunos a curto prazo, porém, essas estratégias de avaliação quantitativa aplicadas excessivamente podem destruir a “genuína construção de significado, o pensamento crítico, a criatividade e o bem-estar ao longo do tempo, levando os alunos a perderem (ou a nunca construírem) motivação intrínseca, resiliência e conexão pessoal com o aproveitamento acadêmico e escolar” (IMMORDINO-YANG, 2016, p.215).

Entendemos que uma aula deve permitir ao aluno a construção de significado, o pensamento crítico, a criatividade, o bem-estar e, conseqüentemente, a motivação e a atenção. O trabalho em sala de aula voltado para a motivação e a construção de significados leva a um desenvolvimento cognitivo mais completo, despertando no aluno interesse e, conseqüentemente, atenção espontânea necessária para a tarefa/contexto atual.

Immordino-Yang (2016) mostra um excelente exemplo de como a aplicação do estudo da Estatística em contextos diferentes pode fazer com que alunos da classe baixa da sociedade dos EUA, que se sentem de certa forma incapazes de serem bem-sucedidos na vida, desenvolvam (ou melhorem) motivação e resiliência na escola. Trata-se de jovens da classe menos favorecida socioeconomicamente que treinam basquetebol nas categorias de base dos clubes dos EUA e que veem no basquetebol uma forma de alcançar fortuna e fama. O professor pode aproveitar essa situação para aplicar a Estatística discutida em sala de aula para analisar o desempenho do aluno nas quadras de basquete, pedindo ao próprio aluno que faça a coleta dos dados (número de cestas de 2 e 3 pontos, número de assistências, etc). Essa estratégia de ensino/aprendizagem pode ajudar esse aluno a se sentir capaz de fazer matemática, sentir-se incluído socialmente e, conseqüentemente, a melhorar a motivação e a resiliência nas aulas de matemática.



No Brasil, são os alunos da classe menos favorecida socioeconomicamente que buscam no futebol fortuna e fama. Neste caso, os dados relativos ao desempenho do aluno nos campos de futebol (gols marcados, acerto nos passes, assistências, etc) devem ser coletados pelo próprio aluno com a ajuda do treinador ou auxiliar técnico. Segundo Immordino-Yang (2016), quando o professor aplica os conteúdos matemáticos discutidos em sala de aula em contextos que têm grande significado para os alunos, os resultados podem ser surpreendentes, pois ajudam os alunos a desenvolver habilidades e hábitos para refletirem sobre seu desempenho em relação a sua identidade nos dois contextos, sala de aula e vida pessoal.

### **5.2.3 CONSTRUÇÃO DE SIGNIFICADO, MOTIVAÇÃO E A TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS (TSD)**

A preocupação imediata da Teoria das Situações Didáticas está no significado matemático. A aplicação da TSD não foca diretamente no sentido que o conhecimento matemático adquirido tem para a vida pessoal do aluno. Aliás, o foco da TSD não é o sujeito cognitivo, mas a situação didática na qual são identificadas as interações estabelecidas entre professor, aluno e saber. Portanto, o mais importante é criar uma situação didática que desperte o interesse e, conseqüentemente, a atenção do aluno através do desafio: “o desafio, mesmo implícito, é certamente um meio de ‘motivar’ o aluno, mas acho que se baseia muito mais na estrutura da situação criada do que nas atitudes psicológicas” (Brousseau, 1986, p.418). O professor deve escolher problemas de modo que possa fazer o aluno agir, falar, refletir e evoluir por iniciativa própria. Portanto, nos moldes da TSD, a motivação deve ser pensada no sentido de provocar no aluno a vontade de “caminhar com as suas próprias pernas”, isto é, o professor assume o papel de mediador que tem o dever de criar condições para que o aluno seja o principal ator da construção de seus conhecimentos.

A motivação pelo desafio é uma boa estratégia para convencer os alunos a iniciarem as atividades, porém, considerando os resultados da neurociência socioafetiva discutidos anteriormente, acreditamos que a construção de significado pessoal para o conhecimento matemático a ser adquirido pelos alunos pode ajudar na motivação para a realização da tarefa.

### **5.3 A APLICABILIDADE DA TSD SOB O OLHAR DA NEUROCIÊNCIA SOCIOAFETIVA**

A seguir, discutiremos de que forma podemos contribuir com a TSD mediante os resultados da Neurociência Socioafetiva, objetivando o estímulo à construção de significado,

no sentido de gerar motivação e, conseqüentemente, aumentar o interesse do aluno pelas tarefas apresentadas pelo professor de matemática.

### 5.3.1 MOTIVAÇÃO INICIAL: fatores socioemocionais e a devolução

Seria impossível criar modelos de devolução para cada conteúdo matemático do desenho curricular das escolas. Cabe ao professor de matemática elaborar a situação didática para um determinado conteúdo matemático e determinada turma, pois, teoricamente, somente o professor tem condições de avaliar se a situação didática está dentro da capacidade da sua turma, em outras palavras, se o contrato didático será preservado. O fato é que, segundo a TSD, o professor é o responsável por fazer uma devolução que proporcione ao aluno condições de assumir parcialmente a responsabilidade pela aprendizagem. Mas não apenas isto. É necessário também que o professor convença o aluno a aceitar este desafio pelo desejo próprio e não por recompensa e muito menos por ameaça. Para Freitas (2010), durante a devolução, cabe ao professor a missão de “encantar” os alunos para que eles entrem no jogo. Portanto, na perspectiva da TSD, a motivação inicial está na capacidade do professor de despertar no aluno a vontade de aceitar o desafio colocado na forma de situação-problema.

Acreditamos que a devolução, conforme preconiza a TSD, seja uma boa estratégia para o início dos trabalhos em sala de aula, porém, como contribuição à TSD, propomos que o professor leve em consideração os aspectos motivacionais relativos à construção de significado durante este momento didático. Portanto, com base na Neurociência Socioafetiva, esperamos que o professor, antes de tentar convencer o aluno a aceitar o desafio, fale sobre a importância do conhecimento matemático que está oculto na situação didática, evidentemente sem revelá-lo. Isto é possível, desde que o professor concentre sua discussão inicial na importância deste conhecimento matemático nas profissões, atividades esportivas, atividades rurais, dentre outros aspectos sociais, sem revelar a sua intenção didática. Desta forma, esperamos que o professor crie um clima de suspense, deixando os alunos curiosos e ávidos pela aula. A ideia é fornecer informações que ajudem na construção de significado pessoal para o conhecimento matemático a ser aprendido. Acreditamos que isto ajudará no convencimento dos alunos em aceitar o desafio e, assim, colaborar no sentido de ampliar as ferramentas disponíveis pelo professor no momento da devolução de uma situação didática. Por exemplo, na **Aplicação 1** sobre área e perímetro de formas geométricas discutida no capítulo 2, o professor, na tentativa de criar expectativa de construção de significado pessoal pelos alunos, poderia simplesmente falar que o assunto da aula é importante para várias atividades sociais, tais como, esportivas (dimensões dos campos de futebol, das quadras de basquete, etc), rurais (criações de animais nas fazendas)

e assim por diante. Após isto, fazer a devolução desta situação didática, conforme foi discutida no capítulo 2.

### **5.3.2 A NEUROCIÊNCIA SOCIOAFETIVA E A SITUAÇÃO A-DIDÁTICA: ruptura do contrato didático**

Mesmo que o professor trabalhe incansavelmente no convencimento dos alunos em aceitar o desafio proposto pela situação didática, ainda assim, pode haver, no transcorrer da dinâmica da situação a-didática, “desinteresse” de um aluno (ou de alguns alunos) em participar efetivamente do jogo com a situação-problema apresentada pelo professor. Isto se caracteriza, no âmbito da TSD, como uma ruptura do contrato didático. Essa ruptura pode ocorrer tanto por parte do professor quanto do aluno: “mas, e se o aluno recusa ou evita o problema, ou não o resolve? O professor tem então a obrigação social de ajudá-lo, e mesmo, por vezes, de se justificar por ter colocado uma questão demasiadamente difícil.” (BROUSSEAU, 1996, p.51). Portanto, excluindo-se o caso em que o grau de dificuldade da situação-problema estava além da capacidade da turma – o que seria uma ruptura do contrato didático por parte do professor –, espera-se que o aluno participe efetivamente de todas as atividades propostas em sala de aula. Quando o aluno recusa ou evita o problema, ou não o resolve por simples desinteresse, ocorre então uma ruptura do contrato didático por parte do aluno e, então, nos deparamos com um caso didático gravíssimo que necessita de uma investigação imediata por parte do professor da turma: “a percepção e a superação dessa ruptura torna-se uma condição imprescindível para a continuidade do processo educativo e, portanto, exige a verificação das razões que levaram a esta situação de desinteresse” (PAIS, 2002, p.81). E é justamente a partir dessas considerações que passaremos a discutir as fases da situação a-didática da TSD, tendo em vista a influência dos fatores socioeconômicos e socioemocionais no ensino-aprendizagem da matemática.

Supondo que o professor já trabalhou a questão motivacional durante a devolução da situação didática, conforme discutido no subitem **5.3.1** acima, o que pode estar ocorrendo com um aluno (ou alunos) que demonstrou desinteresse em participar da situação-problema proposta pelo professor durante a situação a-didática? Como já foi dito, essa é uma questão que merece uma investigação minuciosa e, certamente, o professor não tem uma formação adequada para lidar com essas questões que envolvem a influência de fatores socioeconômicos e socioemocionais na aprendizagem. Daí a importância de incluir na formação do professor, disciplinas que discutam os resultados neurocientíficos que comprovam a influência de fatores socioeconômicos e socioemocionais na aprendizagem. Evidentemente que um aluno que demonstra desinteresse em participar das atividades escolares, pode apresentar um quadro

clínico que necessita de tratamento psicológico ou psiquiátrico pelas mais diversas razões. Porém, o que nos interessa aqui são os problemas de aprendizagem em matemática relacionados ao status socioeconômico e à ansiedade matemática, considerando-se que a motivação já tenha sido trabalhada durante a devolução. Como vimos anteriormente, durante as fases da situação a-didática os alunos devem se concentrar exclusivamente na realização da situação-problema proposta, não havendo tempo para refletir sobre significado pessoal ou sobre o que se está fazendo; o aluno tem simplesmente que fazer a tarefa e manter o foco nisso. A rede DMN permanece quase que totalmente desativada durante as fases da situação a-didática, o que implica dizer que os alunos não conseguem construir significado pessoal durante esta fase. Nesta fase da TSD predomina a ativação de redes cerebrais que dão suporte à atenção externa, ação física e orientação de tarefas centradas em resultados quantitativos.

Vamos discutir o problema do desinteresse do aluno em participar das atividades escolares, especificamente das fases da situação a-didática da TSD, considerando que o problema não está na falta de motivação do aluno, mas na dificuldade de executar tarefas matemáticas durante estas fases. A ansiedade matemática pode ocorrer independentemente do status socioeconômico do aluno e está fortemente relacionada com o ensino de matemática dos anos iniciais da escolaridade, porém, como vimos acima, alunos que pertencem à classe social menos favorecida economicamente podem ter mais dificuldade nas atividades matemáticas que seus colegas de classe média ou alta. Por isso, acreditamos que um aluno que apresenta dificuldade de executar tarefas matemáticas que a maioria dos alunos da turma consegue, é um potencial candidato a desenvolver ansiedade matemática. Este aluno deve ter um tratamento diferenciado por parte da escola, no sentido de recuperar, sem perda de tempo, a sua autoestima, combatendo as causas do problema. Esta é uma situação difícil de resolver, mas, se nada for feito, estaremos simplesmente contribuindo para que o problema se torne cada vez maior e este aluno provavelmente terá sérias dificuldades no ensino fundamental maior e ensino médio, em que o avanço nos estudos matemáticos não é possível sem o domínio da matemática básica dos anos iniciais. Por exemplo, no 9º ano do ensino fundamental, para achar as raízes reais da equação do 2º grau  $2x^2 + 4x - 2 = 0$  através da fórmula  $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$ , conhecida no Brasil como fórmula de Bhaskara, o aluno deverá seguir etapas semelhantes a:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \Rightarrow x = \frac{-4 \pm \sqrt{4^2 - 4 \cdot 2 \cdot (-2)}}{2 \cdot 2} \Rightarrow x = \frac{-4 \pm \sqrt{16 + 16}}{4} \Rightarrow x = \frac{-4 \pm \sqrt{32}}{4} \Rightarrow x = \frac{-4 \pm 4\sqrt{2}}{4} \Rightarrow x = \frac{4(-1 \pm \sqrt{2})}{4} \Rightarrow x = -1 \pm \sqrt{2} \Rightarrow x' = -1 + \sqrt{2} \text{ ou } x'' = -1 - \sqrt{2}.$$

Neste caso, o aluno estará diante de um problema aritmético que envolve operações de adição, subtração, multiplicação, divisão, potenciação e radiciação e isso inclui a parte conceitual, as regras de sinal, os algoritmos e as técnicas de resolução. Se o aluno não consegue fazer esses cálculos no 9º ano, é porque, provavelmente, trata-se de um problema que teve origem nos anos iniciais de escolaridade e que vem se arrastando ano após ano. Portanto, este problema pode estar relacionado com a influência do status socioeconômico do aluno e/ou com a ansiedade matemática. Este é um entre muitos casos não detectado pelo professor – provavelmente por não ter sido treinado para estas situações durante a sua formação – e que não teve o tratamento adequado na forma de acompanhamento individualizado.

Voltando à situação a-didática, para “combater” o baixo rendimento em matemática, ao detectar um problema de desinteresse por parte do aluno durante este momento didático da TSD, configurando uma ruptura do contrato didático, devemos pensar em duas situações específicas. Primeiro, se é um aluno dos anos iniciais (1º ao 5º ano), devemos realizar uma investigação na tentativa de identificar o problema. Excluindo o caso em que um número considerável de alunos de uma turma não consegue resolver o problema pelo grau de dificuldade colocado na questão pelo professor (ruptura do contrato didático pelo professor), este tem condições de atestar se o desinteresse do aluno está relacionado à falta de habilidade matemática, porém deve contar com a ajuda de um profissional capacitado para diagnosticar se é um caso de ansiedade matemática. Em seguida, seja um problema de falta de habilidades matemáticas pré-escolares – devido, possivelmente, ao status socioeconômico do aluno – seja de ansiedade matemática, devemos iniciar um trabalho individualizado imediatamente neste aluno para evitar que este problema incipiente se torne um grave problema para sua vida escolar. Esse acompanhamento individualizado visa reforçar as habilidades numéricas e espaciais deste aluno, buscando o nivelamento da turma, mas não apenas isto, esse procedimento também atua de forma preventiva, evitando que estes alunos desenvolvam ansiedade matemática pelas próprias dificuldades apresentadas. Porém, se for detectado que este aluno já desenvolveu ansiedade matemática, antes de trabalhar no reforço das habilidades numéricas e espaciais, devemos, inicialmente, combater a ansiedade matemática com intervenções educacionais que busquem o controle das respostas emocionais negativas a estímulos matemáticos. Podemos, por exemplo, tratar a ansiedade matemática deste aluno aplicando a escrita expressiva discutida anteriormente. Segundo, se é um aluno do ensino fundamental II (6º ao 9º ano) ou ensino médio, pode se tratar de um problema que teve início nos anos iniciais e que passou despercebido pelos professores. Neste caso, também devemos iniciar um trabalho individualizado, porém, com

muito mais esforço e determinação, tanto por parte do professor quanto do aluno, pois, provavelmente, esse aluno tem sérios problemas de habilidade com a matemática básica dos anos iniciais ou possui o conhecimento matemático necessário, porém, devido à ansiedade matemática, ocorre um bloqueio da memória de trabalho sempre que este aluno participa de atividades matemáticas em sala de aula e isto vem travando o desenvolvimento do aprendizado.

### **5.3.3 MOTIVAÇÃO FINAL: construção de significado e a institucionalização**

A técnica de criar expectativa de significado pessoal para gerar motivação no aluno durante a devolução de uma situação didática, deve agora ser complementada pelo professor na institucionalização, colocando em prática o que foi proposto como expectativa de significado, realizando trabalhos extraclases. Esperamos que isso proporcione aos alunos, efetivamente, a criação de significado pessoal e, conseqüentemente, motivação para dar continuidade aos estudos matemáticos.

No momento da institucionalização, conforme estabelece a TSD, o professor deve usar todos os recursos didáticos necessários para elevar o conhecimento adquirido pelos alunos a um estatuto de saber, que não dependa mais dos aspectos subjetivos e particulares; além disso, deve também estabelecer as devidas correlações com outros saberes. É o momento de o professor revelar a intenção didática, estabelecendo um diálogo matemático formal, apresentando definições, propriedades e teoremas, realizando assim uma socialização com a turma (FREITAS, 2010, pp. 102-103). Porém, cabe aqui também aplicar os resultados da neurociência socioafetiva discutidos anteriormente no que diz respeito à construção de significado. Na institucionalização, o conteúdo matemático que estava inicialmente implícito foi revelado pelo professor e o conhecimento adquirido foi elevado ao nível de saber científico. Então é o momento certo para completar a construção de significado iniciada durante a devolução. O professor pode, por exemplo, mostrar algumas aplicações do conteúdo matemático em outras áreas do conhecimento, não apenas mostrar a correlação com outros saberes matemáticos, mas mostrar que é possível estabelecer relações deste saber matemático com algumas profissões (urbanas e rurais), esportes e passar trabalhos de pesquisa extraclases sobre a aplicação deste conhecimento adquirido nas diversas atividades sociais desempenhadas pelos próprios alunos – semelhante à aplicação da estatística no futebol, discutida anteriormente –, pais e outras pessoas. Evidentemente que o professor deve orientar os alunos nessas tarefas, discutindo as possibilidades de aplicação deste conhecimento adquirido nestas atividades extraclases. Este não é um trabalho fácil para o professor, porém, com o devido planejamento,

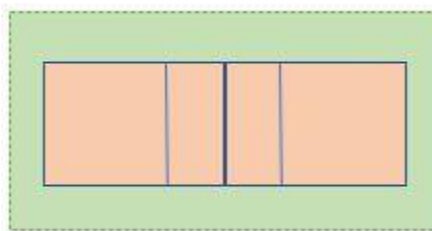
é possível realizá-lo. Aliás, a construção de significado pessoal para conteúdos matemáticos deveria ser tema obrigatório na formação do professor que irá trabalhar com matemática.

Portanto, no final da aula, além de fazer a institucionalização conforme preconiza a TSD, com base na Neurociência Socioafetiva, o professor deve colocar em prática tudo aquilo que foi trabalhado na motivação inicial como expectativa de significado pessoal ao conhecimento matemático a ser adquirido pelo aluno, o que não poderia ser feito no início da aula para que a intenção didática – que deve ficar oculta até a institucionalização – não fosse revelada. Diante dessa proposta, como exemplo, vejamos como ficaria a construção de significado na institucionalização da **Aplicação 1**, discutida no capítulo 2. Mostraremos duas atividades extraclasses que o professor pode propor aos alunos como mecanismos de construção de significados:

- Atividades urbanas

No esporte, o professor pode propor uma atividade extraclasses sobre as dimensões (linear e de área) da superfície de jogo do seu esporte favorito (futebol de campo, futebol de salão, basquetebol, voleibol, etc), com objetivo de construção de significado pessoal para o conhecimento adquirido. Por exemplo, para o voleibol, podemos propor ao aluno um trabalho de pesquisa para verificar se a sua quadra de treinamento tem as dimensões oficiais determinadas pela FIVB (Federação Internacional de Voleibol) para a superfície de jogo, linhas de marcação da quadra, zonas (zona de frente, zona de saque, zona de substituição, zona de troca do líbero, zona de aquecimento), rede, faixas laterais, antenas e postes (Figura 20). As medidas oficiais são facilmente encontradas no site da FIVB. Se este é o esporte preferido do aluno, imaginemos a satisfação dele em poder relacionar seu esporte favorito com as aulas de matemática. A ideia é que o professor disponibilize um tempo no seu planejamento para as apresentações destes trabalhos para os colegas de turma.

FIGURA 20: Quadra de voleibol



Fonte: o autor

#### - Atividades rurais

Na criação de animais, o professor pode propor uma atividade extraclasse sobre as dimensões (linear e de área) dos locais para onde os animais são recolhidos durante a noite. O aluno pode pesquisar, por exemplo, quantos metros de tela de arame foram gastos no galinheiro e qual a sua área. Essa é uma excelente forma de inclusão de alunos que moram em zonas rurais. Neste caso, o professor ajuda o aluno na construção de significado pessoal, ao relacionar a matemática da escola com as atividades vividas por ele nas zonas rurais.

### **5.4 CONCLUSÃO DO CAPÍTULO**

Acreditamos que o trabalho multidisciplinar é o melhor caminho e o futuro das pesquisas sobre o ensino-aprendizagem em Matemática. Ao considerarmos a influência dos fatores socioemocionais na aprendizagem, aproximamo-nos mais da realidade de uma sala de aula. Pensando nisso, propomos essa forma diferenciada de atuação do professor no que diz respeito à aplicabilidade da TSD, sem a intenção de modificá-la, mas contribuir com a sua aplicação.

Os resultados teóricos mostrados aqui servem de modelo para que professores e pesquisadores reflitam sobre o caminho a ser seguido para que as próximas gerações possam usufruir de resultados que se aproximem ao máximo da realidade de nossas escolas. Talvez seja necessário derrubar muros e pré-conceitos e, assim, estabelecer uma base de pesquisa multidisciplinar sólida. O fato é que precisamos avançar nesse sentido, provocando e produzindo ideias inovadoras que possam estimular cada vez mais as pesquisas multidisciplinares voltadas para melhorias no ensino-aprendizagem em Matemática.



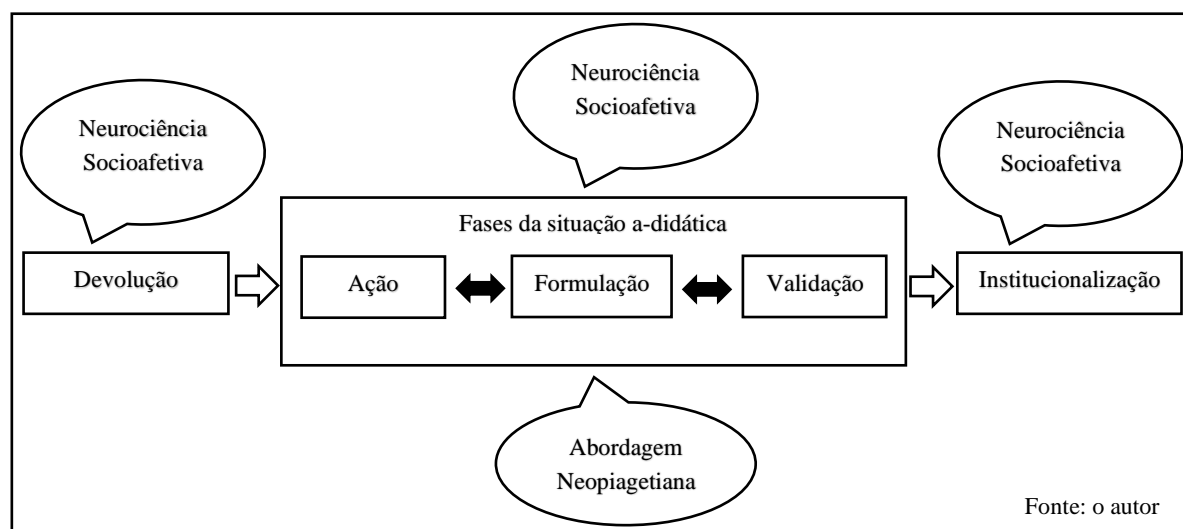
## CAPÍTULO VI

### 6 A PROPOSTA NEUROEDUCACIONAL

#### 6.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Neste capítulo, faremos uma síntese dos resultados obtidos nos capítulos 4º e 5º, nos quais foram propostas contribuições que complementam a atuação do professor durante a aplicação da TSD. Por meio da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) propusemos complementações na atuação do professor em forma de apoio contextual durante as fases da situação a-didática e, através da Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang, complementações na atuação do professor em todos os momentos didáticos da TSD (Figura 21). Nesse sentido, objetivando responder à Questão de Pesquisa, apresentaremos uma proposta neuroeducacional de aplicação da TSD, descrevendo os seus momentos didáticos com as devidas complementações na atuação do professor.

FIGURA 21: complementações na atuação do professor



Fonte: o autor

Neste trabalho estamos considerando apenas os casos de dificuldades na aprendizagem causados por fatores contextuais, socioeconômicos e socioemocionais – um aluno que demonstra desinteresse e/ou mau desempenho em matemática pode apresentar um quadro de dislexia, discalculia, entre outros problemas. Além disso, consideramos que tanto o aluno que participa efetivamente da atividade matemática, mas não consegue progredir nas mudanças de fases a-didáticas (ação, formulação e validação), quanto o que demonstra desinteresse em

participar podem ter como causa deste problema de aprendizagem questões de ordem socioeconômica e/ou socioemocional.

## **6.2 COMPLEMENTAÇÕES NA ATUAÇÃO DO PROFESSOR**

### **6.2.1 NA DEVOLUÇÃO**

Durante a devolução, a TSD propõe que o professor apresente uma situação-problema que leve os alunos a aceitarem a tarefa matemática espontaneamente pelo desafio, não por recompensa e muito menos por ameaça.

Com base na Neurociência Socioafetiva, propomos uma complementação na atuação do professor, isto é, antes de fazer o que preconiza a TSD, o professor deve apresentar uma introdução acerca da importância do assunto a ser estudado para as atividades sociais, sem revelar a intenção didática que está implícita na situação-problema apresentada. A ideia é criar expectativa quanto à importância social do conteúdo matemático a ser aprendido. Isto ajudará os alunos a iniciarem a construção de significado e, conseqüentemente, a desenvolverem a motivação inicial.

### **6.2.2 NA SITUAÇÃO A-DIDÁTICA**

Durante a situação a-didática, a TSD propõe que o aluno atue sem a intervenção didática do professor, porém, determina que, se um aluno não consegue realizar a tarefa, é dever do professor ajudá-lo (BROUSSEAU, 1996, p.51). Além disso, se o aluno demonstrar desinteresse em participar da tarefa proposta, então estaremos diante de uma ruptura do contrato didático por parte do aluno e caberá ao professor investigar os motivos dessa ruptura. Portanto, com base nestes aspectos da TSD, propusemos complementações na atuação do professor durante a situação a-didática.

Consideremos que o aluno demonstre desinteresse em participar da atividade ou participe efetivamente da atividade proposta pelo professor, mas não consiga progredir nas mudanças de fases da situação a-didática (ação, formulação, validação).

Com base na Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017), propomos uma complementação na atuação do professor durante estas fases, fornecendo ao aluno um apoio contextual e, pelo menos para este aluno, a situação didática proposta pelo professor se transformará em uma Situação em Contexto Didático (SCD1 ou SCD2). Essa estratégia de atuação do professor permitirá que o problema de aprendizagem detectado seja tratado imediatamente, durante a situação a-didática. Para isso, é necessário que o professor esteja

preparado para atuar em uma Situação em Contexto Didático (SCD). Como vimos no capítulo 4, uma simples instrução (SCD1) pode resolver a dificuldade do aluno nas mudanças de fases a-didáticas. Porém, existem casos em que a coparticipação (SCD2) do professor (ou monitor) na tarefa se faz necessária.

A aplicação de Situações em Contextos Didáticos (SCD1 ou SCD2) pode ajudar o aluno com dificuldade de aprendizagem a aumentar o seu nível de desempenho em matemática, seja através de uma instrução ou da coparticipação do professor (ou monitor) na realização da tarefa matemática. Além disso, esse acompanhamento individualizado na forma de apoio contextual também pode ser considerado uma estratégia de prevenção, redução ou reversão de quadros de ansiedade matemática. De fato, pesquisas apontam para essa possibilidade a partir de rearranjos do ambiente de estudo em sala de aula (MENDES e CARMO, 2011; CARMO e SIMIONATO, 2012) e isto inclui, por exemplo, a presença de monitores, acompanhamentos e procedimentos de ensino individualizados.

A inserção das Situações em Contextos Didáticos (SCD1 ou SCD2) na TSD trará grandes avanços para o processo ensino-aprendizagem, pois tanto o professor quanto os alunos serão beneficiados. O professor, com atitude observadora do comportamento dos alunos durante a situação a-didática, fará uso das SCD para elevação do nível de desempenho dos alunos com dificuldade na construção do conhecimento matemático e, ao mesmo tempo, para a prevenção, redução ou reversão de quadros de ansiedade matemática. O aluno, por sua vez, receberá um acompanhamento individualizado que lhe proporcionará oportunidade de superação do quadro de dificuldade de aprendizagem matemática.

Com base na Neurociência Socioafetiva, propomos uma complementação na atuação do professor quanto à identificação de casos de ansiedade matemática. A situação a-didática é o momento didático propício para a observação do comportamento dos alunos. As interações entre os alunos e o saber que acontecem com as trocas de informações para as mudanças de fases a-didáticas (ação, formulação e validação) proporcionam ao professor oportunidade de verificar se existem indicadores de casos de ansiedade matemática, tais como reações fisiológicas desagradáveis, reações de fuga e esquiva das atividades que envolvem matemática e reações cognitivas específicas em relação ao desempenho Matemático.

### **6.2.3 NA INSTITUCIONALIZAÇÃO**

Na institucionalização, conforme a TSD, o professor revela a intenção didática estabelecendo um diálogo matemático formal com a turma, apresentando definições,

propriedade, teoremas, elevando, assim, o conhecimento adquirido pelos alunos a um estatuto de saber e estabelecendo as devidas correlações com outros saberes.

Com base na Neurociência Socioafetiva, propomos uma complementação na atuação do professor, isto é, após fazer a institucionalização conforme estabelece a TSD, tudo que foi colocado pelo professor como uma introdução da importância social do assunto matemático durante a devolução deve ser posto em prática por ele, através da elaboração de trabalhos de pesquisa extraclasse que estimulem a criação de significado pessoal para o conhecimento matemático adquirido.

O contexto de sala de aula é um ambiente de ensino-aprendizagem em que professor e alunos compõem um quadro de diversidade com alto grau de afetividade e que exige do professor muita atenção nas interações e nos desempenhos individuais:

“De fato, as situações de ensino implicam uma diversidade de tarefas, de solicitações, de decisões a serem tomadas em tempo real, num contexto interativo que envolve pessoas e universos culturais diferentes e que tem fortes componentes afetivos” (AMBROSETTI,1999, p.96).

A atitude observadora do professor nos momentos da construção do conhecimento matemático ajuda a entender melhor as dificuldades de aprendizagem de cada aluno e a decidir qual a intervenção adequada para cada caso: “perceber a riqueza de experiências e saberes que as crianças possuem leva a professora a valorizar e incorporar esse conhecimento no seu trabalho” (AMBROSETTI,1999, p.120). Além disso, as tarefas extraclases diferenciadas também proporcionam uma excelente forma de conhecer o aluno, através das experiências e saberes que as crianças trazem do seu cotidiano:

Essa capacidade de perceber e utilizar a diversidade de saberes que existem na sala de aula permite ainda à professora um equilíbrio entre o rotineiro, ou seja, os esquemas de trabalho que proporcionam uma certa organização e tranquilidade nas tarefas cotidianas, e o não rotineiro, ou seja, o espaço para a improvisação e para a novidade (AMBROSETTI,1999, p.121).

Esse espaço para a improvisação e para a novidade a que Ambrosetti (1999) se refere nesta citação são momentos da aula dedicados às apresentações dos trabalhos extraclases diferenciados (cada aluno escolhe um tipo de pesquisa sobre o tema proposto, tais como esporte preferido, entrevistas com profissionais ligados ao tema, etc.). E isso não apenas valoriza as experiências e saberes da vida do aluno, mas proporciona também a criação de significado para o conhecimento matemático e, conseqüentemente, motivação, resiliência e inclusão social.

A criação de significado para o conhecimento matemático é um recurso educacional de grande valor motivacional, mas também pode servir ao professor como indicador de ansiedade

matemática. Alunos que apresentam padrão de reação comportamental de extrema dificuldade na construção de significado matemático se enquadram em um dos parâmetros definidores de ansiedade matemática: “dificuldades acentuadas na aprendizagem da matemática e na aplicação de conceitos e habilidades matemáticas no dia a dia” (FASSIS, MENDES e CARMO, 2014, p.48). Por outro lado, estudos apontam para os benefícios da criação de significado na prevenção, na redução ou na reversão de quadros de ansiedade matemática: “agentes educacionais motivadores oferecem um excelente modelo de suporte a estudantes com ansiedade em relação à matemática” (CARMO e SIMIONATO, 2012, p.322).

A inserção da Criação de Significado na TSD proporcionará ao aluno condições de identificar a aplicabilidade, a funcionalidade e a importância dos conteúdos matemáticos em suas vidas e isso, conseqüentemente, ajudará na motivação, na resiliência e na inclusão social. Além disso, a Criação de Significado funciona tanto como indicador quanto como estratégia de prevenção, redução ou reversão de quadros de ansiedade matemática. Portanto, consideramos que essa inserção trará ganhos significativos à aplicação da TSD em sala de aula.

Schliemann, A. D.; Carraher, D. W.; Carraher, T. N., (2011. pp.89-103), em um estudo de caso, no qual foi feita a comparação do desempenho de marceneiros que haviam aprendido a profissão informalmente – ajudando o pai ou um parente – com o desempenho de aprendizes que frequentavam as diferentes séries de um curso formal de marcenaria, em uma tarefa própria de atividade desta profissão, estabeleceram que: a) as abordagens matemáticas para a realização da tarefa foram diferentes em cada grupo; b) os aprendizes chegaram a uma resposta errada nos cálculos matemáticos pelo uso inadequado das fórmulas aprendidas nas aulas de matemática e desenho na escola. Como não houve uma preocupação com a viabilidade de sua resposta em relação à parte prática da tarefa, a resposta absurda é aceita sem críticas; c) os aprendizes não conseguiram utilizar os conhecimentos escolares sobre como calcular o volume de objetos para solucionar um problema prático; d) a aprendizagem matemática e a resolução de problemas na escola devem estar diretamente relacionadas com a solução de problemas do cotidiano para facilitar a transferência para a prática. Diante dessas observações, os autores sugerem que sejam oferecidas ao aluno oportunidades de resolver problemas matemáticos em contextos práticos. Isso poderia contribuir para uma melhor compreensão e para proporcionar a descoberta de estratégias novas e mais econômicas.

O estudo acima aponta para os benefícios em aproximar a matemática prática (do cotidiano) da matemática formal (da escola). Experiências como estas podem ajudar a entender melhor as dificuldades de aprendizagem em matemática escolar, valorizar o saber matemático

dos alunos, diminuir as diferenças em sala de aula e, principalmente, dar um significado para o conhecimento matemático. Nesse sentido, a Criação de Significado, conforme propomos como complementação na atuação do professor durante a aplicação da TSD, pode funcionar como uma ponte entre essas duas matemáticas, através da elaboração de trabalhos de pesquisa extraclasse, proporcionando bons resultados na adaptação dos alunos menos favorecidos socioeconomicamente à matemática escolar.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Revisitando os capítulos desta Tese e retomando o caso da nossa aluna da Licenciatura Integrada em 2016, passamos a refletir sobre vários outros casos semelhantes que ocorreram durante a nossa trajetória como professor de matemática em vários níveis de escolaridade. Lamentamos muito que somente agora tivemos acesso a estudos esclarecedores, que apontam para várias possibilidades de melhoramento da atuação do professor de matemática em sala de aula. Hoje temos condições de afirmar que o comportamento apresentado pela nossa aluna são indicadores de ansiedade matemática e que é perfeitamente possível trabalhar na remediação ou reversão desse quadro, em qualquer nível de escolaridade. Além disso, a estrutura de “aprendizagem por adaptação” da TSD possibilita ao professor observar o comportamento dos alunos nas interações que ocorrem na construção do conhecimento matemático, principalmente, durante as fases da situação a-didática. Aliás, Brousseau (1996) recomenda que o professor não interfira didaticamente durante a construção do conhecimento matemático, mas afirma que é uma obrigação social do professor ajudar o aluno com dificuldade de aprendizagem, o que torna perfeitamente possível as intervenções didáticas do professor com uma Situação em Contexto Didático (SCD), modificando o contexto de aprendizagem para esses alunos, sempre que necessário.

A “década do cérebro” causou um grande entusiasmo no meio científico com a possibilidade de aplicar resultados de pesquisas com neuroimagem em sala de aula, o que provocou inúmeras críticas e propostas sobre a melhor forma de fazer essa aplicação. Nesse contexto, a fundação da Sociedade Internacional Mente, Cérebro e Educação (IMBES) em 2004, representou um grande avanço nas discussões sobre este tema. A partir dessas discussões, chegou-se ao consenso de que um novo campo científico multi ou interdisciplinar deveria surgir das interações entre Psicologia, Neurociência e Educação. Esse processo está em andamento e, como vimos no capítulo 1, não existe um único modelo para este campo emergente. Nesta Tese, diferentemente do modelo neuroeducacional interdisciplinar adotado pela IMBES – isso inclui a Universidade de Harvard –, optamos por seguir o Modelo de Níveis de Desenvolvimento proposto por Tommerdahl (2008).

Os modelos neuroeducacionais que propõem um formato de pesquisa interdisciplinar – como é o caso do Programa MBE de Harvard – necessitam de pesquisadores habilitados nas três áreas (Psicologia, Neurociência e Educação), o que se caracteriza como um empecilho a ser considerado. O Programa MBE de Harvard parece estar contornando esse problema formando profissionais habilitados nessas três áreas na graduação e pós-graduação. Dentro

dessa proposta de pesquisa interdisciplinar, o novo campo científico deve surgir da transdisciplinaridade proposta por Koizumi (1999), em que a ponte e a fusão entre essas três áreas completamente diferentes proporcionarão uma única metodologia e organização de pesquisa e isso conduzirá a um novo campo científico.

O Modelo de Níveis de Desenvolvimento proposto por Tommerdahl (2008) é multidisciplinar, envolve teorias nas áreas da Psicologia, Neurociências e Educação e aproxima-se mais da ideia de transdisciplinaridade proposta por Samuels (2009), que sugere superar as diferenças teóricas, metodológicas e epistemológicas entre as áreas envolvidas por uma questão (de aprendizagem escolar, por exemplo) comum na qual todos os participantes dessas três áreas aplicam suas próprias metodologias e organizações de pesquisa com o objetivo de alcançar uma compreensão holística da questão. Foi inspirado nesse Modelo de Níveis de Desenvolvimento que elaboramos o nosso Modelo Neuroeducacional Multidisciplinar de Pesquisa para esta Tese, em que as teorias escolhidas foram a Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017), a Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang e a Teoria das Situações Didáticas de Guy Brousseau, respectivamente, nas áreas da Psicologia, Neurociências e Educação para responder a nossa questão de pesquisa.

Enquanto a pesquisa neuroeducacional interdisciplinar – incentivada pela IMBES e adotada pelo Programa MBE de Harvard – busca a formação de profissionais habilitados para trabalhar na interseção da Psicologia, Neurociências e Educação – tendo como foco uma única metodologia de pesquisa –, os modelos neuroeducacionais multidisciplinares trabalham com teóricos em cada uma dessas áreas, mantendo o foco na questão de pesquisa. Nesse sentido, essa estrutura (multidisciplinar) possibilita que pesquisadores de cada uma dessas áreas trabalhem dentro do seu campo científico e façam uso de teorias já consolidadas nestes campos – valorizando anos de pesquisas desenvolvidas em cada área do conhecimento –, a fim de que os resultados individuais contribuam para a resposta da questão de pesquisa. Portanto, o Modelo de Pesquisa Neuroeducacional Multidisciplinar escolhido para esta Tese possibilitou a aproximação entre a Neuroeducação e a Teoria das Situações Didáticas, através das discussões a respeito da viabilidade de inserir resultados da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer (2017) e da Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang na TSD.

A influência do status socioeconômico na aprendizagem da matemática escolar está diretamente ligada à dificuldade de adaptação de alguns alunos de famílias desfavorecidas socioeconomicamente ao ensino da matemática na escola. Essa dificuldade está relacionada à falta de habilidades matemáticas que deveriam ter sido adquiridas no lar, antes da fase escolar,



como apontam alguns estudos (BIDELL e FISCHER, 2017; JORDAN e LEVINE, 2009). Mas não se restringe apenas à ausência dessas habilidades. Alguns alunos com esse status socioeconômico, desde muito jovens, ajudam os pais ou parentes no trabalho informal correspondente ao que a nossa sociedade oferece para estas famílias (feirante, marceneiro, jogo do bicho, vendas, etc) e desenvolvem habilidades matemáticas práticas próprias das atividades inerentes a estes trabalhos. Nesse sentido, estudos apontam para um possível conflito entre essa matemática prática e a matemática formal da escola, que pode estar causando dificuldades de aprendizagem da matemática escolar (SCHLIEMANN, A. D.; CARRAHER, D. W.; CARRAHER, T. N., 2011).

Essa dificuldade de adaptação ao ensino da matemática na escola pode comprometer a atuação do aluno na construção do conhecimento, durante a aplicação da TSD. Portanto, no que diz respeito à falta de habilidades matemáticas, as Situações em Contextos Didáticos (SCD) podem ajudar na elevação do nível de desempenho matemático deste aluno durante a situação a-didática, isto é, modificando o contexto de aprendizagem do aluno, alteramos as possibilidades de aprendizagem. Evidentemente, esse acompanhamento individual é temporário e visa a incrementar a capacidade de interação do aluno com a turma, melhorando não apenas o seu desempenho matemático, mas também a sua autoestima e resiliência em lidar com as situações-problema da TSD. Quanto ao possível conflito entre a matemática prática (do cotidiano) e a matemática formal (da escola), o professor, no momento didático da Institucionalização, pode elaborar trabalhos extraclasse que estimulem a Criação de Significado. Essa estratégia proporcionará oportunidade de aproximação entre essas matemáticas.

Os trabalhos extraclasse, conforme discutidos no capítulo 5, devem ser direcionados às atividades do cotidiano do aluno, tais como a prática esportiva, a profissão dos pais e as atividades rurais. A intenção é fazer com que o aluno encontre um significado para o conhecimento matemático adquirido na escola. No caso dos alunos que precisam trabalhar ajudando familiares adultos, é uma excelente oportunidade de aproximar a matemática prática (do cotidiano) da matemática escolar. Trazendo essa matemática prática para a sala de aula, todos serão beneficiados, inclusive o professor, que passará a entender melhor a forma como os alunos pensam matematicamente e isso lhe servirá de parâmetro para a elaboração das situações didáticas.

Os resultados sobre Ansiedade Matemática apresentados nesta Tese diferem pelos métodos e ambientes de pesquisa utilizados. Alguns estudos foram realizados em laboratórios

e utilizaram a neuroimagem como referência; outros estudos, foram desenvolvidos em ambiente escolar e utilizaram escalas de ansiedade matemática.

Estudos de laboratórios que utilizaram a neuroimagem como ponto de referência de suas análises concluíram que a ansiedade matemática interfere na concentração do aluno que, diante de uma tarefa matemática, passa a se preocupar demais com a situação e suas consequências e que esse quadro leva a um bloqueio da memória de trabalho, o que explica o baixo desempenho matemático de alunos com ansiedade matemática. Concluíram também que a ansiedade matemática pode ser transmitida socialmente do professor para o aluno, através das atitudes matemáticas negativas, e que alunos com dificuldades em habilidades matemáticas básicas são mais suscetíveis de aceitar sugestões sociais que destacam a matemática negativamente, portanto, podem estar predispostos à ansiedade matemática (LYONS e BEILOCK, 2012; MALONEY e BEILOCK, 2012; BEILOCK e MALONEY, 2015). Quanto ao bloqueio da memória de trabalho durante a realização de tarefas matemáticas, suas consequências para a aplicação da TSD são relevantes: o aluno com ansiedade matemática terá dificuldade de interação nas fases da situação a-didática (ação, formulação e validação) e, conseqüentemente, de elevação do seu próprio nível de desempenho matemático, necessário para que ocorra a “aprendizagem por adaptação”. Portanto, acreditamos que um acompanhamento individual para o aluno com ansiedade matemática se faz necessário para a remediação ou reversão desse quadro. A Proposta Neuroeducacional desta Tese sugere que as Situações em Contextos Didáticos (SCD), aplicadas pelo professor durante a situação a-didática, podem ajudar na elevação do nível de desempenho matemático do aluno e na remediação ou reversão da ansiedade matemática.

Estudos que utilizaram escalas de ansiedade matemática em escolas brasileiras obtiveram importantes resultados nos indicadores e nas estratégias de remediação e reversão da ansiedade matemática. A ansiedade matemática não nasce com a pessoa e não tem relação com transtornos de aprendizagem, ela é adquirida pelo indivíduo. O controle aversivo (punição ou ameaça de punição), prática ainda utilizada pelos professores em sala de aula, é um dos fatores que influencia fortemente o surgimento da ansiedade matemática. No lar, essa prática pode ser passada culturalmente dos pais para os filhos com frases negativas, tais como matemática é difícil, nem todos nasceram para dominá-la, etc. Reações fisiológicas desagradáveis, reações de fuga e esquiva das atividades matemáticas e reações cognitivas específicas em relação ao desempenho em Matemática são indicativos de ansiedade matemática. As estratégias de reversão da ansiedade matemática devem ser direcionadas à família, à escola e ao estudante e,

portanto, as intervenções são diferenciadas. Em sala de aula, o professor pode usar o discurso motivacional em oposição ao controle aversivo, os modelos de ensino com base em agentes motivadores e os rearranjos do ambiente escolar. Todas essas estratégias podem apresentar excelentes resultados (MENDES e CARMO, 2011; CARMO e SIMIONATO, 2012; FASSIS, MENDES e CARMO, 2014).

No combate à ansiedade matemática, a primeira atitude do professor deve ser a observação do comportamento do aluno durante as atividades matemáticas em sala de aula. A construção do conhecimento matemático nos moldes da TSD favorece essa observação à medida que as interações entre os alunos avançam com as trocas de informações que caracterizam as fases a-didáticas (ação, formulação e validação). Assim sendo, refletimos sobre a possibilidade de incorporar essa estratégia na aplicação da TSD, em busca de indicadores de ansiedade matemática. No que diz respeito à redução ou à reversão da ansiedade matemática, tanto o apoio contextual (SCD1 ou SCD2) quanto a criação de significado podem contribuir como estratégias de combate à ansiedade matemática. Ao incorporar o apoio contextual à TSD, proporcionamos a possibilidade de rearranjar o ambiente de sala de aula durante a situação a-didática com a coparticipação do professor ou do monitor na tarefa matemática, o que é fortemente recomendado como estratégia de combate à ansiedade matemática. Esse rearranjo ocorre de forma a atender ao acompanhamento individualizado para os alunos que apresentam comportamentos indicadores de ansiedade matemática. Quanto à criação de significado, é perfeitamente possível a sua inserção nos momentos de devolução e institucionalização da TSD como estratégia motivacional, colaborando com a atuação do professor e ajudando o aluno na superação da ansiedade matemática.

A Neuroeducação surge no cenário mundial como um campo científico emergente promissor, que avança cada vez mais rumo ao entendimento, à remediação e, possivelmente, à eliminação das dificuldades de aprendizagem relativas à diversidade em sala de aula. Este campo emergente traz um apelo à pesquisa colaborativa que proporcionará oportunidade a pesquisadores de diferentes áreas da ciência de trabalhar em equipe multidisciplinar. A diversidade em sala de aula une Educação, Psicologia e Neurociência em uma nova forma de ver as dificuldades de aprendizado. Este novo campo abre as portas do futuro para a formação de professores preparados para enfrentar essa diversidade. Sairão na frente os cursos de formação de professores que incluam em seus currículos os fundamentos dessa nova área das ciências que está surgindo. Seria muito proveitoso formar professores capazes de atuarem não apenas na transmissão do conhecimento, mas na identificação, na remediação ou na eliminação

das dificuldades de aprendizado, por meio de apoio contextual e da construção de significado social para o conhecimento matemático.

A Teoria das Situações Didáticas (TSD) é considerada uma importante teoria da Didática da Matemática e desde a década de 1970 vem influenciando o ensino de matemática na França e em outros países, porém, no Brasil, ainda não conseguiu atingir os seus objetivos de transformação do ensino de matemática nas escolas. A maioria dos professores de matemática das escolas brasileiras continua aplicando aulas expositivas, em que o professor é o centro das atenções. É bem verdade que o uso de tecnologias tem afetado positivamente a transmissão de conhecimento matemático, porém, trata-se apenas de mais uma ferramenta à disposição do professor. Acreditamos que a aplicação da TSD nas aulas de matemática nas escolas brasileiras iria ajudar a transformar significativamente a realidade do ensino-aprendizagem de matemática, principalmente, das escolas públicas, onde encontramos os menores índices de sucesso nessa disciplina. Provavelmente, a não utilização da TSD pelos professores nas escolas brasileiras está relacionada com a formação dos professores de matemática. Primeiro, a Didática da Matemática só há pouco tempo foi incluída nos currículos das licenciaturas. Segundo, existem poucos cursos de formação de professores de matemática que possuem laboratórios de ensino da Didática da Matemática.

A Proposta neuroeducacional de aplicação da TSD apresentada nesta Tese demonstra como seria um trabalho multidisciplinar, nos moldes da Neuroeducação, em que a TSD aparece como a teoria educacional que recebe contribuições da Abordagem Neopiagetiana de Bidell e Fischer e da Neurociência Socioafetiva de Immordino-Yang. Essa Proposta contribui com a TSD dando sugestões na atuação do professor, no sentido de atender à diversidade encontrada em sala de aula. O apoio contextual, o enfrentamento da ansiedade matemática e a construção de significado pessoal são procedimentos que buscam o nivelamento da turma nas aulas de matemática. Essas contribuições à TSD fornecem ferramentas motivacionais e de enfrentamento à ansiedade matemática; permitem que o professor, ao identificar algum tipo de dificuldade no aprendizado matemático, durante a situação a-didática, auxilie o aluno imediatamente, em vez de esperar o término da aula. Desta forma, esperamos que os resultados apresentados nesta Tese sirvam de reflexão para professores de matemática e pesquisadores interessados na aplicação da TSD em sala de aula, e que, além disso, colaborem para a efetivação da Neuroeducação como uma nova área das ciências.

Como em qualquer trabalho investigativo, esta Tese possui suas limitações. Quanto a isto, no que diz respeito às considerações feitas e recomendações sugeridas para a aplicação da

TSD, é praticamente impossível de prever o comportamento de uma turma diante de uma situação didática proposta pelo professor de matemática, porém, é perfeitamente aceitável mostrar possíveis caminhos que sirvam de modelos para as discussões. Nesse sentido, esperamos que o objetivo de apresentar uma proposta neuroeducacional de aplicação da TSD que atenda à diversidade em sala de aula, nos seus aspectos contextuais, socioeconômicos e socioemocionais, tenha sido alcançado e a questão de pesquisa tenha sido respondida por meio das complementações na atuação do professor. Diante disto, sugerimos que este trabalho oriente outros pesquisadores que tenham interesse em aprimorar e/ou criticar os resultados aqui apresentados, no sentido de desenvolver a testagem desta Proposta em sala de aula. Acreditamos que a continuidade deste trabalho, através de uma pesquisa empirista, produzirá novos resultados e desafios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSETTI, N.B. (1999). O “Eu” e o “Nós”: trabalhando com a diversidade em sala de aula. In: ANDRÉ, M. (org.) *Pedagogia das diferenças na sala de aula*. Campinas: Papyrus, pp. 81-106.

ANSARI, D. (2015). **Mind, Brain, and Education: A Discussion of Practical, Conceptual, and Ethical Issues**. *Handbook of Neuroethics*, pp. 1703-1719.

ANSARI & DE SMEDT & GRABNER (2012). **Neuroeducation – A Critical Overview of An Emerging Field**. *Neuroethics*, nº 5, 105-117.

ALMOULOUD, Saddo Ag. (2007). **Fundamentos da Didática da Matemática**. Curitiba: Ed. UFPR.

BEILOCK, Sian; MALONEY, Erin (2015). **Math Anxiety: A Factor in Math Achievement Not to Be Ignored**. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 2(1) 4–12.

BIDELL, Thomas; FISCHER, Kurt (2017). Cognitive Development in Educational Contexts: Implications of Skill Theory. In: DEMETRIOU, Andreas; SHAYER, Michael; EFKLIDES, Anastasia (Orgs). **Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development: Implications and Applications for Education**: Volume 9 (Psychology Library Editions: Cognitive Science). Taylor and Francis. Edição do Kindle.

BODEN, Margaret (1983). **As Ideias de Piaget**. Editora Cultrix Ltda, São Paulo.

BOCK, A.M.B.; FURTADO, O.; TEIXEIRA, M.L.T. (1999) **Psicologias: uma introdução ao estudo de psicologia**. 13ª edição. Editora Saraiva. São Paulo.

BRUER, J.T. (1997). **Education and the brain: A bridge too far**. *Educational Researcher* nº26, pp. 4–16.

BROUSSEAU, Guy (1986). **Théorisation des phénomènes d’enseignement des mathématiques**. *Mathématiques [math]*. Université Sciences et Technologies - Bordeaux I. tel-00471995v3.

BROUSSEAU, G. (1998). Visite de L’Atelier “Théorie des Situations”. In: **Actes de L’Université d’été** (4-11 juillet). IREM de Clermont-Ferrand.

BROUSSEAU, G. (1996). Fundamentos e Métodos da Didáctica da Matemática. In: BRUN, Jean (org); Figueiredo, Maria José (tradução). **Didáctica das Matemáticas**. Lisboa: instituto Piaget, P. 35 – 113.

CARMO, João & FERRAZ, Ana (2012). **Ansiedade relacionada à matemática e diferenças de gênero: uma análise da literature**. *Psic. da Ed.*, São Paulo, 35, pp. 53-71.

CARMO, João & SIMIONATO, Aline (2012). **Reversão de Ansiedade à Matemática: alguns dados da literature**. *Psicologia em Estudo*, Maringá, v. 17, n. 2, pp. 317-327.

DEMETRIOU, Andreas; SHAYER, Michael; EFKLIDES, Anastasia. (2017). **Neo-Piagetian Theories of Cognitive Development: Implications and Applications for Education**: Volume 9 (Psychology Library Editions: Cognitive Science). Taylor and Francis. Edição do Kindle.

DAVIS, C.; OLIVEIRA, Z. (1994). **Psicologia na Educação**. 2ª edição. Editora Cortez. São Paulo.

FASSIS, Daniela; MENDES, Alessandra & CARMO, João (2014). **Diferentes Graus de Ansiedade à Matemática e Desempenho Escolar no Ensino Fundamental**. *Psic. da Ed.*, São Paulo, 39, pp. 47-61.

FISCHER, Kurt (2009). **Mind, Brain, and Education: Building a Scientific Groundwork for Learning and Teaching**. International Mind, Brain, and Education Society and Wiley Periodicals, Inc. Volume 3—Number 1.

FISCHER, Kurt (1980). **A theory of cognitive development: the control and construction of hierarchies of skills**, *Psychological Review* 57: 477–531.

FREITAS, José (2010). Teoria das Situações Didáticas. In: MACHADO, Sílvia. **Educação Matemática: uma (nova) introdução**. 3ª ed. Revisada – São Paulo: EDUC, Pp. 77-111.

GOLDSTEIN, M. (1994). **Decade of the Brain**. An Agenda for Nineties. In *Neurology- From Basics to Bedside (Special Issue)*, 161: 239-241.

GOSWAMI, Usha (2006). **Neuroscience and education: from research to practice?** *Nature reviews neuroscience*, v. 7, n. 5, p. 406-413.

GRABNER, Roland H. & ANSARI, Daniel (2010). **Promises and potential pitfalls of a ‘cognitive neuroscience of mathematics learning’**. *ZDM Mathematics Education*, nº 42, pp. 655–660.

GIOVANNI, José; CASTRUCCI, Benedicto (2009). **A Conquista da Matemática**. 1ª Edição, Editora FTD, São Paulo.

HOWARD-JONES, Paul A (2014). **Neuroscience and education: myths and messages**. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 15, n. 12, p. 817-824.

IMMORDINO-YANG, Mary Helen (2016). **Emotion, Sociality, and the Brain’s Default Mode Network: Insights for Educational Practice and Policy**. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, Vol. 3(2) 211–219.

IMMORDINO-YANG, Mary Helen; GOTLIEB, Rebecca (2017). **Embodied Brains, Social Minds, Cultural Meaning: Integrating Neuroscientific and Educational Research on Social-Affective Development**. *American Educational Research Journal*, April, Vol. 54, No. 1S, pp. 344S–367S.

JORDAN, Nancy; LEVINE, Susan (2009). **SOCIOECONOMIC VARIATION, NUMBER COMPETENCE, AND MATHEMATICS LEARNING DIFFICULTIES IN YOUNG CHILDREN**. *Developmental Disabilities Research Reviews* 15: 60 – 68.

KOIZUMI, H. (1999). **A Practical Approach to Trans-disciplinary Studies for the 21st Century**. *Journal of Seizon and Life Sciences*, 9, 5-24.

KOIZUMI, H. (2004). **The concept of ‘developing the brain’: A new natural science for learning and education**. *Brain & Development*, 26, 434-441.

LYONS, Ian M.; BEILOCK, Sian L. **Mathematics Anxiety: Separating the Math from the Anxiety**. *Cerebral Cortex*, September 2012, V 22 N 9.

LIMA, L. O. **Piaget para principiantes**. Sannus Editorial, São Paulo, 1980.

MALONEY, Erin A.; BEILOCK, Sian L. (2012). **Math anxiety: who has it, why it develops, and how to guard against it**. *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 16, No.8.

MENDES, Alessandra & CARMO, João (2011). **Estudantes com Grau Extremo de Ansiedade à Matemática: identificação de casos e implicações educacionais**. *Psic. da Ed.*, São Paulo, 33, pp. 119-133.

MENDES, Alessandra & CARMO, João (2014). **Atribuições Dadas à Matemática e Ansiedade ante a Matemática: o relato de alguns estudantes do Ensino fundamental**. *Bolema*, Rio Claro (SP), v. 28, n. 50, pp. 1368-1385.

OECD, 2002. **Understanding the brain: Towards a new learning science**. Paris: OECD Publishing.

OLIVEIRA, M. F.; NEGREIROS, J. G. M.; NEVES, A. C. (2015). **CONDICIONANTES DA APRENDIZAGEM DA MATEMÁTICA: uma revisão sistêmica da literatura**. *Educ. Pesqui.*, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 1023-1037, out./dez.

PECHURA, C. M.; MARTIN, J. B. (1991). **MAPPING THE BRAIN AND ITS FUNCTIONS: INTEGRATING ENABLING TECHNOLOGIES INTO NEUROSCIENCE RESEARCH**. Committee on a National Neural Circuitry Database. NATIONAL ACADEMY PRESS.

PAIS, L. C. (2002). **Didática da Matemática: uma análise da influência francesa**. 2ª Edição, Belo Horizonte: Autêntica. Coleção Tendências em Educação Matemática.

PIAGET, Jean, (1997). **The Principles of Genetic Epistemology**. First published 1970 by Presses Universitaires de France, English translation first published 1972 by Routledge, Reprinted 1997 by Routledge. Translated by Wolfe Mays.

ROSE, L. Todd; ROUHANI, Parisa and FISCHER, Kurt W. (2013). **The Science of the Individual**. Journal Compilation © International Mind, Brain, and Education Society and Blackwell Publishing, Inc. Volume 7—Number 3.

ROSE, T.; DALEY, S.; & ROSE, D. (2011). **Let the Questions be Your Guide: MBE as Interdisciplinary Science**. *Mind, Brain, and Education*, 5(4), 153-162.

RATO, J. & CALDAS, A. (2010). **Neurociências e educação: Realidade ou ficção?** *Actas do VII Simpósio Nacional de Investigação em Psicologia*, Universidade do Minho, Portugal, 4 a 6 de Fevereiro de 2010.

SCHLIEMANN, A. D.; CARRAHER, D. W.; CARRAHER, T. N. (2011). **Na vida dez, na escola zero**. São Paulo: Cortez.

SOARES, J. F. e COLLARES, A. C. M. (2006). **Recursos Familiares e o Desempenho Cognitivo dos Alunos do Ensino Básico Brasileiro**. *Revista de Ciências Sociais*, Rio de Janeiro, Vol. 49, no 3, pp. 615 a 481.

SCHWARTZ, M. (2015). **Mind, Brain and Education: A Decade of Evolution**. International Mind, Brain, and Education Society and Wiley Periodicals, Inc. Volume 9—Number 2, pp. 64-71.

SAMUELS, B. M. (2009). **Can the differences between education and neuroscience be overcome by mind, brain, and education?** *Mind, Brain, and Education*, 3, 44 – 54.

SILVA, Benedito (2010). Contrato Didático. In: MACHADO, Sílvia. **Educação Matemática: uma (nova) introdução**. 3ª ed. Revisada – São Paulo: EDUC, Pp. 49-75.



SRIRAMAN, Bharath; ENGLISH, Lyn (2010). **Theories of Mathematics Education**. Livro. Editora Springer.

TANDON, P. (2000). **The Decade of The Brain: A Brief Review**. *Neurology India*, 48:199-207.

TOMMERDAHL, J. (2008). **Education and the neurosciences: where are we?** *SENCO Update*, 95, 8-10.

TOKUHAMA-ESPINOSA (2008). **The Scientifically Substantiated Art of Teaching: A Study in the Development of Standards in the New Academic Field of Neuroeducation (Mind, Brain, and Education Science)**. A Dissertation Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy. Capella University.

VANINSKY, Alexander (2017). **Educational Neuroscience, Educational Psychology, and Classroom Pedagogy as a System**. *American Journal of Educational Research*, Vol. 5, No. 4, 384-391.

WOOD, David; BRUNER, Jerome; ROSS, Gail (1976). **The role of tutoring in problem solving**. *Journal of Child Psychology and Child Psychiatry*, 17, 89–100.

WALLE, John (2009). **Matemática no Ensino Fundamental: Formação de Professores e Aplicação em Sala de Aula**. Editora Artmed. Tradução: Paulo Henrique Colonese.