



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO – ICOMP
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA - PPGI

Um Sistema de Tutoria para Apoiar o Desenvolvimento do
Conhecimento Matemático Algébrico na Resolução de
Equação Polinomial de 1º Grau

Arcanjo Miguel Mota Lopes

Manaus - AM
Outubro de 2019

Arcanjo Miguel Mota Lopes

Um Sistema de Tutoria para Apoiar o Desenvolvimento do
Conhecimento Matemático Algébrico na Resolução de
Equação Polinomial de 1º Grau

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, área de concentração: Inteligência Artificial.

Orientador

Prof. Dr. José Francisco de Magalhães Netto

Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Instituto de Computação – IComp

Manaus - AM

Outubro de 2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L864u	<p>Lopes, Arcanjo Miguel Mota</p> <p>Um Sistema de Tutoria para apoiar o desenvolvimento do conhecimento matemático algébrico na resolução de equação polinomial de 1º grau / Arcanjo Miguel Mota Lopes. 2019 112 f.: il. color; 31 cm.</p> <p>Orientador: José Francisco de Magalhães Netto Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.</p> <p>1. sistema tutor Inteligente. 2. tnsino de álgebra. 3. educação matemática. 4. sistema tutor leia. I. Netto, José Francisco de Magalhães II. Universidade Federal do Amazonas III. Título</p>
-------	---



PODER EXECUTIVO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA



UFAM

FOLHA DE APROVAÇÃO

**"Um Sistema de Tutoria para Apoiar o Desenvolvimento do
Conhecimento Matemático Algébrico na Resolução de Equação
Polinomial de 1o Grau"**

ARCANJO MIGUEL MOTA LOPES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

Prof. José Francisco de Magalhães Netto - PRESIDENTE

Prof.^a Thais Helena Chaves de Castro - MEMBRO INTERNO

Prof. Vitor Bremgartner da Frota - MEMBRO EXTERNO

Prof. Orlewilson Bentes Maia - MEMBRO EXTERNO

Manaus, 24 de Setembro de 2019

Gostaria de homenagear as pessoas que de alguma maneira contribuíram direta ou indiretamente.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter permitido acontecer essa experiência e me proporcionar toda saúde e sabedoria para conclusão de mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais que por sempre se empenharem em proporcionar-me as melhores condições para que pudesse chegar ao final desta etapa, sem eles tudo isso, não faria sentido.

Aos meus irmãos, Miguel Ângelo, por suas constantes ajudas no desenvolvimento deste projeto, e ao Miguel Arcanjo, por sua alegria que contagia os meus dias de tristeza.

A mulher que amo, Márcia Carvalho por seu amor incondicional para suportar as minhas ausências, as impaciências, o respeito, e tudo que tens superado para me fazer cada dia mais feliz.

Ao orientador Prof. Dr. José Netto, por suas valiosas contribuições, suas exigências quanto à qualidade desta pesquisa e pelas palavras de motivação para não deixar o desânimo vencer.

A gestora das Escolas José Mota, Prof^a Conceição e a Prof^a Rosileide da Escola Castelo Branco, por cederem os espaços para realização dos testes e por todo apoio fornecido e ao carinho conservado pelo tempo.

Aos professores Mackson Garcez e Ubaldo da Coordenadoria Regional de Educação de Manacapuru, pela importante ajuda e por abrir as portas para que este projeto pudesse cumprir seus objetivos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e à Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pelo apoio financeiro e institucional.

Para finalizar, agradeço também aos meus irmãos de batalha, Thais Almeida, Dhanielly Lima, Andreza Mourão, Márcia Xavier, Ricardo Souza, Josias Gomes e Tiago Custódio, por compartilharem seus ensinamentos, suas experiências de vida, suas alegrias, pelas tardes de café, pelas valiosíssimas contribuições.

“Bem-aventurado o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento”

(Provérbios 3:13)

“Deixei de gostar da matemática, depois que x deixou de ser sinal de multiplicação.”

(William Shakespeare)

Um Sistema de Tutoria para Apoiar o Desenvolvimento do Conhecimento Matemático Algébrico na Resolução de Equação Polinomial de 1º Grau

Resumo

As dificuldades encontradas na resolução de problemas de matemática, sobretudo, no campo da Álgebra pode fazer com que os estudantes considerem a Matemática e as ciências relacionadas, uma tarefa difícil de ser compreendida. Compreender o campo da Matemática e as ciências relacionados, é importante para o desenvolvimento de habilidades cognitivas. Neste contexto, nesta dissertação foi desenvolvido um Sistema de Tutoria denominado LEIA, cujo objetivo é promover o aprendizado, identificando as dificuldades nos estudantes e auxiliando na construção do pensamento matemático. Sendo assim, foi projetado um Sistema de Tutoria composto pela Interface, Modelo do Aluno, Estratégias de Tutoria e Modelo de Domínio. Além disso, um Assistente Virtual Pedagógico foi incluído para auxiliar e motivar os estudantes no processo de aprendizagem. As estratégias de tutoria que compõem o LEIA foram definidas a partir de modelos encontrados na literatura. Para aproximar as interações do sistema tutor com as ações dos professores foi utilizado o Conceito de Zona Desenvolvimento Proximal de Lev Vygotsky. A metodologia utilizada neste projeto foi composta por estudos de caso, aplicados em uma sala de aula. Com os resultados, ficou evidente a aceitação da proposta pelos estudantes e professores, assim como a percepção do ganho de aprendizagem a partir da utilização do sistema de tutoria.

Palavras-chave: Sistema Tutor Inteligente, Ensino de Álgebra, Educação Matemática.

Um Sistema de Tutoria para Apoiar o Desenvolvimento do Conhecimento Matemático Algébrico na Resolução de Equação Polinomial de 1º Grau

Abstract

The difficulties encountered in solving mathematical problems, especially in the field of algebra, can make students consider mathematics and related sciences a difficult task to understand. Understanding the field of mathematics and related sciences are important for the development of cognitive skills. In this context, this dissertation was developed a Tutoring System called LEIA, which aims to promote learning, identifying difficulties in students and assisting in the construction of mathematical thinking. Thus, a Mentoring System was designed consisting of Interface, Student Model, Mentoring Strategies and Domain Model. In addition, a Pedagogical Virtual Assistant has been included to assist and motivate students in the learning process. The tutoring strategies that make up the LEIA were defined from models found in the literature. To approximate the interactions of the tutor system with the teachers' actions, the Lev Vygotsky Proximal Development Zone Concept was used. The methodology used in this project was composed of case studies, applied in a classroom. With the results, it was evident the acceptance of the proposal by the students and teachers, as well as the perception of learning gain from the use of the tutoring system.

Keywords: Intelligent Tutoring System, Algebra Teaching, Mathematical Education.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Escala de Proficiência da Escola Estadual José Mota.	21
Figura 2 – Passos Metodológicos Aplicados na Pesquisa.	25
Figura 3 – Arquitetura Clássica dos Sistemas Tutores Inteligentes.	29
Figura 4 – Ciclo de Tutoração da Assistência dos STIs ao estudante.	31
Figura 5 – Teoria Pedagógica da ZDP de Vygotsky	40
Figura 6 – Interface do STI Wayang Outpost	44
Figura 7 – Interface do STI Equation Guru	46
Figura 8 – Interface do STI ActiveMath	47
Figura 9 – Interface do STI Mathesis	48
Figura 10 – Interface do STI PAT2Math	49
Figura 11 – Arquitetura do Sistema LEIA.	54
Figura 12 – Interface do Estudante.	55
Figura 13 – Registro de Atividade do Estudante.	56
Figura 14 – Tela Inicial da Interface do professor.	60
Figura 15 – Gráfico de Setores de um determinado Estudante.	60
Figura 16 – Timeline do Estudante.	61
Figura 17 – Ações Tomadas pelo Estudante para Solucionar as Equações.	62
Figura 18 – Ciclo de Tutoria Realizado pelo STI LEIA.	63
Figura 19 – Estratégia de Ensino de Domínio do Nível do Problema.	66
Figura 20 – Tela Inicial do Programa Dialogflow.	68
Figura 21 – Estudantes da Escola Estadual José Mota Realizando os Primeiros Testes com o Sistema LEIA.	73
Figura 22 – Questionário de Caracterização dos Participantes.	74
Figura 23 – Questionário de Usabilidade Técnica	75
Figura 24 – Questionário de Usabilidade Pedagógica	76

Figura 25 – Modelo Fuzzy para o Acompanhamento de Aprendizagem.	79
Figura 26 – Timeline por Turma exibida no STI LEIA.	83
Figura 27 – Estudantes da Escola Estadual Castelo Branco Realizando o segundo Estudo de Caso com o Sistema LEIA.	84
Figura 28 – Registro das ações tomadas por um dos participantes do estudo.	87
Figura 29 – Resultado da Expectativa de Esforço.	89
Figura 30 – Resultado da Expectativa de Aprendizado.	89
Figura 31 – Formulário de Usabilidade Técnica e Pedagógica.	105
Figura 32 – Banco de Dados do Sistema LEIA.	106
Figura 33 – Regras do Modelo Fuzzy.	107
Figura 34 – Avaliação Pré-Teste.	109
Figura 35 – Avaliação Pós-Teste.	110
Figura 36 – Questionário de Avaliação UTAUT.	111
Figura 37 – Escala de Proficiência em Matemática.	112

Lista de quadros

Quadro 1 – Vantagens e Desvantagens dos STIs.	32
Quadro 2 – Resumo das Funcionalidades dos STIs.	50
Quadro 3 – Mensagens de Motivação e Feedbacks para Estudantes.	58
Quadro 4 – As Equações e os Níveis de Dificuldades do LEIA.	67
Quadro 5 – Descrição das Variáveis Linguísticas do Modelo Fuzzy.	80
Quadro 6 – Roteiro de Teste do Estudo de Caso.	83
Quadro 7 – Algumas Melhorias no Comportamento dos Estudantes entre as Provas de Pré-teste e Pós-teste.	86

Lista de tabelas

Tabela 1 – Demonstração do Desempenho dos Estudantes simuladas na Ferramenta Fuzzy.	81
Tabela 2 – Demonstração do Desempenho das Turmas Geradas pelo Modelo Fuzzy no STI LEIA.	82
Tabela 3 – Tempo Utilizado pelos Estudantes para Resolver Algumas Equações.	86
Tabela 4 – Média dos Itens do Questionário UTAUT Pós-teste com Desvio Padrão e valor α Cronbach.	90

Lista de abreviaturas e siglas

ACP *Agentes Conversacionais Pedagógicos*

APA *Agente Pedagógico Animado*

AVA *Ambiente Virtual de Aprendizagem*

AVP *Assistente Virtual Pedagógico*

BNCC *Base Nacional Comum Curricular*

IA *Inteligência Artificial*

LEIA *LEarnIng Algebra*

LN *Linguagem Natural*

NDP *Nível de Desenvolvimento Potencial*

NDR *Nível de Desenvolvimento Real*

PA *Pensamento Algébrico*

PCN *Parâmetros Curriculares Nacionais*

PLN *Processamento de Linguagem Natural*

RSL *Revisão Sistemática da Literatura*

SAEB *Sistema de Avaliação da Educação Básica*

STEM *Science, Technology, Engineering, and Mathematics*

STI *Sistema Tutor Inteligente*

STIC *Sistema Tutor Inteligente Conversacional*

UTAUT *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*

ZDP *Zona de Desenvolvimento Proximal*

Sumário

1	Introdução	19
1.1	Contexto	19
1.2	Definição do Problema	21
1.3	Justificativa	22
1.4	Objetivos	23
1.4.1	Objetivo Geral	24
1.4.2	Objetivos Específicos	24
1.5	Metodologia	24
1.5.1	Procedimentos Metodológicos	25
1.6	Organização do Documento	26
2	Fundamentação Teórica	28
2.1	Sistema Tutor Inteligente	28
2.2	Fundamentos Básicos da Álgebra Elementar	34
2.3	A Zona de Desenvolvimento Proximal de Vygotsky	39
2.4	Conclusão do Capítulo	41
3	Trabalhos Correlatos	43
3.1	Histórico da Pesquisa	43
3.2	Sistemas Tutores Inteligentes para Apoiar o Ensino de Álgebra	44
3.2.1	STI Wayang Outpost	44
3.2.2	STI Equation Guru	45
3.2.3	STI ActiveMath	46
3.2.4	STI Mathesis	48
3.2.5	STI PAT2Math	49
3.3	Conclusão do Capítulo	51
4	Sistema de Tutoria LEIA	53
4.1	Visão Geral do Sistema	53
4.2	Camada de Apresentação – Interface	54

4.2.1	Interface do Estudante	54
4.2.1.1	Assistente Virtual Pedagógico	57
4.2.1.2	Mensagens de Motivação e Feedbacks	58
4.2.2	Interface do Professor	59
4.3	Camada de Domínio – <i>Controllers</i>	62
4.3.1	Módulo DataController	62
4.3.2	Módulo Especialista	64
4.3.3	Módulo TeacherController	64
4.4	Camada de Infraestrutura	65
4.4.1	Estratégias de Ensino	65
4.4.2	Base de Conhecimento	66
4.4.3	Modelo do Estudante	67
4.4.4	API de Linguagem Natural	68
4.5	Conclusão do Capítulo	69
5	Avaliação	71
5.1	Estudo de Caso	72
5.1.1	Estudo 1 - Avaliando a Satisfação do Estudante	72
5.1.1.1	Perfil dos Participantes	73
5.1.1.2	Avaliação de Usabilidade Técnica	74
5.1.1.3	Avaliação de Usabilidade Pedagógica	76
5.1.2	Estudo 2 - Monitorando o Desempenho dos Estudantes	78
5.1.3	Estudo 3 - Avaliando o Progresso do Estudante	83
5.1.3.1	Perfil dos Participantes	85
5.1.3.2	Pré-Teste e Pós-Teste	85
5.1.3.3	Avaliando os Timestamp do Sistema LEIA	86
5.1.3.4	Questionários de Avaliação de Software - UTAUT	88
5.2	Conclusão do Capítulo	91
6	Considerações Finais	93
6.1	Contribuições	95
6.2	Limitações e Trabalhos Futuros	96

Referências	97
APÊNDICE A Artigos Publicados	103
APÊNDICE B Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	104
APÊNDICE C Formulário Estudo de Caso 1	105
APÊNDICE D Tabelas do Sistema LEIA	106
APÊNDICE E Regras Aplicadas no Modelo Fuzzy	107
APÊNDICE F Estratégias de Ensino	108
APÊNDICE G Avaliação Pré-Teste	109
APÊNDICE H Avaliação Pós-Teste	110
APÊNDICE I Questionário UTAUT	111
ANEXO A Escala de Proficiência em Matemática	112

Capítulo

1

Introdução

Neste capítulo são descritos o contexto educacional e os problemas que foram identificados e abordados, assim como os objetivos que nortearam esta pesquisa e a justificativa que motivou o desenvolvimento desta dissertação.

1.1 Contexto

Conhecer os conceitos e procedimentos algébricos é importante para alcançar o sucesso nas mais variadas atividades educacionais e ocupacionais. O estudante que não consegue obter a competência de escrever e resolver uma simples equação ou de compreender os significados e o uso das variáveis pode limitar o desenvolvimento na sala de aula e, conseqüentemente, na carreira profissional (CARROLL, 1994).

De acordo com Costa et al. (2016) para resolver uma equação ou fatorar uma expressão para algo simples, requer utilizar conhecimentos conceitual, sendo este a compreensão de ideias, operações, procedimentos e notações algébricas e do conhecimento procedural que é escolha das operações e procedimentos para se chegar à solução correta dos problemas (STAR et al., 2015). Contudo, tem-se que a utilização de técnicas e manipulações algébricas possui diferentes graus de complexidade.

Não há dúvidas quanto a utilidade dos conhecimentos matemáticos no dia a dia. No entanto, é comum encontrar pessoas que demonstram sentir dificuldades para aprender ou assimilar conteúdos relacionados a Matemática, sobretudo, no campo da Álgebra. Algumas pesquisas mostram que parte dessas dificuldades está relacionada a alguns fatores como a

assimilação, compreensão ou aplicação de algumas regras matemáticas.

Neste contexto de acordo com [Booth e Koedinger \(2008\)](#), a lacuna presente no conhecimento da Álgebra está relacionada às dificuldades que os estudantes têm na adaptação do aprendizado, sendo que no ensino da Aritmética nos anos do Ensino Fundamental o conteúdo aborda o sinal de igualdade em uma perspectiva de identificação do resultado. Por isso, quando os estudantes são confrontados com problemas envolvendo equações acabam externando suas dificuldades, logo, não conseguem entender o resultado de uma equação.

Por esses problemas, [Silveira \(2008\)](#) considera que o professor precisa conhecer como o estudante lida com as regras da Matemática. Segundo [Pimentel \(2010\)](#) e [Silva et al. \(2012\)](#), os professores reconhecem às dificuldades presentes no ensino e na aprendizagem da Matemática, por isso buscam por novas alternativas pedagógicas. Uma das principais abordagens utilizadas é o uso das tecnologias digitais no processo ensino-aprendizagem. Nesse caso, quando se fala em Matemática, as tecnologias digitais têm tido relevância. É neste cenário que a computação oferece algumas alternativas como, por exemplo, os Sistemas Tutores Inteligentes (STI). De modo geral, o papel dos sistemas computacionais na educação é auxiliar os estudantes e professores no processo de ensino e aprendizagem.

Nesta perspectiva, esta pesquisa apresenta um STI denominado LEIA (do inglês *LEarnIng Algebra*) cujo objetivo é auxiliar na concepção dos conhecimentos elementares da Álgebra e ajudar o estudante no processo de transição do *Pensamento Algébrico* (PA) ([COSTA et al., 2016](#); [PINHEIRO, 2013](#); [SILVA et al., 2012](#); [PIMENTEL, 2010](#); [VELOSO; FERREIRA, 2010](#)), sendo este realizado por meio das atividades práticas de resolução de equação polinomial de 1º grau. Além disso, o sistema LEIA também visa fornecer ferramentas para auxiliar o professor de modo a realizar o acompanhamento e avaliação do progresso de cada um dos estudantes.

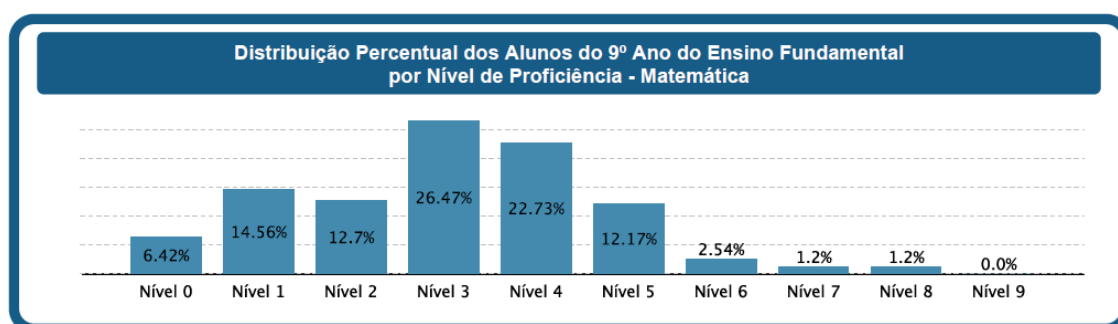
Nesta dissertação, são apresentadas as razões teóricas que levaram à combinação dos *softwares* de tutoria com as estratégias de ensino, visando o auxílio aos discentes e docentes no processo de ensino e aprendizagem da Matemática com foco na Álgebra.

1.2 Definição do Problema

O nível do conhecimento dos estudantes das escolas é medido por Escalas de Proficiência¹ (ver Figura 37 Anexo A) por meio da Avaliação de Educação Básica (SAEB) que é aplicada no Ensino Fundamental e Médio nas áreas de Língua Portuguesa com foco na interpretação de texto e na Matemática voltada para resolução de problemas. A escala é composta por níveis progressivos e acumulativos da menor para maior nota de proficiência. Isso significa que o percentual da nota dos estudantes está relacionada ao nível da escala e, neste caso, pressupõe-se que além de terem desenvolvido as habilidades referente ao nível indicado, provavelmente, desenvolveu as habilidades dos níveis anteriores.

No campo da Matemática, alguns dos resultados das provas do SAEB indicaram uma deficiência no nível de proficiência de muitos estudantes. As pesquisas de Marczal et al. (2016) apresentam alguns resultados dos estudantes que não conseguiram alcançar o mínimo de 50% dos níveis de proficiência avaliados no campo da Álgebra, ou seja, a maioria dos deles não possuíam os conhecimentos básicos para compreender os passos da solução de uma equação. Como exemplo, tem-se a Figura 1 que mostra algumas informações do sistema SAEB referente da Escola Estadual José Mota que participou da avaliação SAEB e do Estudo de Caso relatado na seção 5.1.1 desta dissertação.

Figura 1 – Escala de Proficiência da Escola Estadual José Mota.



Fonte: <<http://sistemasprovabrasil.inep.gov.br/provaBrasilResultados/>>

Diversos estudos sobre o ensino de Álgebra mostram que a maioria dos estudantes possui dificuldades na manipulação das expressões algébricas e, por vezes, utilizam as regras de resolução de formas erradas como, por exemplo, $(a+b)^2 = a + b^2$ ou $a(b+c) = ab + c$. A

¹ Proficiência é capacidade para realizar algo, dominar certo assunto e ter aptidão em determinada área do conhecimento.

pesquisa de [Veloso e Ferreira \(2010\)](#), justifica que a Álgebra é tratada como algo difícil de ser compreendida pelos estudantes, em especial, pelos estudantes do Ensino Fundamental. Segundo os autores, parte dessas dificuldades são encontradas no decorrer do processo de ensino e aprendizagem e, provavelmente, se inicia no processo de introdução do *Pensamento Algébrico* (PA), uma vez que representa uma transição do pensamento aritmético, no qual a atividade é encontrar determinadas respostas numéricas particulares no campo da Álgebra ([PIMENTEL, 2010](#)). Vale enfatizar que a introdução do PA é realizado antes do 8º ano do Ensino Fundamental e que as dificuldades se podem se repetir de um ano para o outro levando, em muitos casos, até os anos finais do ensino básico ([COSTA et al., 2016](#)).

De acordo com [Seffrin et al. \(2010\)](#), na Álgebra, os estudantes lidam com uma série de cálculos gerando um desafio de utilizar sucessivas operações aritméticas que vão além das relações e simplificações de termos para encontrar valores que solucionam uma condição proposta por uma equação.

Diante dessas dificuldades, a **Questão de Pesquisa** a ser investigada é: *de que forma um Sistema Tutor Inteligente pode auxiliar no desenvolvimento do entendimento dos conceitos algébricos por meio da resolução de equações polinomial de 1º grau, de modo a alcançar uma aprendizagem efetiva e que desperte o interesse do estudante no aprendizado da Álgebra?*

Dessa forma, esta dissertação, encontra-se no foco de um Sistema de Tutoria voltado para o ensino-aprendizagem de conceitos matemáticos que se expandem no processo de resolução de equações algébricas polinomial de 1º grau. Com isso, visando ser um sistema capaz de acompanhar o desenvolvimento dos estudantes e identificar em cada uma das etapas da resolução as lacunas no conhecimento procedural e conceitual. Além disso, oferecer apoio para o professor de modo que os auxilie como ferramenta pedagógica para práticas avaliativas e intervenções pedagógicas.

1.3 Justificativa

A utilização de STIs traz um diferencial para as instituições educacionais e os motivos que reforçam o ensino mediado por computador são: o ganho de tempo, economia nos gastos e o aumento da flexibilidade do processo de aprendizagem ([SILVA, 2011](#)). No campo pedagógico,

segundo [Silva \(2011\)](#) com base nas teorias pedagógicas de Vygotsky, destaca que “o ambiente computacional proporciona mudanças qualitativas na *Zona de Desenvolvimento Proximal* (ZDP) do estudante, o que não acontece com frequência nas salas de aulas tradicionais” ([SILVA, 2011](#)).

Uma das principais características dos STIs é a disponibilidade para ajudar os estudantes em qualquer momento que seja necessário. Neste caso, quando a ajuda é solicitada o sistema pode mostrar como solucionar os problemas a partir de qualquer ponto da resolução, sendo essa, uma das principais características que os tornam inteligentes, pois podem resolver os mesmos problemas propostos aos estudantes. Desta forma, torna-se útil para identificar se a solução está correta ou não. De acordo com [Leite, Pimentel e Pietruchinski \(2012\)](#) o uso de STIs na Educação Matemática surge da possibilidade de proporcionar um ensino personalizado, ou seja, considerando as necessidades individuais de cada usuário.

Contudo, este trabalho encontra-se no foco na aplicação de um programa de computador de tutoria com foco no ensino-aprendizagem de conceitos matemáticos que se expandem no processo de resolução de equações algébricas polinomial de 1º grau. O desenvolvimento justifica-se pelas características inteligentes que são importantes para o contexto que esta pesquisa aborda. Além disso, pretende-se acompanhar o desenvolvimento do conhecimento do estudante e oferecer apoio para o professor, de modo que os auxiliem como ferramenta pedagógica para prática de avaliação. E do ponto de vista vigotskiniano, entende-se que o sistema de tutoria atuará como mediador no desenvolvimento de novos conceitos e visar aprimorar as habilidades de resolução de equações.

1.4 Objetivos

Para atingir o propósito desta pesquisa, descrevemos a seguir o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

Compor uma ferramenta de autoria baseado em Sistemas Tutores Inteligentes visando combinar com o processo de ensino e aprendizagem dos conceitos e métodos de resolução matemáticos por meio da resolução de equação polinomial de 1º grau, de modo a, auxiliar na construção do Pensamento Algébrico.

1.4.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, a presente pesquisa enumera os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar como o ensino de Álgebra é abordado em Sistema de Tutorias, considerando suas características, capacidades e limitações;
2. Verificar as características e as técnicas de resolução de equações polinomiais de 1º grau que são abordados no ensino e aprendizagem na sala de aula;
3. Comparar os ganhos de aprendizado dos estudantes por meio da utilização do software proposto em um ambiente escolar.

1.5 Metodologia

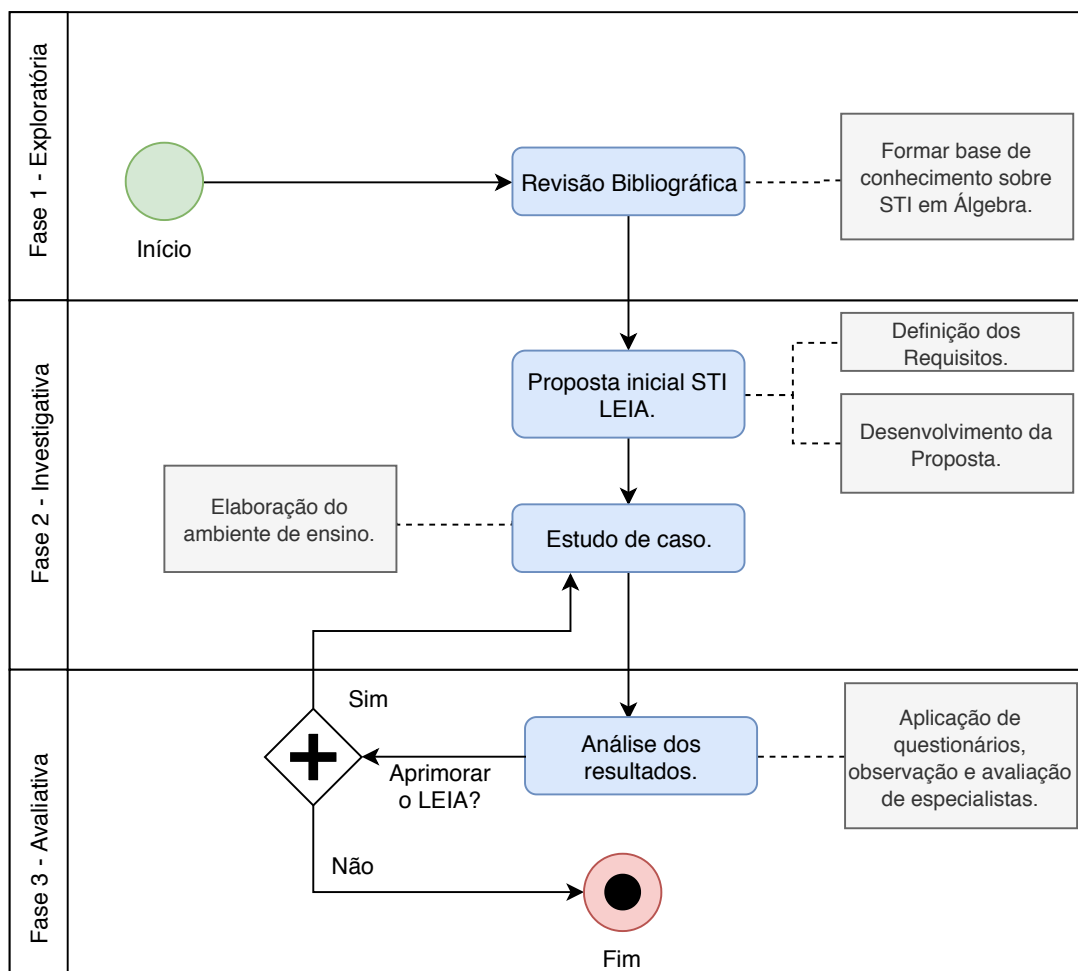
A natureza desta pesquisa é aplicada. Segundo [Prodanov e Freitas \(2013\)](#) objetiva gerar conhecimento para aplicações práticas dirigidas a solução de problemas específicos, onde a mesma envolve verdades e interesses locais. Quanto aos objetivos a pesquisa é descritiva. E os procedimentos que são adotados para coleta e análise, desta pesquisa, são realizados por Estudo de Caso.

Mediante o exposto, a pesquisa insere-se em um plano misto, uma vez que envolve a recolha de dados quantitativos como, por exemplo, número de estudantes e professores; e qualitativos, sendo, as variáveis que contemplam a satisfação dos usuários com a utilização do sistema proposto. E apresenta uma natureza experimental, uma vez que, uma variável independente (software) é manipulada com o intuito de estudar os seus efeitos da variável independente (resultado dos estudantes na Matemática).

1.5.1 Procedimentos Metodológicos

A Figura 2 ilustra os passos metodológicos que foram realizados nesta pesquisa.

Figura 2 – Passos Metodológicos Aplicados na Pesquisa.



Os seguintes passos são descritos, a saber:

1. Realizar uma pesquisa na literatura analisando a situação do problema apresentado (o insucesso dos estudantes na Álgebra), organizar um quadro teórico de análise; construir um estado da arte, procedendo à realização de sub-estudos implicados no processo de *design* de um artefato tecnológico;
2. Definir um produto tecnológico com caráter educacional com base nas lacunas encontradas na literatura dos STIs;
3. Realizar avaliações envolvendo o STI que foi definido na segunda etapa. Neste caso, foram realizados os experimentos a respeito da utilização do STI como suporte ao

ensino e aprendizagem de Álgebra em conceitos e habilidades que compreende o domínio (currículo) da Matemática. Para isso foram realizadas as seguintes etapas, a saber:

- Estabelecer o quantitativo da amostra, aplicar e avaliar/validar o sistema desenvolvido, seguindo as seguintes tarefas:
 - Obtenção de autorização das respectivas direções das escolas, professores e consentimento dos pais dos estudantes (ver Apêndice B);
 - Realizar o esclarecimento para estudantes e professores sobre o sistema proposto e das suas funcionalidades;
 - Aplicação em sala de aula durante a lecionação da disciplina referente ao domínio do conteúdo de Álgebra;
 - Realizar estudos de caso apoiados por questionários para avaliar a satisfação/insatisfação e, além disso, avaliar o desenvolvimento dos estudantes no campo da Álgebra por meio das avaliações de pré-teste e pós-testes. Por fim, identificar possíveis melhorias do sistema proposto.
- Recolha dos dados complementares e análise geral.
 - Realizar análise dos dados dos estudantes obtidos com a utilização do STI proposto relativo à proficiência, número de erros, quais os erros e entre outras informações;
 - Fazer reflexões gerais sobre o uso da tecnologia na educação matemática.

1.6 Organização do Documento

O conteúdo desta dissertação está estruturado em capítulos, sendo o presente capítulo o primeiro. Os demais capítulos são definidos nos seus seguintes propósitos:

O capítulo 2 do Referencial Teórico: descreve os conceitos relacionados aos temas desta pesquisa, dando destaque para a temática que será utilizada na modelagem do conhecimento do estudante, bem como a abordagem pedagógica que será empregada.

No capítulo 3 segue com os Trabalhos Correlatos que está relacionado ao levantamento bibliográfico das pesquisas relacionadas com esta dissertação, assim como, uma descrição das suas características e limitações.

No capítulo 4 é dissertado sobre o sistema proposto por esta pesquisa, onde é realizado uma descrição sistemática do ambiente que foi construído para alcançar os objetivos. De modo geral, será apresentado a arquitetura do sistema e as definições de cada uma das suas partes dentro do contexto educacional.

No capítulo 5 contém as descrições das avaliações realizadas nos estudos de caso. Neste capítulo é relatado os estudos de casos que foram realizados para avaliar e validar esta pesquisa, conforme descritos na metodologia.

Por últimos, tem-se o capítulo 6 que descreve as conclusões desta pesquisa, considerando as contribuições, limitações e trabalhos futuros. Logo após, são apresentadas as referências bibliográficas que serviram como base para esta pesquisa.

Capítulo

2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo é contextualizada a proposta, apresentando as teorias a respeito dos temas abordados que serviram de base para o desenvolvimento desta pesquisa. Assim, será dissertado a respeito dos Sistemas de Tutoria, dos fundamentos da Matemática Elementar com foco na Álgebra e, por fim, a teoria pedagógica da Zona de Desenvolvimento Proximal de Vygotsky, da qual, se justifica a mediação tecnológica como prática pedagógica do processo de ensino e aprendizagem.

2.1 Sistema Tutor Inteligente

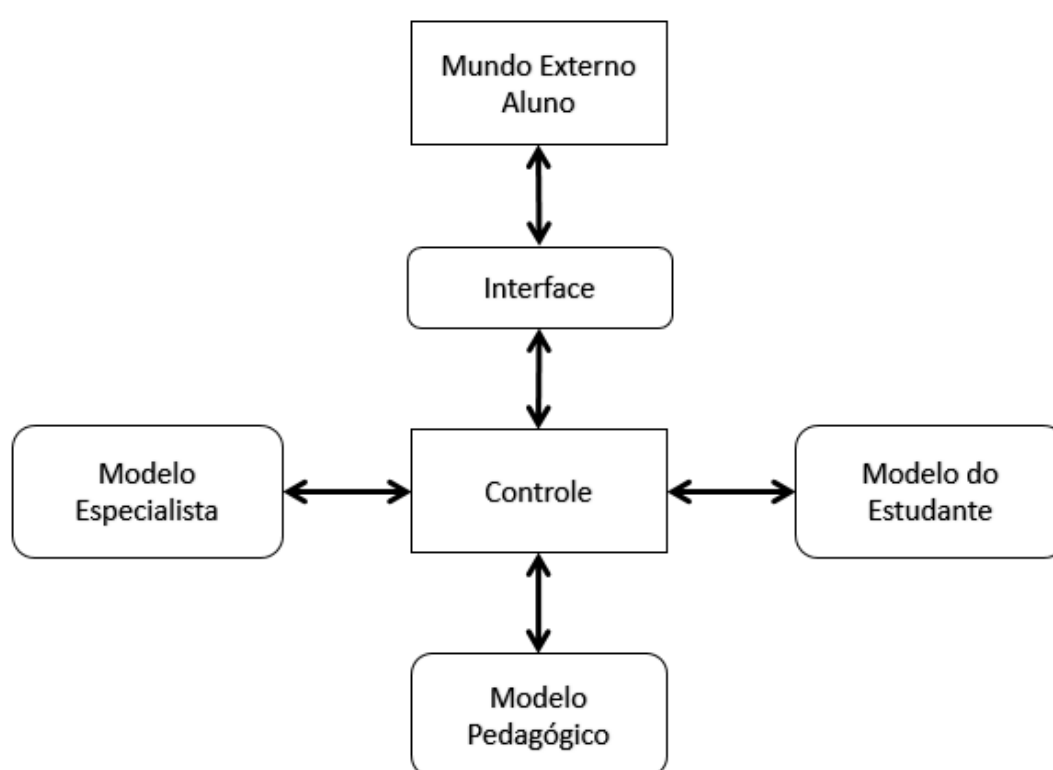
Os Sistemas de Tutoria Inteligente (STI) surgiram da ideia de aplicar técnicas de Inteligência Artificial (IA) em programas que possuíssem como fim o ambiente educacional. Em geral, um STI é um programa capaz de guiar o aprendiz por um currículo que, geralmente, é composto por uma série de tarefas enquanto, ao mesmo tempo, monitora o progresso do aprendiz (SILVA, 2011; RAMOS, 2010; GOULART; GIRAFFA, 2001; GIRAFFA, 2001).

Dentro dos STIs as técnicas de IA são aplicadas para decidir qual a forma de apresentação do conteúdo, assim como, quais os conteúdos deverão ser apresentados e como modelar o conhecimento adquirido pelo estudante até o dado momento da utilização do sistema. Estes sistemas são capazes de tomar decisões pedagógicas em tempo real (em execução), guiando o estudante no processo de aprendizado e adaptando os conteúdos a certas características do estudante (BITTENCOURT et al., 2007).

De modo geral, Silva (2011) explica que os STIs são *softwares* que realizam a interme-

dição entre o “personagem” que busca aprender com a máquina que no mesmo instante é a facilitadora do aprendizado. A diferença dos STIs para os demais softwares educacionais, está na agregação das técnicas de IA e a incorporação de algumas estratégias pedagógicas que são utilizadas no modelo de ensino e aprendizagem convencional. Para isso, a construção de STIs corresponde a uma arquitetura que visa atender as estratégias elementares do processo de ensino (GOULART; GIRAFFA, 2001). A Figura 3 mostra a arquitetura considerada “clássica” dos STIs e a interação entre os módulos que a compõe.

Figura 3 – Arquitetura Clássica dos Sistemas Tutores Inteligentes.



Fonte: (JESUS, 2003)

A arquitetura da Figura 3 possui os seguintes módulos, conforme descritos por Jesus (2003), Goulart e Giraffa (2001).

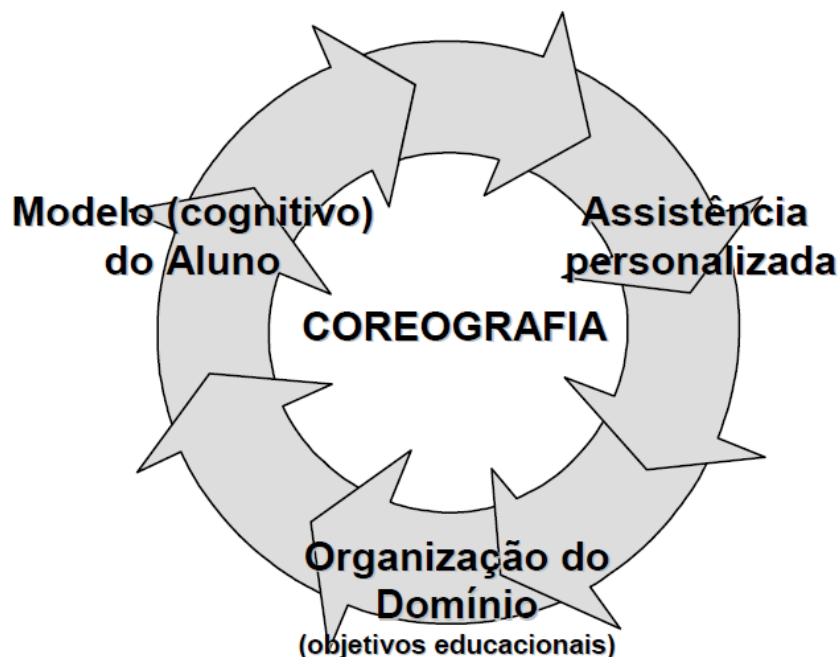
- **Modelo Especialista** (módulo do conhecimento/domínio): armazena o “conhecimento” a ser apresentado para o estudante, ou seja, as informações de um determinado domínio que representa o conhecimento de um especialista. O módulo é utilizado como padrão para avaliar o desempenho do estudante e, além disso, gerar soluções para o problema elaborado;

- **Modelo do Estudante:** este módulo contém o conhecimento e as capacidades do estudante. Estas informações são fundamentais para o tutor decidir qual ação pedagógica tomar durante o processo de ensino e aprendizagem, ou seja, com base no nível de conhecimento e o tipo de situação, o sistema pode apresentar alguma informação ou ajudar com a solução da atividade;
- **Modelo de Interface:** corresponde à parte da visualização do sistema. Responsável pela comunicação entre o sistema e o estudante. Segundo [Jesus \(2003\)](#), o módulo deve ser capaz de adaptar-se as diferentes necessidades de cada usuário, fazer sugestões e fornecer explicações. [Andrade, Girafa e Vicari \(2003\)](#) complementa que é necessário dispor de uma boa aparência e que a navegabilidade seja fácil, de modo a, promover uma habilidade e menos fadiga ao usuário;
- **Modelo Pedagógico (modelo tutor):** é o módulo responsável pela estrutura didática e pedagógica, ou seja, contém o conhecimento necessário para tomar decisões sobre qual ou quais táticas de ensino deverão ser utilizadas para o conteúdo que será trabalhado no STI. De modo geral, neste módulo, está presente as estratégias de ensino que são somadas aos processos pedagógicos e a interação com estudante durante o processo de aprendizagem;
- **Controle:** módulo que gerencia e agrega os elementos para a tutoria acontecer, por exemplo, os métodos a serem utilizados, situações-problema e controle da navegação do estudante dentro do ambiente.

Contudo, a arquitetura dos STIs foi desenvolvida com a finalidade de assistir o estudante, auxiliando-o durante o aprendizado e organizando o conteúdo do domínio. Para isso, a assistência realizada por esses sistemas, segue os objetivos educacionais e, assim, formando um processo contínuo conhecido como Ciclo de Tutoração ([GOULART; GIRAFFA, 2001](#)). A Figura 4 mostra o Ciclo de Tutoração realizado pelos sistemas de tutoria.

A “coreografia” mostrada na Figura 4, segundo [Goulart e Giraffa \(2001\)](#), representa a assistência personalizada do STI que, com base no modelo cognitivo (Modelo do Estudante) do estado atual do estudante que têm por finalidade, organizar o domínio de acordo com os

Figura 4 – Ciclo de Tutoração da Assistência dos STIs ao estudante.



Fonte: (GOULART; GIRAFFA, 2001)

objetivos educacionais que estão modelados dentro do STI e ao final do **Ciclo de Tutoração**, alterar o estado cognitivo do estudante.

A construção dos STIs deve seguir os seguintes princípios, segundo [Wood e Wood \(1996\)](#):

1. **Fornecer instruções no contexto de resolução de problemas:** em situações que o estudante pode ser abordado por um problema de matemática ou ver uma simulação do mundo real, o sistema pode oferecer conselhos e orientações. O estudante deve não somente lembrar ou relembrar tais conselhos, mas também reconhecer os contextos reais dos problemas aos quais está submetido.
2. **Resposta imediata aos erros dos estudantes:** segundo os autores, a maioria dos estudantes não consegue aprender com os erros fornecidos somente na etapa final do estudo. Assim, os STIs devem fornecer *feedbacks* imediatos sobre os erros cometidos. Na prática, um aprendiz que entende pouco sobre o assunto, o tutor pode intervir com uma frequência regulada para reparar os erros e mostrar para o estudante o que deve ser feito.

3. **Apoiar a aproximação sucessiva ao desempenho competente:** o STI deve ser programado para interagir conforme a evolução do estudante, ou seja, à medida que o aprendiz começar a aprender o sistema diminui o tempo de intervenção.
4. **Fornecer lembretes do objetivo da aprendizagem:** os STIs devem fornecer lembretes para direcionar a atenção dos estudantes ao objetivo das tarefas que estão realizando. Como exemplo, podem ser utilizados barras de progressos na tela ou das tarefas que o estudante tenha conseguido finalizar.

De modo a investigar a utilização e construção de STIs no campo da Matemática, as pesquisas de [Moura \(2017\)](#) e [Chen et al. \(2008\)](#) trazem estudos sobre os STIs que são utilizados como métodos pedagógicos no apoio do ensino de Matemática. O Quadro 1 descreve as vantagens e desvantagens na utilização de STIs para este fim.

Quadro 1 – Vantagens e Desvantagens dos STIs.

Vantagens	Desvantagens
Desenvoltura da estratégia conforme aprendizagem para cada estudante.	Teorias de aprendizagem não são totalmente computáveis
Interação dinâmica e constante do estudante.	Tomadas de decisões podem ser diferentes de um professor para o aluno.
Montagem de um modelo motivacional	Não levam em consideração fatores emocionais dos estudantes.
Pausa da atividade e retorno de onde o estudante parou.	Tutores humanos possuem a capacidade de observação sensitiva.
Diversidade e multiplicidade nas estratégias de ensino.	Necessita de coleta das informações sobre o usuário para aplicar as estratégias pedagógicas.

Fonte: ([MOURA, 2017](#))

[Moura \(2017\)](#) declara que “por mais que hajam muitas vantagens na aquisição de um STI, as desvantagens ainda existem quase na mesma proporção”. Assim, o autor afirma que “por mais que ainda existam algumas desvantagens, as vantagens devem ser consideradas para aplicação de STIs como método auxiliador no aprendizado dos discentes” ([MOURA, 2017](#)).

Em resumo, os STIs se caracterizam por conseguir distribuir separadamente o conteúdo a ser explorado (Módulo de Domínio) e as estratégias a serem exploradas (Módulo Tutor) e, caracterizando o aprendiz (Módulo Estudante) para oferecer um ensino personalizado, por uma interface (Módulo Interface) planejada e organizada. Desta forma, os STIs podem desempenhar suas tarefas, auxiliar os estudantes e, principalmente, coletar informações que possam complementar as tarefas do professor e auxiliar nas decisões pedagógicas.

Além dos STIs convencionais, existem os Sistemas Tutores Inteligentes Conversacionais (STIC), do inglês *Conversational Intelligent Tutoring System* (CITS), são uma extensão dos STIs da arquitetura convencional como mostrado na Figura 3. Nos STICs são oferecidas interfaces de Linguagem Natural (LN) ou, também, chamados Agentes Conversacionais Pedagógicos (ACP) no lugar de menus e, com isso, os STICs permitem que os usuários acessem os conceitos ou tópicos, por meio de diálogos como fariam em sala de aula.

Um ACP é um agente virtual que visa emular as modalidades de comunicação dos humanos, muitas vezes conversando com o estudante por meio da fala, mensagens de texto, expressões faciais, gestos ou outras ações da linguagem corporal (GULZ et al., 2011). Há algumas pesquisas que desenvolveram STICs em diferentes domínios como, por exemplo, o AutoTutor (GRAESSER et al., 2005) que foi projetado para auxiliar os estudantes da graduação para cursos introdutórios no ensino de informática. O sistema ensina os fundamentos de *Hardwares*, Sistemas Operacionais e Internet.

Outro exemplo de STIC é o Oscar de Latham et al. (2012). Oscar conduz conversas de tutoria e prevê dinamicamente e se adapta aos estilos de aprendizado de cada um dos usuários. Oscar foi definido para estudantes universitários e ensina linguagem para modelagem de banco de dados, o SQL¹.

O trabalho de Aljameel et al. (2017), também buscou utilizar os estilos de aprendizagem no seu STIC conhecido como LANA que foi desenvolvido para auxiliar as crianças com Autismo no aprendizado de tópicos científicos sobre sistema solar.

¹ Structured Query Language, ou Linguagem de Consulta Estruturada, ou SQL, que é a linguagem de pesquisa declarativa padrão para banco de dados relacional.

2.2 Fundamentos Básicos da Álgebra Elementar

De modo geral, o aprendizado de Matemática é uma prioridade global, especialmente o da Álgebra. Parte disso, está atrelada as habilidades do século XXI que se baseia no termo inglês STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*), que significa: Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática. Eles compõem um conjunto de disciplinas e áreas do conhecimento nos currículos escolares (SCHOENFELD, 1995). Além de reunir às quatro áreas do conhecimento, o termo STEM *Education* se tornou popular nos EUA e, recentemente, chegando ao Brasil, traz consigo características de uma época marcada pela revolução tecnológica e pela busca por inovação nos modelos educacionais tradicionais².

Com isso, a estrutura educacional constitui metas para a elaboração e aplicação de ações com impactos sociais no desenvolvimento de habilidades, seja, individual ou coletiva. Políticas educacionais também estabelecem diretrizes básicas para o desenvolvimento de currículos em disciplinas escolares. Neste caso, no Brasil, temos os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e que, recentemente, foi lançada a *Base Nacional Comum Curricular* (BNCC).

A Matemática é composta de vários tópicos, por exemplo, Teoria dos Números, Geometria e Álgebra Abstrata, entre outros. Além disso, a educação Matemática tem vários ramos como: a Didática, Filosofia, Psicologia, que são aplicadas ao ensino e aprendizagem do conhecimento matemático. Para o contexto desta pesquisa, o fundamento matemático para resolver as equações lineares são definidas como Álgebra Abstrata ou Álgebra Elementar. Neste campo de conhecimento, empregam-se as propriedades de estruturas algébricas para resolver equações lineares de uma variável.

Algumas definições sobre Álgebra Abstrata podem ser encontradas no trabalho de Fraleigh (2002). Um exemplo das propriedades algébricas na operação de adição para a resolução da equação linear no conjunto de números inteiros \mathbb{Z} que é mostrado no exemplo

² Disponível em: <http://porvir.org/stem-o-movimento-as-criticas-e-o-que-esta-em-jogo/>

da Equação 2.1.

$$\begin{aligned}
 5 + x &= 2 && \text{Dada a equação,} \\
 -5 + (5 + x) &= -5 + 2 && \text{adicionamos - 5,} \\
 (-5 + 5) + x &= -5 + 2 && \text{lei da associatividade,} \\
 0 + x &= -5 + 2 && \text{calculamos -5 + 5,} \\
 x &= -5 + 2 && \text{propriedade do 0,} \\
 x &= -3 && \text{calculamos -5 + 2,}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Outro exemplo das propriedades algébricas, é a operação de multiplicação para resolver equações lineares no conjunto de números racionais \mathbb{Q} sugeridos por Fraleigh (2002). A Equação 2.2 apresenta um exemplo dado pelo autor.

$$\begin{aligned}
 2x &= 3 && \text{Dada a equação,} \\
 \frac{1}{2}(2x) &= \frac{1}{2}(3) && \text{multiplicamos por } \frac{1}{2}, \\
 \left(\frac{1}{2}\right)x &= \frac{1}{2}3 && \text{lei da associatividade,} \\
 1x &= \frac{1}{2}3 && \text{calculamos } \frac{1}{2}2, \\
 x &= \frac{1}{2}3 && \text{propriedade do 1,} \\
 x &= \frac{3}{2} && \text{calculamos } \frac{1}{2}3.
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

O ensino e aprendizagem de Álgebra é centrado nas pesquisas de Educação Matemática denominadas de Álgebra Escolar ou Educação Algébrica. Os resultados de muitas pesquisas acadêmicos que visam a educação básica, têm o objetivo de propor abordagens para melhorar a aprendizagem desta disciplina. Além disso, a Educação Matemática aplicada à educação básica aponta para a importância do desenvolvimento do raciocínio e também do raciocínio algébrico no Ensino Médio. Os resultados de estudos em parceria com os governos descrevem medidas e ações para melhorar a aprendizagem dos estudantes.

Nesse sentido, Schoenfeld (1995) registra algumas pesquisas desenvolvidas pelo *Colloquium* de Iniciativa da Álgebra com base nos estudos das Escolas para aprimorar a Aprendizagem de Álgebra para todo o Ensino Fundamental (K-12 nos Estados Unidos), e para isso foram definidos as seguintes recomendações:

1. Todos os estudantes devem ter experiências significativas com os conteúdos da Álgebra (totalizando pelo menos um ano de trabalho) antes do fim do 8º ano;
2. Os discentes precisam aprender os seguintes aspectos da Álgebra, segundo [Schoenfeld \(1995\)](#):
 - A representação de fenômenos com símbolos e o uso de forma sensata;
 - O uso de variáveis para descrever padrões e fornecer fórmulas envolvendo relações geométricas, físicas, econômicas e outras;
 - Manipulações simples com essas variáveis para permitir que outros padrões sejam vistos e variações sejam descritas;
 - A resolução de equações simples, desigualdades e sistemas de inequação, assim como, de equações e desigualdades mais complexas;
 - A representação e análise das relações entre variáveis usando gráficos, planilhas ou outras tecnologias didáticas.
3. Todos os estudantes devem ser apresentados às operações e suas propriedades nos vários sistemas numéricos (números inteiros, números reais e números complexos) e objetos diferentes de números como: conjuntos, matrizes, transformações e proposições;
4. O domínio da habilidade para manipular as equações por meio do papel e lápis, deve ser esperado por todos os estudantes;
5. Tanto estratégias de curto prazo quanto de longo prazo são necessárias para garantir que todos os aprendizes estudem uma quantidade significativa de Álgebra.

[Arcavi \(2005\)](#) propõe que para desenvolver o PA deve-se atribuir significado a símbolos e operações algébricos, assim como, associá-los ao significado de símbolo. Desta forma, [Kieran \(1992\)](#) delineou os seguintes conceitos:

1. **Compreender os símbolos** – ao dar sentido simbólico deve-se incluir a sensação intuitiva de quando utilizar símbolos no processo de solução de um problema têm-se

que, inversamente, quando não fizer tratamento simbólico, tentar alternativas para resolução do problema;

2. **Manipulações e leitura por meio dos símbolos** – capacidade de ‘manipular’ e também ‘ler através de’ expressões simbólicas, como dois aspectos complementares na resolução de problemas algébricos;
3. **Engenharia de expressões simbólicas** – consciência de que é possível projetar com sucesso as relações simbólicas que expressam certas informações (verbais ou gráficas) dadas ou desejadas;
4. **Expressões equivalentes para significados “não equivalentes”** – A capacidade de selecionar uma representação simbólica possível (ou seja, escolher a variável à qual atribuir um símbolo) e, em certos casos, reconhecer a própria insatisfação com essa seleção, para atrair a atenção e engenhosamente procurar alternativas;
5. **Escolha dos símbolos** – Quando traduzimos uma situação em símbolos, um dos primeiros passos é escolher o que representar e como;
6. **Habilidades flexíveis de manipulação** – deve-se esquecer o significado e ser capaz de realizar manipulações mecanicamente, ainda deve haver um sentido “técnico” ou “formal” no controle do trabalho;
7. **Símbolos em retrospecto** – consciência da necessidade de verificar os significados dos símbolos durante a aplicação de um procedimento, durante a resolução de um problema ou a inspeção de um resultado, e comparar esses significados com intuições (ou premonições) sobre os resultados esperados e com a própria situação do problema;
8. **Símbolos no contexto** – consciência de que os símbolos podem desempenhar diferentes papéis de diferentes contextos e desenvolver um senso intuitivo dessas diferenças.

Do mesmo modo, [Kieran \(1992\)](#), descreve e classifica os métodos utilizados pelos estudantes na resolução de equações, sendo: o uso de números; técnicas de contagem; cobrir; desfazer (trabalhando para trás); substituição de tentativa e erro; transposição e executar a mesma operação em ambos os lados. Além disso, há uma conexão da Álgebra Abstrata do

ensino superior com a álgebra de educação básica tem sido de interesse para os pesquisadores nas últimas décadas em todo o mundo.

Contudo, o conteúdo das estruturas algébricas é ensinado na formação de professores para que futuros professores possam praticar com seus discentes no ensino fundamental, especialmente a resolução de equações polinomiais ou lineares. Todo o processo de resolução deste tipo de equações lineares requer o estabelecimento de conexões entre o conhecimento sobre o conteúdo da Álgebra Abstrata e o tratamento adequado do 7º ano, sendo este conteúdo determinado pelos documentos oficiais que estabelecem os currículos e seus conteúdos matemáticos (WASSERMAN, 2014).

Wasserman (2014) examinou as contribuições das conexões dos conhecimentos e aplicação das estruturas algébricas, especificamente, na teoria de grupos para o ensino e aprendizagem da Álgebra Escolar. A ênfase na teoria dos grupos empregou para resolver equações lineares. Os passos para resolução lógica explicam a importância do domínio deste conteúdo pelo professor para ensinar e possibilitar um ambiente de aprendizagem eficiente. Para ilustrar, Wasserman (2014) empregou uma atividade de resolução de equações lineares para operação de adição dentro do grupo \mathbb{R} , como é visto na Equação 2.3.

$$\begin{aligned}
 x + 5 &= 12 \\
 (x + 5) + (-5) &= 12 + (-5) \quad \text{Equivalência (propriedade aditiva),} \\
 x + (5 + -5) &= 12 + -5 \quad \text{Associativa (de adição em } \mathbb{R}), \\
 x + 0 &= 12 + -5 \quad \text{Elemento Inverso (de adição em } \mathbb{R}), \\
 x &= 12 + -5 \quad \text{Elemento Identidade (de adição em } \mathbb{R}), \\
 x &= 7 \quad \text{Conclusão (de adição em } \mathbb{R}).
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Também, aplica-se a propriedade algébrica no caso da multiplicação nos conjuntos \mathbb{R} .

A Equação 2.4, mostra um exemplo.

$$\begin{aligned}
 3x &= 8 \\
 \frac{1}{3}(3x) &= \frac{1}{3}8 \quad \text{Equivalência,} \\
 \left(\frac{1}{3}3\right)x &= \frac{1}{3}8 \quad \text{Associatividade da Multiplicação,} \\
 1x &= \frac{1}{3}8 \quad \text{Elemento Inverso Multiplicativo,} \\
 x &= \frac{1}{3}8 \quad \text{Elemento Identidade para Multiplicação,} \\
 x &= \frac{8}{3} \quad \text{Conclusão.}
 \end{aligned}
 \tag{2.4}$$

Em resumo, com a quantidade de exemplos da aplicação da Álgebra em vários conjuntos numéricos descritos nesta seção, pode-se afirmar que o aprendizado da Álgebra contribuiu para um caminho objetivo para a formação do raciocínio e do conhecimento algébrico dos estudantes ao longo do ensino fundamental e médio. Conseqüentemente, isso permite a aplicação e desenvolvimento profissional em várias áreas do conhecimento científico e tecnológico.

2.3 A Zona de Desenvolvimento Proximal de Vygotsky

A teoria sociointeracionista de Vygotsky (VYGOTSKY, 1991) enfatiza que a inteligência do indivíduo advém da interação social e cultural. Essa teoria de aprendizagem enfatiza que o conhecimento humano advém do meio, através de relações interpessoais, e não de aspectos internos (intrapessoais) do indivíduo.

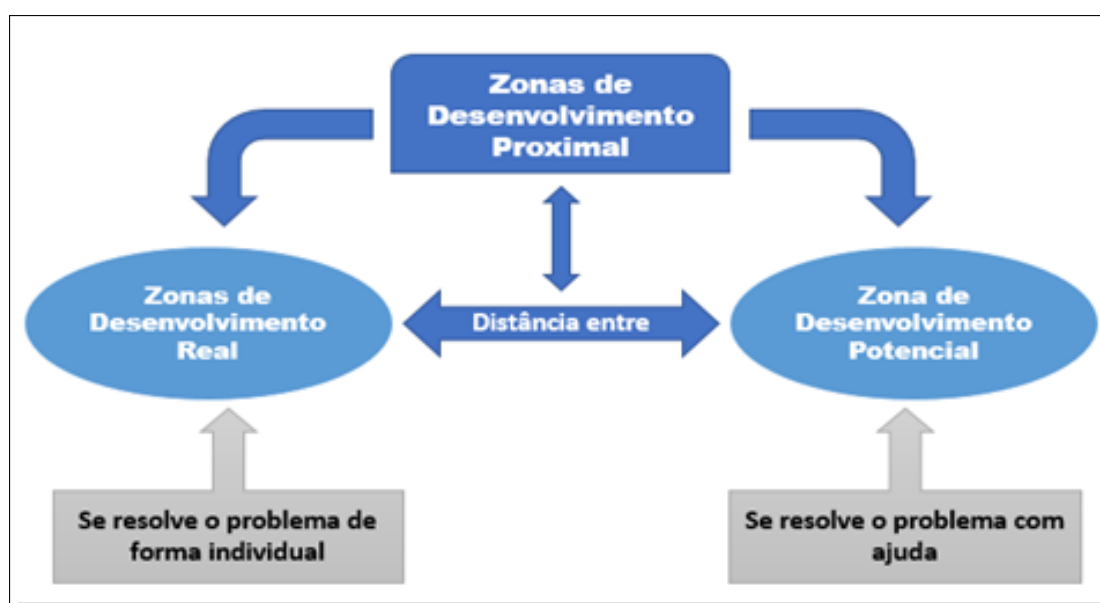
Para esta pesquisa temos como referencial teórico pedagógico a abordagem sociointeracionista de Vygotsky, sendo neste caso, o STI proposto irá exercer as funções de mediação, diagnóstico e suporte, do qual Vygotsky descreve como importantes dentro do processo de mediação.

Andrade, Girafa e Vicari (2003) descrevem que o processo de diagnósticos cognitivo do estudante baseando-se no sociointeracionismo de Vygotsky, inicia-se na análise de um pré-teste realizado pelo estudante para identificar habilidades internalizadas (módulo *Core*) e as dificuldades (módulo ZDP). Andrade, Girafa e Vicari (2003) descrevem que o conceito de *Core* trata do conhecimento do próprio indivíduo. Com isso, o *Core* representa o que Vygotsky

denomina de *Nível de Desenvolvimento Real* (NDR), ou seja, é o conhecimento internalizado pelo estudante.

No módulo ZDP está o processo de suporte ao estudante que é apoiado por sugestões e táticas adequadas ao trabalho. Com base na teoria de Vygotsky, [Andrade, Girafa e Vicari \(2003\)](#), descrevem que a ZDP é a distância entre o nível atual (NDR) com o *Nível de Desenvolvimento Potencial* (NDP) é determinada pela capacidade de resolução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com pares mais capazes. A Figura 5 resume o conceito da Teoria Pedagógica de Vygotsky.

Figura 5 – Teoria Pedagógica da ZDP de Vygotsky



Fonte: ([BARBOSA, 2016](#))

Nesta perspectiva, é importante destacar que os educadores tentam alcançar todos os estudantes que estão em cada um em níveis variados de experiência nas próprias ZDP. Segundo [Barbosa \(2016\)](#), ao mesmo tempo que a ZDP é simples em teoria, ela é complexa, na prática. Segundo o autor, a ZDP é simples quando o estudante é desafiado, pois, ele tende a melhorar no aprendizado. No entanto, ela é complexa na medida em que a aprendizagem começa a funcionar em toda a turma, logo existem vários níveis de conhecimento distinto entre os estudantes.

Contudo, a Teoria de Vygotsky pode ser aplicada em ambientes de aprendizagem colaborativa, pois, além das interações com os demais “colegas” no processo de aprendizagem, o facilitador desempenha o papel de tutor neste processo, dinamizando o processo de

aprendizagem (FONTES, 2013).

A ZDP evidencia o caráter orientador da aprendizagem em relação ao desenvolvimento cognitivo (HICKMANN; ASINELLI-LUZ; STOLTZ, 2015). Segundo Hickmann, Asinelli-luz e Stoltz (2015), os trabalhos de Vygotsky ressaltam que é importante trabalhar a distância qualitativa entre o NDR e o NDP, sendo este, apoiado por alguém mais capaz. Nesta pesquisa, o sistema especialista em Álgebra apoia o estudante, pois possui maior conhecimento sobre a resolução de equações polinomial de 1º grau e, assim, realizando participações orientadas e estruturando as atividades que cuidadosamente são adaptadas para aprimorar os conhecimentos dos usuários.

O envolvimento da ZDP na de Resolução de Problemas, segundo Junior e Onuchic (2015), justifica-se, pela abordagem de resolução ser o *locus* da cognição e ser uma atividade atuante na promoção da aprendizagem matemática. Com isso, conclui-se que a ZDP engloba tudo que o sujeito não consegue realizar sozinho, mas que terá êxito ao obter auxílio de alguém mais capaz. Portanto, quando um curso propõe problemas para o estudante, deve-se refletir nos propósitos atribuídos aos mesmos objetivos dos estudantes, dado que se busca atuar em suas ZDPs que possuem limites para imitação (JUNIOR; ONUCHIC, 2015).

2.4 Conclusão do Capítulo

Uma das características centrais dos STIs é que eles podem fornecer instruções no contexto da atividade em tempo real para os estudantes. Os STIs exibem certas características e habilidades encontradas em um tutor humano como, por exemplo, ser capaz de observar o processo de aprendizagem dos estudantes e prover *feedbacks* para ações relevantes, incluindo orientações adaptadas ao contexto e suporte ao ambiente de resolução de problemas.

Além do meio adaptativo que é oferecido pelos STIs, temos os ACPs que podem ser ferramentas que dão suporte e oferecem motivação para dar apoio ao aprendizado. Em alguns casos, dão suporte por meio do uso de Linguagem Natural. Os STICs são a união das duas tecnologias e que serviram de modelo para desenvolvimento desta pesquisa.

A ZDP de Vygotsky refere-se à lacuna entre o que um determinado sujeito pode alcançar sozinho (NDR) “determinada pela resolução independente de problema” e o que se

pode alcançar (NDP) “resolução de problemas sob orientação ou colaboração com colegas mais capazes” (WOOD; WOOD, 1996). Enfatiza-se que o ensino por meio da resolução das atividades envolvendo equações, tem-se como base a mediação entre o desenvolvimento cognitivo e a aprendizagem escolar. Dessa forma, a Resolução opera em consonância dos conceitos vygotskyanos da ZDP, do NDR e o NDP como um meio do desenvolvimento da aprendizagem, onde são considerados elementos com fins de potencializar a construção do conhecimento.

Portanto, neste capítulo foram relatados conceitos que serviram de suporte teórico para a pesquisa desenvolvida. No próximo capítulo serão apresentados os trabalhos correlatos que envolvem as áreas do conhecimento abordadas neste capítulo.

Capítulo

3

Trabalhos Correlatos

Neste capítulo são descritos os trabalhos identificados na literatura, sendo o estado da arte sobre os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) que são destinados a apoiar o ensino de conteúdos relacionados à Álgebra. A necessidade de investigação justifica-se pela natureza complexa dos problemas enfrentados pelos estudantes e visando entender como eles podem ser minimizados com o auxílio dos STIs.

3.1 Histórico da Pesquisa

A princípio, para compreender o estado da arte, foi elaborada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) com o propósito de identificar e caracterizar a produção de Sistemas Educacionais de Matemática que utilizavam *Agentes Conversacionais Pedagógicos* (ACP) para apoiar o estudante no desenvolvimento e aperfeiçoamento das habilidades em resoluções de problemas de Matemática. Os resultados em [Lopes, Netto e Lima \(2018\)](#) foram importantes para identificar quais as principais dificuldades e os conteúdos que os estudantes estão envolvidos na aprendizagem no campo da Matemática que, por fim, resultou no tema desta pesquisa.

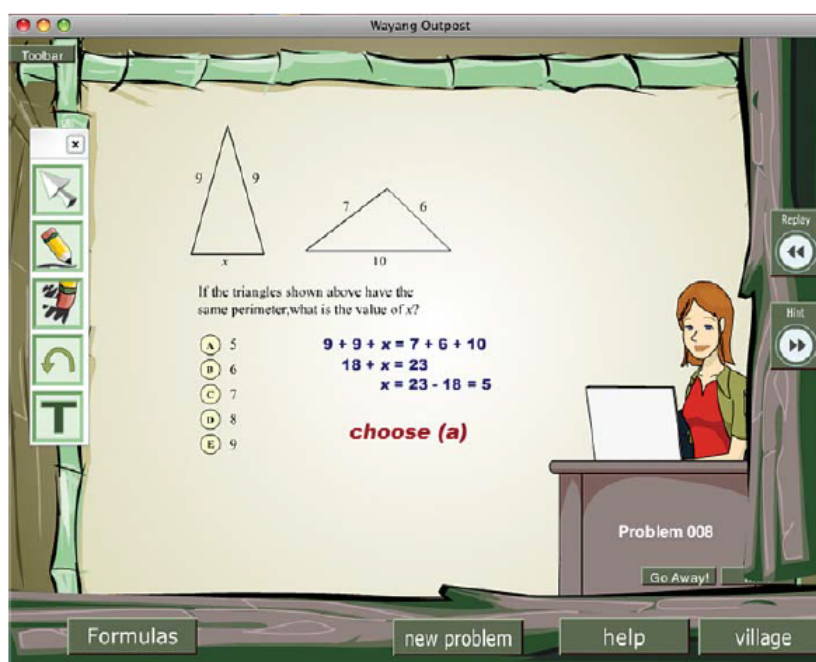
3.2 Sistemas Tutores Inteligentes para Apoiar o Ensino de Álgebra

Os desenvolvimentos recentes em STIs mostram que os usuários de software de tutoria podem progredir rapidamente e melhorar significativamente seu desempenho em áreas que exigem habilidades específicas (SHARMA et al., 2014). Com isso, nesta seção é apresentado uma revisão da literatura voltada para identificação dos STIs cujo foco é o ensino de Álgebra.

3.2.1 STI Wayang Outpost

O Wayang Outpost é um STI desenvolvido por Arroyo, Royer e Woolf (2011). O tutor visa aprimorar as habilidades básicas de matemáticas dos estudantes por acompanhamento em um treinamento utilizando o STI. Na Figura 6 é mostrada a interface do Wayang Outpost.

Figura 6 – Interface do STI Wayang Outpost



Fonte: (ARROYO; ROYER; WOOLF, 2011)

Conforme a Figura 6, os estudantes recebem problemas de múltipla escolha. Para cada um dos problemas apresentados, o Wayang fornece respostas imediatas, por meio dos *feedbacks* na tela, conforme cada uma das marcações de resposta do estudante. Cada um dos *feedbacks* é colorido com vermelho caso a resposta esteja errada ou verde se a resposta

estiver certa. À medida que os estudantes resolvem um determinado problema, eles podem solicitar dicas que são fornecidas de forma gradativa, sempre considerando o estado atual do estudante. Neste caso, o programa por meio do botão de ajuda exibe uma progressão de sugestões gerais para uma solução.

O Wayang também fornece sequenciamento adaptativo de problemas baseados em tempo, erros ou quantidade de ajudas solicitadas. Além disso, fornece suporte motivacional de caráter digital que visa falar mensagens que ajudam a manter o estudante na tarefa e isso é realizado por um *Agente Pedagógico Animado* (APA). No entanto, para solucionar o problema apresentado, o estudante resolve em outro lugar (por exemplo, em folha de papel) e fornece o resultado marcando em uma das opções de múltipla escolha, sendo neste caso impossível para o sistema identificar em qual das etapas da solução estão incorretas e, conseqüentemente não podendo identificar quais são as dificuldades dos estudantes.

3.2.2 STI Equation Guru

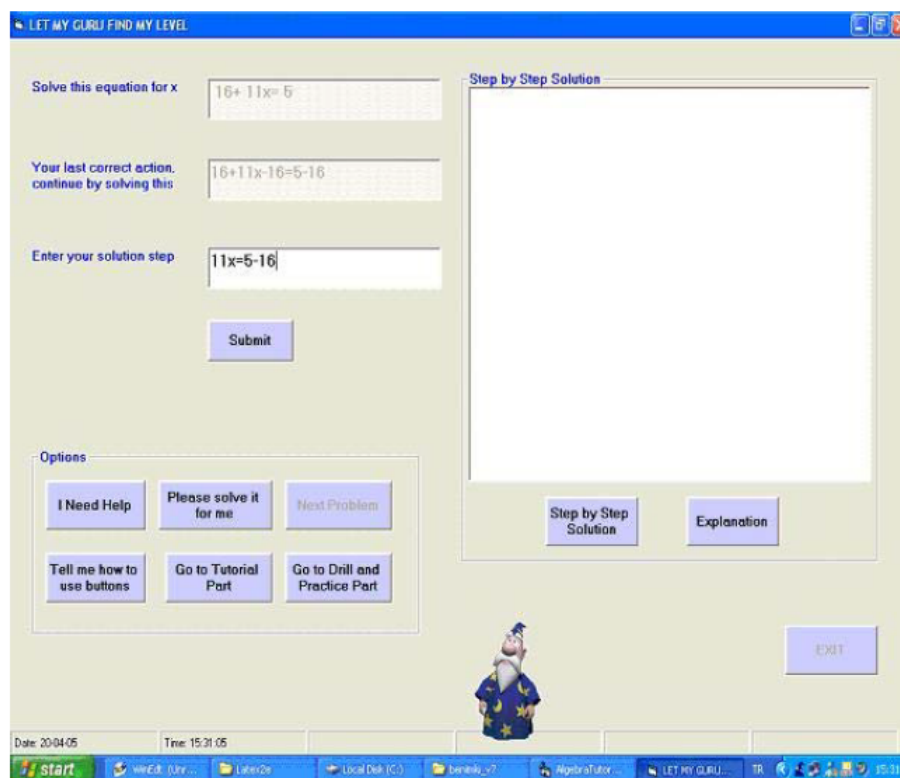
Outro STI é o Equation Guru que foi desenvolvido por [Kafkas, Bayram e Yaratán \(2006\)](#). O objetivo do STI é auxiliar os estudantes a aprender os conceitos de resolução de equação de uma variável. A Figura 7 mostra a interface e algumas das funcionalidades do Equation Guru.

O Equation Guru, oferece duas etapas: a etapa de tutoria, que visa ensinar o estudante os conceitos de equações e os passos necessários para resolver; e a segunda etapa chamada de “*Drill and Practice*” (Treino e Prática) permite que o estudante resolver passo a passo cada uma das equações propostas pelo sistema.

A etapa de prática é executada em três modos. O primeiro (principal) realiza o diagnóstico do estudante e dos módulos pedagógicos. Durante o processo de solução, o tutor armazena as ações do usuário e, em seguida toma as decisões pedagógicas como, por exemplo, determinar o nível do próximo exercício e, além disso, buscar motivar o estudante por meio do APA, conforme mostrado na Figura 7.

No segundo modo, o estudante pode fornecer como entrada para o Equation Guru uma equação e, em seguida visualizar a solução passo a passo e ouvir uma explicação. No último modo, o estudante pode escolher um dos níveis de dificuldades, obter uma equação e

Figura 7 – Interface do STI Equation Guru



Fonte: (KAFKAS; BAYRAM; YARATAN, 2006)

depois tentar resolvê-la.

No entanto, na etapa de Treino e Prática, o STI Guru predetermina o número de etapas que o estudante pode escrever para solucionar uma equação, ou seja, não o deixando livre para resolver com a quantidade de passos que achar necessário. Além disso, o sistema mostra apenas o último passo da solução apresentada pelo estudante, assim como não mostra as etapas que estão corretas ou incorretas salvas no Modelo do Estudante.

3.2.3 STI ActiveMath

O ActiveMath de [Melis e Siekmann \(2004\)](#) é um sistema baseado em tecnologias Web que visa apoiar a aprendizagem exploratória de maneira interativa assumindo que o estudante é o responsável pelo próprio aprendizado ([MELIS; SIEKMANN, 2004](#)). A interface é ilustrada na Figura 8.

O objetivo educacional do STI ActiveMath é realizar uma orientação adaptativa e a

Figura 8 – Interface do STI ActiveMath



Fonte: (MELIS; SIEKMANN, 2004)

representação de conteúdos baseados na ontologia de conceitos matemáticos. Para isso, o ActiveMath é compatível com os padrões de representação e comunicação do conhecimento, sendo: o Dublin Core¹, OpenMath² e MathML³.

Como proposta adaptativa, o ActiveMath incorpora informações do usuário, assim como, a representação do progresso de aprendizado. Neste caso, são armazenadas as propriedades estáticas (sessão atual), cenário, conceito, metas e preferências. Por outro lado, as informações dinâmicas como domínio dos conceitos e o comportamento real do estudante, também, são armazenados no modelo.

Contudo, o STI ActiveMath oferece questões com múltiplas escolhas e alguns exercícios interativos. Com efeito, o sistema não orienta o estudante durante o caminho da solução de um determinado problema e, além disso, não tem controle sobre o que está certo ou errado dos resultados apresentados pelos estudantes.

¹ Disponível em: <http://dublincore.org/>

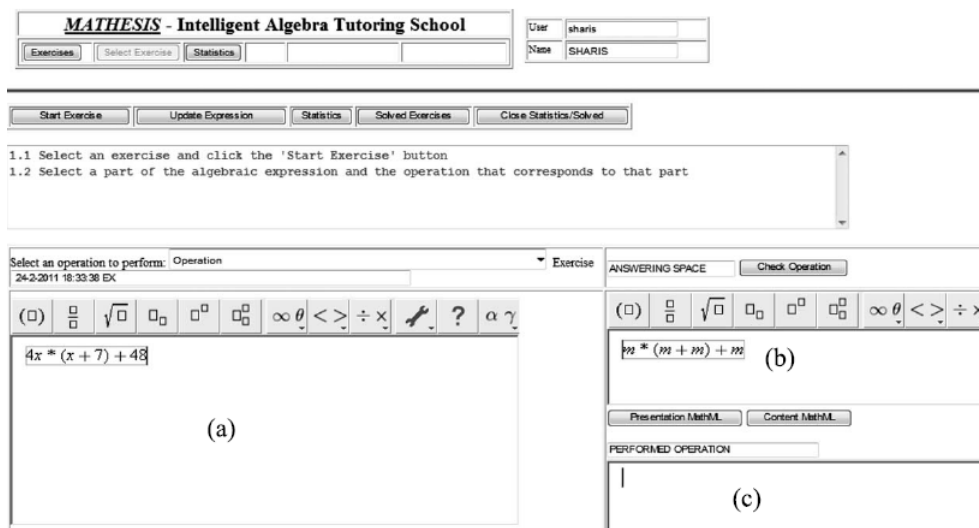
² Disponível em: <https://www.openmath.org/>

³ Disponível em: <https://www.w3.org/Math/>

3.2.4 STI Mathesis

O STI Mathesis de [Sklavakis e Refanidis \(2013\)](#) é voltado para orientar sobre a expansão e fatoração de expressões algébricas para estudantes do ensino médio. Na Figura 9 é mostrado a interface do sistema.

Figura 9 – Interface do STI Mathesis



Fonte: (SKLAVAKIS; REFANIDIS, 2013)

O sistema oferece suporte para gerenciamento das tarefas habituais de uma escola tradicional como: registro de estudantes e professores, gerenciamento de classe e testes, atribuição individualizada de exercícios, orientação passo a passo na resolução de exercícios, registro de interações dos estudantes, habilidade estatística de domínio e avaliação do estudante.

O Modelo Especialista do Mathesis, é implementada no seu Algebra Tutor, que é baseado em um modelo de 16 habilidades matemáticas (operações básicas): multiplicação monomial, divisão e potência monomial e polinomial. Além disso, há Multiplicação de polinômio, eliminação de parênteses, coletar termos semelhantes, identidades (quadrado da soma e da diferença, produto da soma por diferença, cubo da soma e diferença), fatoração (fator comum, agrupamento de termos, identidades, forma quadrática). Com base nesses recursos, o tutor obtém amplo monitoramento do conhecimento, registrando o desempenho dos estudantes em todas as habilidades presentes em qualquer expressão que seja solucionada.

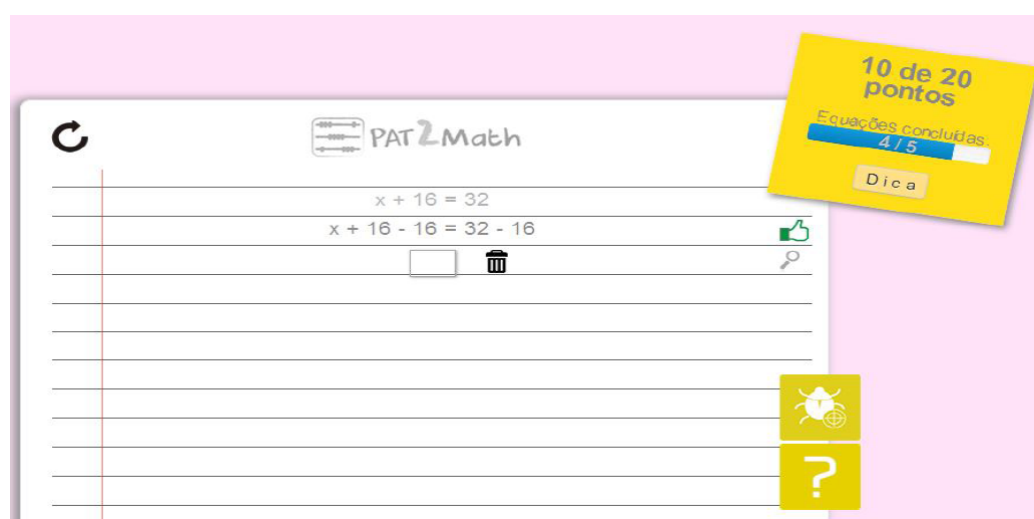
O Mathesis possui um recurso chamado *Intelligent Task Recognition*, no qual, qualquer expressão algébrica pode ser inserida no tutor e será reconhecida. O tutor inteligente cria um modelo de solução que se compara à solução do estudante. Para resolver uma expressão algébrica, o estudante escolhe um dos modelos que ele deseja resolver localizado em um menu na tela.

No entanto, o reconhecimento de tarefas do Mathesis não suporta técnicas de orientação para acompanhar o estudante durante as etapas de modelagem da solução dos problemas oferecidos pelo sistema, assim como, não fornece informações do progresso de desenvolvimento para professores e estudantes.

3.2.5 STI PAT2Math

O STI PAT2Math de [Jaques et al. \(2013\)](#) é um STI projetado para Web que considera as emoções do estudante, por isso o seu nome significa *Personal Affective Tutor to Math*. As emoções são inferidas conforme as ações realizadas na interface do sistema e pela expressão facial. A Figura 10 mostra a estrutura da interface do PAT2Math.

Figura 10 – Interface do STI PAT2Math



Fonte: ([BADIN; BORDIGNON; AGOSTI, 2017](#))

Todo o projeto é estruturado na ferramenta PATEquation, que inclui um editor e um Modelo Especialista que auxilia os estudantes na solução de equações de primeiro e segundo grau. O PAT2Math realiza acompanhamento passo a passo da solução. Além disso, o

ambiente aplica técnicas instrucionais motivacionais aos estudantes por meio de um APA e faz inferência do conhecimento do estudante.

No entanto, com os sucessos apresentados em suas pesquisas, o sistema PAT2Math não mantém os erros para mostrá-los aos estudantes e professores à longo prazo.

Em resumo, o Quadro 2 mostra as principais funcionalidades suportadas pelos STIs mencionados junto ao STI denominado LEIA que foi desenvolvido nesta pesquisa.

Quadro 2 – Resumo das Funcionalidades dos STIs.

Tutores / Funcionalidades	Wayang	Equation Guru	ActiveMath	Mathesis	PAT2Math	LEIA
Acompanhamento passo a passo		X		X	X	X
Feedback de um error específico			X	X	X	X
Rever soluções no final do problema		X		X	X	X
Avaliação do conhecimento	X	X	X		X	X
Feedback em cada passo de solução	X	X		X	X	X
Consulta conceitos matemáticos		X	X			X
Mensagens Motivacionais	X	X			X	X
Demonstração Log de Atividades						X
Suporte analítico para estudante e professor						X

Portanto, o sistema LEIA oferece um ambiente para acompanhar e orientar o estudante no processo de resolução de equações de primeiro grau, juntamente, com um Modelo Especialista que foi construído visando identificar, por meio da resolução passo a passo, os erros específicos e fornecer *feedbacks* em cada uma das etapas cujo objetivo é desenvolver o conhecimento dos estudantes. O STI LEIA também busca motivar o estudante, para isso, foi desenvolvido um *Assistente Virtual Pedagógico* (AVP), que pode explicar conceitos básicos relacionados à Álgebra. Além disso, o STI LEIA possui um ambiente de registro de atividades que pode mostrar para o estudante as informações das equações finalizadas (realizadas), das abandonadas com seus respectivos *timestamps*⁴ e seu nível atual de conhecimento (iniciante,

⁴ É uma sequência de caracteres ou informações codificadas que identificam quando um determinado evento ocorreu, geralmente fornecendo data e hora do dia, às vezes com precisão de uma pequena fração de

expert, mestre) que foram baseados nos princípios da gamificação, ou seja, neste caso dá um sentido de propósito ou objetivo a ser alcançado ⁵.

O STI também fornece um ambiente para o professor dando informações baseadas nos registros de atividades. Com isso, o professor pode identificar o progresso individual de cada estudante como, por exemplo, a quantidade de equações realizadas (fácil, médio, difícil) e, além disso, acompanhar a *timeline*⁶ de cada estudante, identificando o tempo de interação dentro do sistema. E por último, o professor, pode ver todos os registros dos passos realizados pelo estudante para solucionar cada uma das equações que foram finalizadas.

3.3 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados os STIs que estão relacionados a esta dissertação. As pesquisas descritas possuem um reconhecimento significativo na literatura. Desse modo, neste capítulo buscou-se realizar uma representação das características de cada uma, focando no atendimento aos usuários envolvidos no processo de ensino e aprendizagem.

Com base no levantamento realizado, foi possível identificar que os STIs passam por uma constante mudança nas abordagens tecnológicas. Por exemplo, considerando as emoções dos estudantes (PAT2Math (JAQUES et al., 2013)), adaptação com as preferências dos usuários (ActiveMath (MELIS; SIEKMANN, 2004)), motivacionais (Wayang (ARROYO; ROYER; WOOLF, 2011) e Equation Guru (KAFKAS; BAYRAM; YARATAN, 2006)) e reconhecedor de tarefas (Mathesis (SKLAVAKIS; REFANIDIS, 2013)).

As pesquisas citadas contribuíram e motivaram para o desenvolvimento desta dissertação. Os resultados serviram de base para a implementação de um sistema que buscou atender às necessidades encontradas focando no engajamento dos estudantes, de modo a apoiar e aprimorar o conhecimento e as habilidades no processo de aprendizagem focando na resolução de problemas envolvendo equações de primeiro grau, sendo este um dos con-

segundo.

⁵ Disponível em: <<https://desenvolvementoparaweb.com/miscelanea/gamificacao-introducao-principios-gamificacao/>>. Acessado em 14 de outubro de 2019.

⁶ A Timeline (linha do tempo) consiste geralmente num desenho gráfico que mostra uma barra longa com a legenda de datas junto da barra de uso do tempo que (normalmente) indica os eventos junto dos pontos onde eles aconteceram. As linhas do tempo são normalmente utilizadas na educação para ajudar estudantes e investigadores a compreender os eventos e estabelecer relações dos eventos num determinado assunto. Estas normalmente mostram os períodos do tempo entre dois eventos.

teúdos importantes para realizar a transição do Pensamento Aritmético para o Algébrico. O diferencial desta pesquisa está no fato do sistema considerar as perspectivas do estudante e professor. No primeiro, o STI LEIA apresenta o progresso de forma continuada com base nos acertos e erros cometidos. No segundo, o professor envolve o professor na prática mediadora. Para isso, foi integrado um sistema no qual pode ser visualizado todas as ações dos estudantes e os respectivos progressos de desenvolvimento.

Contudo, no próximo capítulo será detalhada as funcionalidades desenvolvidas com base nos requisitos levantados a partir das informações que foram encontrados na literatura.

Capítulo

4

Sistema de Tutoria LEIA

Neste capítulo é descrito o STI denominado LEIA. São descritos a arquitetura, as tecnologias que dão suporte e os módulos que são utilizados para promover o acompanhamento e mediação no desenvolvimento do estudante.

4.1 Visão Geral do Sistema

O STI LEIA é um sistema baseado em tecnologias Web, que permite aos estudantes praticar atividades de ensino e aprendizagem dos conceitos básicos da Álgebra, mesmo estando geograficamente distante da sala de aula. Para isso, o sistema foi desenvolvido utilizando PHP – *Framework* Laravel¹ e para persistência dos dados foi utilizado o MySQL².

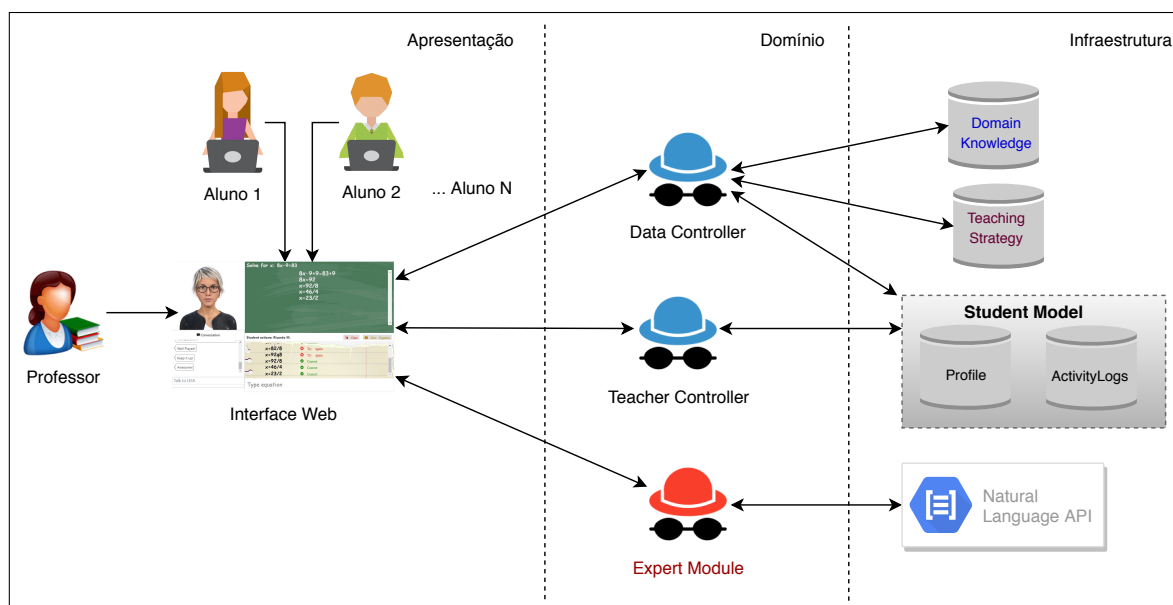
A proposta pedagógica do sistema é oferecer uma aprendizagem colaborativa focando na resolução de equações polinomiais de 1º grau, apoiada por um *Assistente Virtual Pedagógico* (AVP) e mensagens *feedbacks* que visam auxiliar e motivar o estudante durante o processo de aprendizagem. Além disso, o sistema LEIA oferece para o professor um ambiente para que consiga acompanhar o desenvolvimento individual dos estudantes. Com isso, foi projetada uma arquitetura para atender a problemática. A Figura 11 apresenta uma visão geral da arquitetura do sistema.

A Figura 11 mostra arquitetura que está dividida em três camadas. A **Camada de Apresentação** que é a área de interação dos usuários (estudante e professor) com sistema. A

¹ Disponível em: <<https://laravel.com/>>. Acessado em 13 de outubro de 2019.

² Disponível em: <<https://www.mysql.com/>>. Acessado em 13 de outubro de 2019.

Figura 11 – Arquitetura do Sistema LEIA.



Camada de Domínio possui todos os módulos que gerenciam a comunicação das funções presentes na Interface com a **Infraestrutura** presente na terceira camada. Cada uma das camadas será descrita nas próximas sessões.

4.2 Camada de Apresentação – Interface

A Camada de Apresentação é responsável pela interação dos usuários (estudante e professor) com o sistema. Além disso, a interface possui tradução para os idiomas do Português do Brasil e o Inglês. A tradução para o Espanhol será realizada em trabalhos futuros.

4.2.1 Interface do Estudante

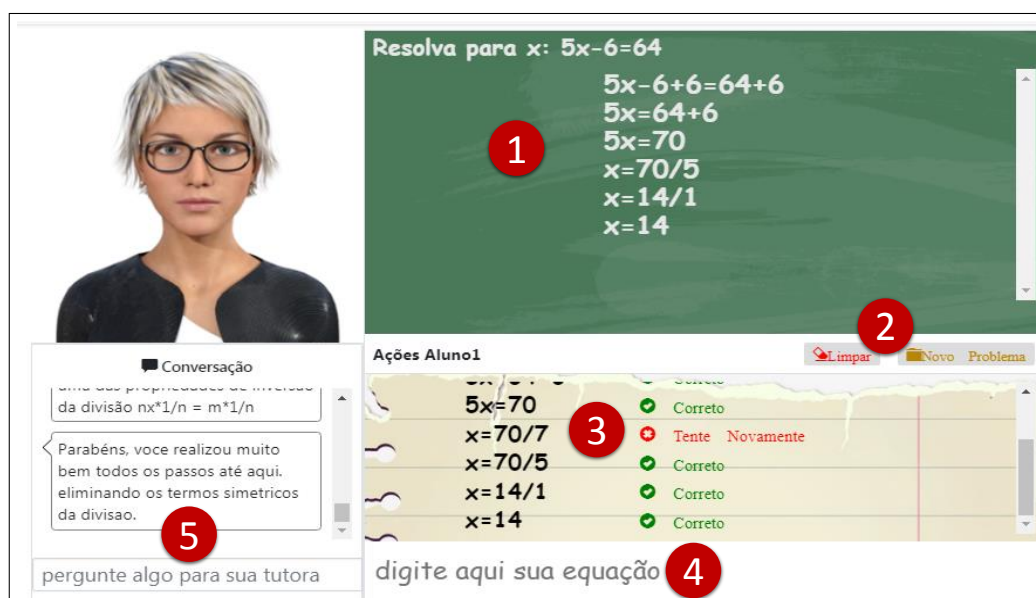
Após realizado o login, o estudante é levado para tela que é mostrada pela Figura 12. A interface, é complementada por um AVP com entrada de chat³ (5) possibilita que o estudante possa buscar informações sobre o currículo de Álgebra e Aritmética básica; e igualmente, receber mensagens de *feedback* durante o acompanhamento passo a passo da solução.

³ Em português significa conversação ou mais informalmente bate-papo, que designa aplicações de conversação em tempo real. Esta definição inclui programas de *Internet Relay Chat*, conversação em páginas web ou mensageiros instantâneos.

Na interface é mostrado um “quadro negro” (1) que fica registrado todos os passos realizados corretamente pelo estudante durante a resolução da equação de 1º grau. No campo (2), está presente os botões de “Limpar” para limpar as informações presentes no quadro do campo (1) e botão denominado “Novo Problema” para que o estudante, caso solicite, trocar para outra equação de mesmo nível de dificuldade.

No campo (3) é mostrado para o estudante todos os passos que foram realizados para chegar a solução da equação ofertada pelo sistema. Os passos realizados são coloridas de verde se as respostas estão corretas e vermelho se estão erradas. O campo (4) recebe o *input* (passo da solução) do usuário.

Figura 12 – Interface do Estudante.



Os exercícios baseados em passo a passo são particularmente populares no ambiente da Matemática (HEEREN; JEURING, 2014; JUNIOR; ONUCHIC, 2015). Para esta pesquisa foi considerado o modelo passo a passo, de modo a imitar à abordagem caneta e papel. Segundo Heeren e Jeuring (2014) e Heeren, Jeuring e Gerdes (2010), este tipo de abordagem tem-se mostrado oferecer vantagens para práticas no desenvolvimento das habilidades procedurais.

Além de realizar a solução de uma equação passo a passo, o estudante pode acompanhar o próprio progresso com base nas atividades realizadas. A Figura 13 mostra a tela correspondente aos registros de atividades salvas no sistema. Para que consiga a promoção de nível (novato, *expert*, mestre) o estudante deve obter sucesso em dois critérios definidos no sistema. O primeiro é a obtenção de uma “média mínima” de acertos nos conteúdos. E o

segundo é a quantidade mínima de equações finalizadas.

Figura 13 – Registro de Atividade do Estudante.

* Número de equações encontradas	5	
✓ Número de Equações respondidas corretamente	2	
Equação	Hora Iniciada	Hora Finalizada
2x=8	2019-04-29 14:41:41	2019-04-29 14:42:14
3x=99	2019-04-29 14:43:20	2019-04-29 16:06:07
Equação	Hora Iniciada	Hora Finalizada
Previous 1 Next		
✗ Número de Equações Abandonadas	3	
👉 Número de Questões Fáceis Respondidas Corretamente	2	
👉 Número de Questões Médias Respondidas Corretamente	0	
👉 Número de Questões Difíceis Respondidas Corretamente	0	
👤 Nivel Atual	Novice	

Os registros que são mostrados na Figura 13 são mantidos no Modelo do Estudante (ver Seção 4.4.3). Para esta pesquisa consideramos importante armazenar o tempo que o estudante utilizava para cada uma das atividades, assim como o registro de acesso e os passos realizados para solucionar cada uma das equações, visando utilizar estes dados para auxiliar o professor nas intervenções pedagógicas. Vale ressaltar, que o estudante poderá, apenas, visualizar os próprios resultados.

Com as informações da Figura 13, o estudante possui um retorno imediato do seu desenvolvimento. Ao observar os resultados, o estudante pode visualizar todas as equações respondidas corretamente e todas as que foram abandonadas durante a atividade prática, assim como o tempo que se utilizou para cada uma das atividades, sendo tudo isso considerado para todos os níveis de complexidade.

Para complementar a interface do estudante, foi inserido um AVP para auxiliar e motivar o estudante. Algumas pesquisas mostram que a participação desta tecnologia no processo de ensino e aprendizagem é considerada uma ótima ferramenta para auxiliar no aprimoramento da aprendizagem (LOPES; NETTO; LIMA, 2018), (WINKLER; SÖLLNER, 2018) e (NYE; GRAESSER; HU, 2014).

4.2.1.1 Assistente Virtual Pedagógico

O *Assistente Virtual Pedagógico* (AVP) é projetado para ser um aplicativo baseado na web que pode ser acessado 24/7 por funcionários e estudantes (CURRIE et al., 2016). O sistema foi programado para interagir com o usuário e fornecer respostas a questões específicas do contexto.

Segundo Currie et al. (2016) os benefícios de utilizar um AVP inclui a disponibilidade constante e o uso de comunicação em *Linguagem Natural* (LN) para fornecer respostas a consultas ou orientar o estudante para obter informações relevantes. Para construção do AVP desta pesquisa foi selecionado o Avatar do BotLibre⁴, que é uma plataforma popular de código aberto para desenvolvimento e hospedagem de bots. Botlibre é um site muito popular e suporta bots para web, mobile, Slack, email, Facebook, Telegram, SMS, Skype, Twitter, etc.

Com o BotLibre é possível criar avatares de forma independente ou embutir em algum site através da própria API⁵. Com a ferramenta BotLibre é fácil incorporar um avatar. A ferramenta oferece flexibilidade ao selecionar as características do avatar. Por exemplo, podemos selecionar o idioma em que queremos que o bot fale, o tipo de voz, o tipo de emoção que o avatar deve exibir, etc. Depois de selecionar as opções necessárias, a ferramenta gera um código que pode ser utilizado para incorporar o avatar.

A incorporação do AVP no STI LEIA, visa fornecer suporte para o usuário com a interação humano-computador, além disso, servir como meio motivador no atendimento aos estudantes às questões sensíveis ao contexto (MEIJ, 2013). As pesquisas relatadas por Alencar e Netto (2017) mostram que a colaboração de Agentes Pedagógicos dentro dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) podem ajudar na melhoria do aprendizado. Por isso, nesta pesquisa foi escolhido inserir o AVP no Sistema de Tutoria, conforme visto na Figura 12, representado por um avatar com entrada de *Linguagem Natural*. A motivação para incorporação deste aplicativo, começou pela pesquisa realizada por Lopes, Netto e Lima (2018), que a partir das avaliações que são realizadas nesta pesquisa (ver Capítulo 5), investigar a relevância da ferramenta no contexto educacional de matemática com foco na resolução de problemas algébricos polinomiais de primeiro grau.

⁴ Disponível em: <https://www.botlibre.com/>

⁵ API é um conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo de software ou plataforma baseado na Web. A sigla API refere-se ao termo em inglês "Application Programming Interface" que significa em tradução para o português "Interface de Programação de Aplicativos."

4.2.1.2 Mensagens de Motivação e Feedbacks

Uma parte importante da interface do estudante são as mensagens de *feedbacks* que aparecem durante as atividades. Segundo [Dias e Santos \(2013\)](#) os *feedbacks* são realizados através de comentários, que usualmente são feitos pelos professores, sobre produções escritas dos estudantes que tomam como referência os critérios de avaliação ([DIAS; SANTOS, 2013](#)). Da mesma forma, os *feedbacks* podem auxiliar o estudante a encontrar uma forma de se aproximar do que é esperado no processo de aprendizado.

Neste contexto, os *feedbacks* são apresentados nos campos (3) e (5) da interface (ver [Figura 12](#)). No campo (3) as mensagens têm por objetivo orientar o estudante nos passos de solução que são realizados. Neste caso, o sistema incorpora um mecanismo de *feedbacks* individualizados, linha por linha em todas as etapas da solução do problema. De acordo com [Corbalan, Paas e Cuypers \(2010\)](#), os *feedbacks* presentes no processo de solução de problemas pode ajudar os estudantes a se concentrar nas etapas de solução e permitir que veja a conexão entre o que precisam aprender e as oportunidades de aprendizado apresentadas. A investigação realizada por [Corbalan, Paas e Cuypers \(2010\)](#) mostrou que os *feedbacks* fornecidos em todas as etapas de resolução do problema é mais eficaz e motivador para os estudantes, se comparada com o *feedback* fornecido somente na etapa final da solução.

Em suma, além das mensagens de *feedbacks* conceituais, o STI LEIA também preocupa-se em motivar o estudante durante as atividades práticas. As mensagens foram criadas com base nas encontradas na literatura. O [Quadro 3](#) mostra algumas das mensagens de *feedbacks* e motivação presentes no sistema LEIA.

Quadro 3 – Mensagens de Motivação e Feedbacks para Estudantes.

Tipo	Mensagens
Motivação	Parabéns, você realizou uma ótima escolha!
	Espetacular! Você está certo!
	Você fez todos os passos, bom trabalho!
Alerta error	Algo está errado com sua resposta. Por favor simplifique primeiro a esquerda da equação.
	Sua resposta está errada. Você já tentou simplificar o lado direito da equação?
	Vejo que você está tendo dificuldades, você entendeu o conceito de manipulação de variáveis?

Conforme o Quadro 3, as mensagens de motivação visam encorajar o estudante ao final da etapa de solução de uma equação. No entanto, as mensagens de alerta de erro são exibidas em cada etapa da solução. Neste caso, os alertas de erro são mensagens gerais que têm a intenção de auxiliar o estudante a obter informações para ajudar na solução. Com isso, as mensagens são apoiadas pelo AVP com entrada de chat para que o estudante possa consultar conceitos matemáticos que o auxiliem na conclusão da atividade.

Portanto, a interface desenvolvida para o estudante (ver Figura 12) foi projetada para apresentar simplicidade e oferecer funções básicas para auxiliar na mediação do desenvolvimento do conhecimento algébrico, visando a compreensão e assimilação do PA e no desenvolvimento das habilidades de resolução de equação polinomial de 1º grau.

Sob o mesmo ponto de vista, foi projetado um ambiente para o professor dentro STI LEIA de modo a auxiliar no acompanhamento do desempenho individual dos estudantes e, assim, inferir no desenvolvimento de práticas pedagógicas de ensino visando melhorar o processo de aprendizagem do conteúdo algébrico. Na próxima seção será descrito com detalhes as funcionalidades oferecidas pelo STI LEIA aos professores.

4.2.2 Interface do Professor

De acordo com Pimentel et al. (2004), as lacunas encontradas na aprendizagem por falta de alguns pré-requisitos matemáticos contribuem para ampliar as dificuldades no aprendizado, por isso conhecer o que o estudante sabe e o que não se sabe é o primeiro passo para melhorar o processo de ensino e aprendizagem.

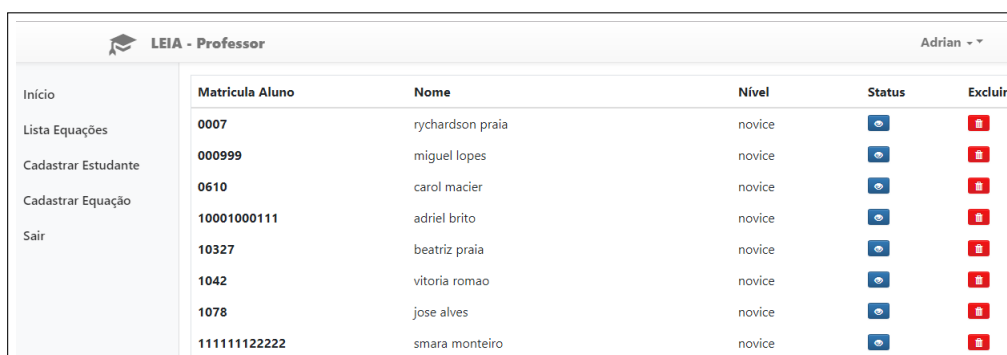
Os STIs, de modo geral, são designados para melhorar o aprendizado do estudante, no entanto, não são projetados para atender às necessidades dos professores que os utilizam na sala de aula (HOLSTEIN; MCLAREN; ALEVEN, 2017; JACOVINA et al., 2015). Há, portanto, uma necessidade de fornecer um suporte adequado para que o docente possa identificar a forma como o estudante está participando dentro da disciplina (ZIELINSKI; SCHMITT, 2015). Por isso, o LEIA propõe um ambiente para apoiar o docente no acompanhamento do desenvolvimento dos estudantes.

Em contraste aos STIs descritos no Capítulo 3, foi desenvolvido no STI LEIA um ambi-

ente *Dashboard*, que segundo [Silva, Netto e Souza \(2018\)](#) e [Aleven et al. \(2010\)](#) é uma exibição visual que permite aos usuários analisar dados de diferentes perspectivas, reunindo métricas de comunicação visual e, além disso, no campo educacional pode facilitar a visualização e o entendimento das informações geradas pelos estudantes dentro de um AVA.

Neste contexto, dentro do LEIA, o docente pode visualizar de maneira ágil se determinado estudante está evoluindo no domínio, neste caso, do conteúdo de Álgebra, assim como, se está participando das atividades ou até mesmo se está frequentando o sistema. A Figura 14 mostra a tela inicial do professor.

Figura 14 – Tela Inicial da Interface do professor.

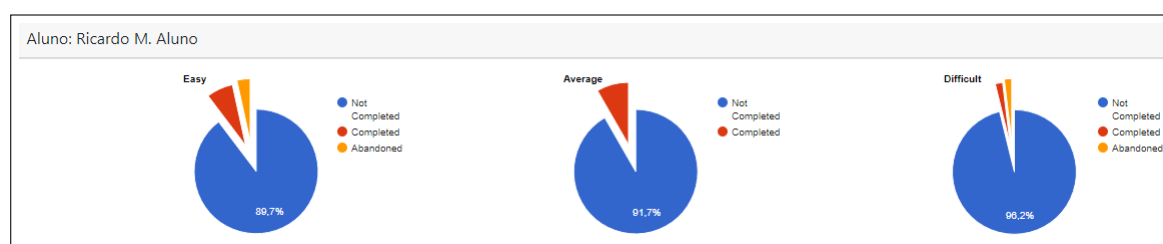


	Matricula Aluno	Nome	Nivel	Status	Excluir
	0007	rychardson praia	novice	[Status]	[Excluir]
Lista Equações	000999	miguel lopes	novice	[Status]	[Excluir]
Cadastrar Estudante	0610	carol macier	novice	[Status]	[Excluir]
Cadastrar Equação	10001000111	adriel brito	novice	[Status]	[Excluir]
Sair	10327	beatriz praia	novice	[Status]	[Excluir]
	1042	vitoria romao	novice	[Status]	[Excluir]
	1078	jose alves	novice	[Status]	[Excluir]
	111111122222	smara monteiro	novice	[Status]	[Excluir]

Na tela da Figura 14, o professor possui uma lista de estudantes com informações referente a nome, números de matrícula e nível de aprendizado. Os nomes apresentados são fictícios. Além das informações, a lista possui dois botões, o primeiro para visualizar o *Status* e outro para Excluir o estudante da lista e conseqüentemente da base de dados.

Ao clicar no botão de *Status*, o professor poderá visualizar as informações que são mostradas nas Figuras 15, 16 e 17 que são detalhadas a seguir.

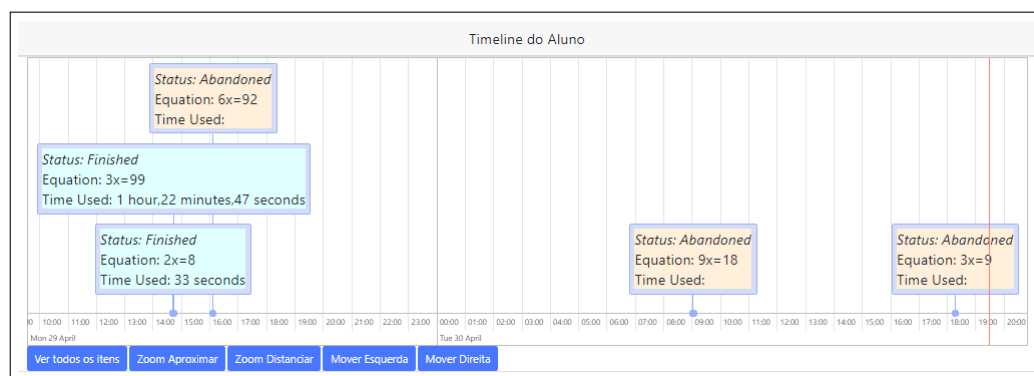
Figura 15 – Gráfico de Setores de um determinado Estudante.



Em cada um dos gráficos de setores da Figura 15, é mostrada um quantitativo de equações solucionadas (finalizadas), abandonadas e pendentes para cada um dos níveis de dificuldade, ou seja, fornecendo um resumo visual do progresso dos estudantes. Por meio

destes gráficos, o professor pode acompanhar a evolução dos estudantes, sendo se conseguiu avançar os níveis de dificuldades propostos e se está participando das atividades. Além disso, foi implementada uma *Timeline* que é mostrada na Figura 16.

Figura 16 – Timeline do Estudante.



Uma *Timeline* (linha do tempo) é uma sequência de eventos que são tipicamente plotados ao longo de um eixo de tempo no instante em que ocorrem. As linhas de tempo são aplicadas em muitos domínios, conforme mostram as pesquisas de (NGUYEN et al., 2016). Um exemplo do uso da *Timeline*, foi a pesquisa de Neto, Netto e Lima (2017) que foi desenvolvida para auxiliar a tomada de decisão dos professores. Nesta pesquisa, a *Timeline* foi utilizada para capturar eventos de interações dos estudantes dentro do AVA proposto e, assim, o professor poderia identificar as ocorrências das interações que acontecia em tempo real no ambiente. Por outro lado, o trabalho de Alevén et al. (2010) desenvolveu uma *Timeline* com base em cálculos no tempo de interação e no nível de progresso dos estudantes dentro do STI proposto.

Para o sistema LEIA, foi implementada uma *Timeline* com base nos eventos de interação que os estudantes realizavam para encontrar a solução de uma equação. O objetivo é auxiliar o professor a identificar algumas dificuldades com base no tempo de resolução e no tempo de interação. Para isso, a *Timeline* contém as informações do *status* da equação, neste caso, identificando se foi finalizada ou abandonada e o tempo em que o estudante ficou interagindo no sistema para solucionar, ou se mudou de equação.

Uma das últimas informações mostradas para o professor, é um quadro com todos os passos realizados por determinado estudante para resolver todas as equações correspondentes. A Figura 17, mostra o quadro de equações finalizadas em todos os níveis de dificuldade.

Figura 17 – Ações Tomadas pelo Estudante para Solucionar as Equações.

Ações do Aluno		
Nível: Fácil	Nível: Médio	Nível: Difícil
$2x=8$	$5x+6=46$	$8(9x+6)=2(9x+7)+7$
$(2/2)x=8 2$ ✓correto	$5x+6-6=46-6$ ✓correto	$72x+48=18x+14+7$ ✓correto
$x=8/2$ ✓correto	$5x=46-6$ ✓correto	$72x-18x=-48+21$ ✓correto
$x=4$ ✓correto	$5x=40$ ✓correto	$54x=-27$ ✓correto
$3x=99$	$x=40/5$ ✓correto	$x=-27/54$ ✓correto
$6x=92$	$x=8$ ✓correto	$x=-9/28$ ✗incorreto
$7x=49$	$2x-62=28$	$x=-9/18$ ✓correto
	$8x-9=55$	$x=-3/6$ ✓correto
	$5x-6=64$	$x=-1/2$ ✓correto

Na Figura 17, o professor pode ver com exatidão as etapas realizadas pelos estudantes para finalizar cada uma das equações que aparece no quadro. Neste caso, o professor pode observar os erros cometidos e, em conjunto com a *Timeline* da Figura 16, comparar a quantidade de passos realizados com o tempo percorrido para cada solução.

Portanto, o ambiente desenvolvido para o professor, considerou vários cenários de uso, desde a utilização de gráficos e o uso de uma *Timeline* focando no apoio à tomada de decisão e autorreflexão. Com isso, o STI LEIA combina um sistema de tutoria inteligente que visa apoiar a partir da análise do aprendizado dos estudantes e, conseqüentemente, ter influência positiva na prática educacional.

Na próxima seção, será detalhada a **Camada de Domínio**, que é responsável pela comunicação e funcionalidades da Interface com a **Camada de Infraestrutura**.

4.3 Camada de Domínio – *Controllers*

Na camada de domínio mostrada na Figura 11, existem os módulos responsáveis por manter a comunicação entre a Camada de Infraestrutura com a Interface do usuário. Os módulos são detalhados a seguir.

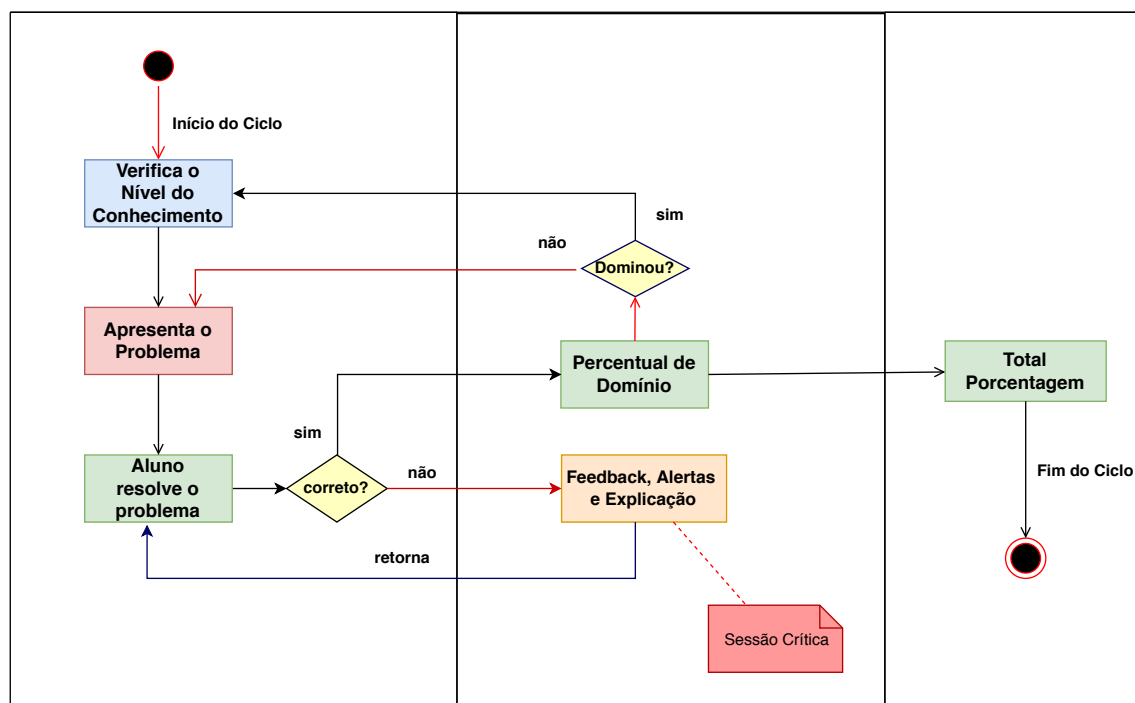
4.3.1 Módulo DataController

O **DataController** é responsável por executar determinadas tarefas, sendo elas:

- Manter o **Modelo do Estudante**;
- Registrar o histórico das ações dos estudantes;
- Fornecer acesso e ajuda por meio de *feedbacks*;
- Consultar a **Base de Conhecimento** e as **Estratégias de Ensino**.

Contudo, além de controlar as informações dentro do sistema, o *DataController*, é responsável por gerenciar o Ciclo de Tutoria. O ciclo é mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Ciclo de Tutoria Realizado pelo STI LEIA.



O Ciclo de Tutoria mostrado na Figura 18 é descrito no seguinte cenário: o sistema verifica o nível de progresso do estudante (novato, expert, mestre) dentro do **Modelo do Estudante** que foi construído com base nas atividades anteriores e, logo após, recomenda uma equação. Em seguida, o estudante resolve a equação passo a passo e as etapas executadas são mostradas na interface conforme detalhado na Seção 4.2.1. Se o estudante possuir alguma dificuldade para solucionar um problema, o **Módulo de Especialistas** do LEIA apresenta o *feedback* para o estudante e, logo, ele poderá pedir explicações ao sistema por meio do *chat* do (AVP).

Por último, antes de iniciar um novo Ciclo de Tutoria com uma nova equação, o STI analisa se o estado atual do estudante verificando se ele possui domínio do nível de

dificuldade, com base em algumas Estratégias de Ensino como, por exemplo, mostrada na Figura 19 (ver Seção 4.4.1).

4.3.2 Módulo Especialista

O **Módulo Especialista** é o módulo que contém o conhecimento técnico do sistema LEIA sendo responsável por analisar as soluções das equações dos estudantes. O processo de solução da equação é um processo iterativo. As operações matemáticas analisadas durante o processo (dividir, adicionar termos similares, soma, etc) são aplicadas em cada etapa até o valor desconhecido de x .

Quando o estudante fornece sua etapa de solução, o **Módulo Especialista** avalia a entrada que será usada para determinar se a equação fornecida é resolvida pelo passo apresentado. O conjunto de entrada dos símbolos são: $\{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,x,=,/,*\}$. Se uma entrada no campo (4) da Interface (ver Figura 12) conter algum símbolo que não esteja neste conjunto, o módulo avisará o estudante por meio do AVP que a entrada está incorreta.

Neste sentido, o **Módulo Especialista** também é responsável em acompanhar o estudante em cada passo e, assim, diagnosticar os erros cometidos. Os erros identificados pelo **Módulo Especialista** do STI LEIA, são: **Error de Entrada (léxico)**, **Adicionar termos semelhantes**, **Divisão**, **Simplificação**, **Denominador Comum**.

Contudo, este módulo foi acrescido com uma ferramenta de *Processamento de Linguagem Natural* (PLN). A ferramenta permite criar uma interação com o estudante por meio da linguagem natural. A implementação desta ferramenta permite que o estudante utilize como consulta sobre conceitos relacionados ao campo da matemática. A ferramenta de PLN é descrita na Seção 4.4.4.

4.3.3 Módulo TeacherController

O módulo **TeacherController** é responsável por buscar na base de dados, as informações que servirão para serem visualizadas pelos estudantes e professores.

O estudante, visualiza as informações sobre as equações que foram finalizadas, aban-

donadas e o tempo que interagiu para resolver e, além disso, o nível (novato, *expert*, mestre) do estado atual presente no Modelo do Estudante, conforme a Figura 13.

Por outro lado, o **TeacherController** é responsável por gerenciar as informações do progresso do estudante, oferecendo para o professor, as informações do quantitativo de equações concluídas (ver Figura 15) e as etapas executadas pelo estudante para resolver cada uma das equações (ver Figura 17). Além disso, o **Módulo TeacherController** é responsável por gerenciar a *Timeline* que mostra o tempo de interação do estudante dentro do sistema (ver Figura 16).

4.4 Camada de Infraestrutura

A camada de infraestrutura contém os componentes de persistência dos dados que são utilizados para a execução do tutor. Nesta camada está presente: as **Estratégias de Ensino**, a **Base de Conhecimento**, o **Modelo do Estudante** e a ferramenta de **Linguagem Natural**.

4.4.1 Estratégias de Ensino

Segundo Ford (1987), as Estratégias de Ensino representam o conhecimento do professor no ensino em várias áreas do conhecimento. As Estratégias de Ensino presente no STI LEIA são responsáveis por ajustar o nível da equação ao nível do estudante, assim como escolher o momento de troca do nível de dificuldade da equação e por realizar a rememoração de uma equação não finalizada.

As Estratégias de Ensino foram implementadas por regras de produção conforme os exemplos mostrados em Ford (1987) e Netto (1995). As Estratégias de Ensino sugerem políticas para novas equações, sendo escolhidas conforme o desempenho atual do estudante. As novas equações são escolhidas pelo critério de facilidade e acumulativas, ou seja, aquelas que são pré-requisitos para outras equações. A Figura 19 mostra uma das estratégias presente no STI LEIA. Todas as estratégias utilizadas no sistema LEIA podem ser vistas no Apêndice F.

Parte das regras de tutoria implementadas no STI LEIA estão relacionadas com o aumento do nível do problema a ser resolvido pelo estudante. A Estratégia de Ensino mostrada

Figura 19 – Estratégia de Ensino de Domínio do Nível do Problema.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 4 – Registro de Aprendizado do Nível	
SE	1) Grau de Dificuldade do problema é fácil, médio ou difícil, e 2) Solução do Aluno está correta, e 3) Aluno resolveu corretamente 75% de equações do mesmo nível
ENTÃO	Registre o nível como sabido pelo aluno.

na Figura 19, está relacionada à avaliação do nível da equação dominada pelo estudante, ou seja, a solução (finalização) de 75% dos problemas presentes na base de dados, significando que o estudante já possui domínio dos conceitos matemáticos referentes às equações do nível denominado: fácil, médio ou difícil. Com base na ZDP visto na Seção 2.3, entende-se que o conhecimento real do estudante (NDR), no estado atual é o domínio das equações do nível com 75% de aproveitamento e a ZDP se refere as equações do nível subsequente; e a NDP são as equações de nível mais elevado.

4.4.2 Base de Conhecimento

O Quadro 4 descreve alguns exemplos das equações presentes na Base de Conhecimento que o Modelo Especialista utiliza para fornecer para os estudantes. A base tem um total de 150 equações divididas em 50 de nível fácil, 50 do nível médio e 50 do nível difícil. Vale ressaltar, que o professor pode cadastrar novas equações.

Cada uma das equações é oferecida para os estudantes com base nas **Estratégias de Ensino** durante a interação com a Interface (ver Figura 12).

Os níveis de dificuldade e as equações foram definidas com base no número de etapas da qual podem ser resolvidas como, por exemplo, no nível fácil as equações podem ser solucionadas com apenas uma ou duas etapas. No nível médio, as equações podem ser resolvidas em três a quatro etapas e no nível difícil, as equações são resolvidas em cinco a oito etapas. Além do número de etapas, os níveis estão relacionados aos conceitos básicos do domínio da Álgebra elementar (ver Seção 2.2). Além disso, a base de equações pode ser alimentada pelos professores.

Quadro 4 – As Equações e os Níveis de Dificuldades do LEIA.

Nível de Dificuldade	Equação
Fácil	$2x=8$
	$3x=33$
	$6x=92$
Médio	$4x-6=9$
	$2x-62=21$
	$3x+6=15-5x$
Difícil	$7(8x-6) = 8(7x-5)$
	$2(9x+1) = 4(3x-1)$
	$8(9x+6) = 2(9x+7) + 7$

4.4.3 Modelo do Estudante

O **Modelo de Estudante** proposto armazena o nível de conhecimento dos estudantes e o histórico de todos os sucessos e erros realizados durante a resolução passo a passo da equação.

No Modelo do Estudante são armazenadas as informações básicas do estudante como (nome, matrícula, senha e nível) e armazena as ações (erros e acertos) na base de dados denominada de *ActivityLogs* (ver Figura 11). Nesta última, contém o histórico de todas as etapas tomadas pelo estudante para resolver uma determinada equação.

Do ponto de vista educacional, essa representação visa captar as informações do desenvolvimento do estudante dentro do processo de resolução e, por meio do histórico das atividades, delinear a experiência do usuário dentro do ambiente. As informações armazenadas nos históricos permite que o STI LEIA as analise e, a parti disso, realize o fluxo do Ciclo de Tutoria (ver Figura 18).

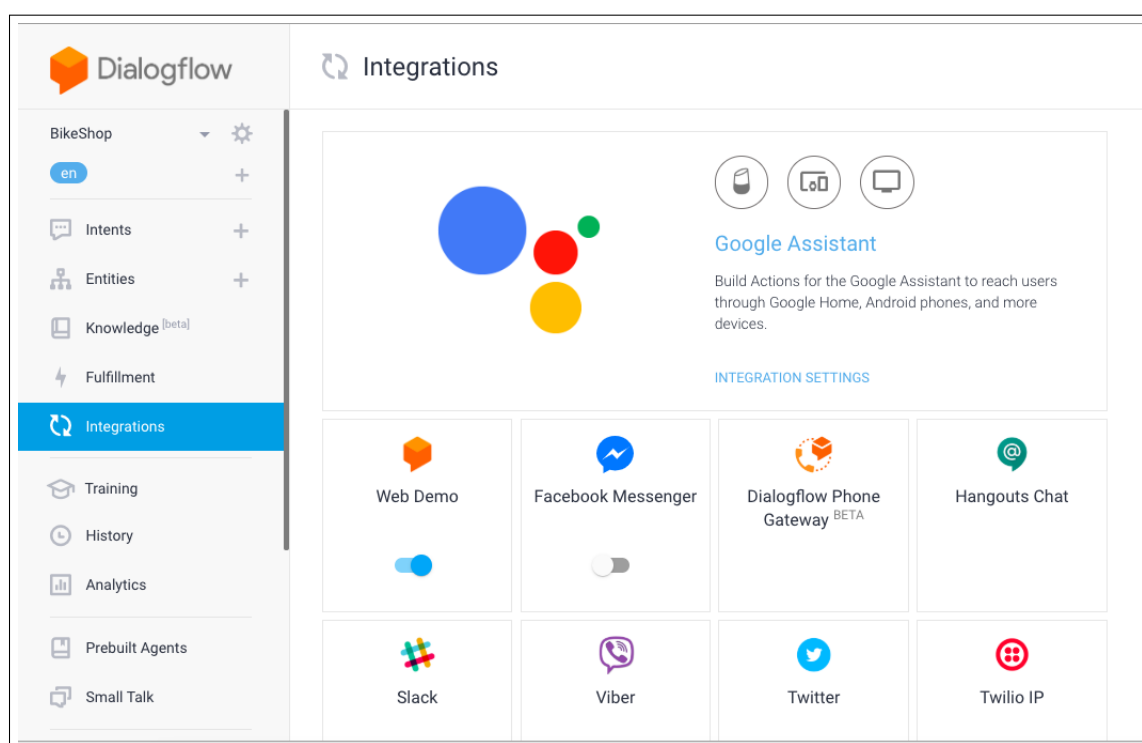
Com as informações contidas no modelo, é possível referenciar as equações que não foram concluídas (finalizadas) e, assim, ajudar o estudante a memorizar as equações, possibilitando o reforço da aprendizagem.

4.4.4 API de Linguagem Natural

Pesquisas como as de [Bii \(2013\)](#), [Nye, Graesser e Hu \(2014\)](#), [Winkler e Söllner \(2018\)](#), mostram que a inclusão de ferramentas de *Processamento de Linguagem Natural* (PLN) nos vários contextos educacionais servem como complementos à atividade educacional.

Uma revisão sistemática no campo da matemática ([LOPES; NETTO; LIMA, 2018](#)), mostram a evidente inclusão da ferramenta de Linguagem Natural como sendo contribuição importante para motivação e acompanhamento da aprendizagem. Para esta abordagem, a ferramenta de PLN do AVP foi desenvolvido a partir da ferramenta Dialogflow⁶, que fornece uma ferramenta para entrada de Linguagem Natural (ver Figura 12) construída para oferecer maneiras de interação e apoiar a criação de interfaces de conversação baseadas em voz e texto com IA. A Figura 20 ilustra a tela inicial do Dialogflow.

Figura 20 – Tela Inicial do Programa Dialogflow.



Nesta pesquisa, o Dialogflow realizará o trabalho de análise do texto do usuário. Neste caso, o Dialogflow utiliza aprendizado de máquina para identificar se o usuário está digitando ou falando e, com isso, o sistema pode melhorar a interação conforme a experiência com o usuário ([SINGH; RAMASUBRAMANIAN; SHIVAM, 2019](#)). Baseado nisso, esta pesquisa utiliza

⁶ <https://dialogflow.com/>

a ferramenta a fim de fornecer para o estudante uma maneira de consultar conceitos básicos relacionados à Matemática e Álgebra, por meio da interação de conversão.

No Dialogflow foram inseridos os conceitos sobre Soma, Subtração, Multiplicação, Divisão e as definições de Álgebra e suas estruturas. Todos os conceitos estão relacionados ao que o estudante poderá buscar conhecer sobre as estruturas da Matemática. Além disso, foram criadas respostas para diálogos sociais, como responder a cumprimentos, elogios, entre outros.

4.5 Conclusão do Capítulo

Com objetivo de gerar um sistema adequado para realizar o acompanhamento e auxiliar no processo de ensino-aprendizagem da Álgebra Elementar, foi desenvolvida uma arquitetura e, conseqüentemente, um sistema de tutoria denominado LEIA. A importante contribuição deste sistema é buscar atender às duas perspectivas do processo de ensino-aprendizagem, a do estudante e do professor.

Com o estudante, o sistema realiza o acompanhamento em cada uma das etapas de solução do problema, fornecendo *feedbacks* e construindo um histórico do progresso de desenvolvimento (ver Figura 13). Além disso, um AVP foi implementado, com o objetivo de oferecer ao estudante a ideia de um tutor que está a acompanhá-lo durante o processo de aprendizagem e poder consultar conceitos referentes ao contexto, ainda que o objetivo do AVP não é fornecer respostas das atividades, mas fazer com que o estudante compreenda os erros e acertos e, assim, aprimorar o seu entendimento sobre os conceitos da Álgebra voltada para equação de primeiro grau.

Na perspectiva do professor, foi desenvolvido um ambiente com o objetivo de facilitar o acompanhamento dos estudantes. Do ponto de vista pedagógico, realizar o acompanhamento é importante, principalmente, em situações onde o grau de complexidade das atividades é crescente, neste caso, o STI LEIA aumenta o grau de dificuldade das equações. Os gráficos e a *Timeline* são relevantes, pois fornece indicadores para revelar se os estudantes estão evoluindo de acordo com o processo de ensino-aprendizagem, além de facilitar o acompanhamento ao longo do tempo.

Portanto, as informações fornecidas pelo sistema, a partir dos dados obtidos por meio das atividades, poderão auxiliar os professores e estudantes a identificar e tratar as principais lacunas do aprendizado. Sendo este realizado a qualquer momento, no qual, docente e discente poderão acessar os resultados dos históricos para fins de análise. Para isso, foram considerados vários cenários de uso com foco no apoio à tomada de decisões e à autorreflexão sobre o ensino e aprendizagem.

Capítulo

5

Avaliação

Neste Capítulo são descritos os três estudos avaliativos que foram realizados com o sistema LEIA e os seus respectivos resultados. O foco do primeiro Estudo de Caso foi de identificar a satisfação dos estudantes com relação ao sistema proposto, ou seja, se a proposta fornecia um ambiente favorável para o aprendizado e se poderia auxiliar para diminuir as dificuldades de aprendizagem.

No segundo estudo avaliativo, foi implementado e avaliado um módulo baseado na Teoria Fuzzy voltado dentro do STI LEIA, visando aprimorar as suas funcionalidades e, consequentemente, disponibilizar para professor(es) e coordenação pedagógica o desempenho dos estudantes em relação às atividades de resolução das equações, assim, oferecer apoio nas decisões pedagógicas. Neste caso, com base no modelo *Fuzzy* as variáveis foram definidas com base nas informações contidas no sistema, sendo o **Tempo de Resolução (TR)** utilizado para resolver a equação, o **Grau de Dificuldade (GD)** (Fácil, Médio, Difícil) e o **Status da Atividade (SA)** (Abandonada, Finalizada e Pendente). A partir dos resultados, tem-se que a aceitação da tecnologia proposta satisfaz a proposta pedagógica.

No último estudo desta pesquisa, segue o objetivo de verificar e identificar o progresso dos estudantes. Para isso, foram utilizadas avaliações de pré-testes e pós-testes e questionário de aceitação de software, baseados na metodologia UTAUT. Os resultados mostraram, positivamente, que os estudantes obtiveram bom desempenho ao interagir com o STI LEIA e que puderam aprender mais com ele.

5.1 Estudo de Caso

Nas próximas seções, serão relatados todos os Estudos de Caso realizados com objetivo de mostrar para os estudantes e professores que o STI LEIA pode auxiliar na prática educacional do ensino e aprendizagem da Álgebra Elementar e, além disso, como um método de autoavaliação. O contexto das turmas descritas nesta pesquisa, são de aulas ministradas em média quatro horas por semana, usando um livro didático, lousa e prática de escrita em folhas de caderno, tanto na sala de aula quanto em casa, sem a presença de qualquer software educacional.

5.1.1 Estudo 1 - Avaliando a Satisfação do Estudante

Neste primeiro estudo, o sistema foi utilizado e avaliado por uma turma de 25 (vinte e cinco) estudantes do 8º ano do Ensino Fundamental da Escola Estadual José Mota, localizada na cidade de Manacapuru, situada na região metropolitana de Manaus.

A escolha da Escola foi oriunda do baixo índice de aproveitamento de 12,17% (ver Figura 1) na disciplina de Álgebra, no que se refere à participação dos estudantes no *Sistema de Avaliação da Educação Básica* (SAEB) de 2015. Com isso, a escola procura por iniciativas, visando melhorar o índice de desempenho dos estudantes na disciplina de Matemática.

Por isso, o objetivo deste primeiro estudo foi de identificar e avaliar a satisfação dos estudantes com a utilização do sistema LEIA. Inicialmente, o sistema foi apresentado para a turma por uma breve explicação sobre suas funcionalidades. Logo, 25 estudantes de uma turma de 40 ficaram interessados em participar voluntariamente da atividade avaliativa.

Os estudantes utilizaram o LEIA na sala de informática da escola e, logo após, o sistema foi avaliado por sua usabilidade e qualidade de tutoria, conforme mostra Figura 21. Para isso, foram utilizados questionários curtos com escala *Likert* variando com *scores* de 1-5, 1 (um) para muito insatisfeito e 5 (cinco) para muito satisfeito. Os resultados das avaliações dos estudantes serão descritos nas próximas seções.

Figura 21 – Estudantes da Escola Estadual José Mota Realizando os Primeiros Testes com o Sistema LEIA.



5.1.1.1 Perfil dos Participantes

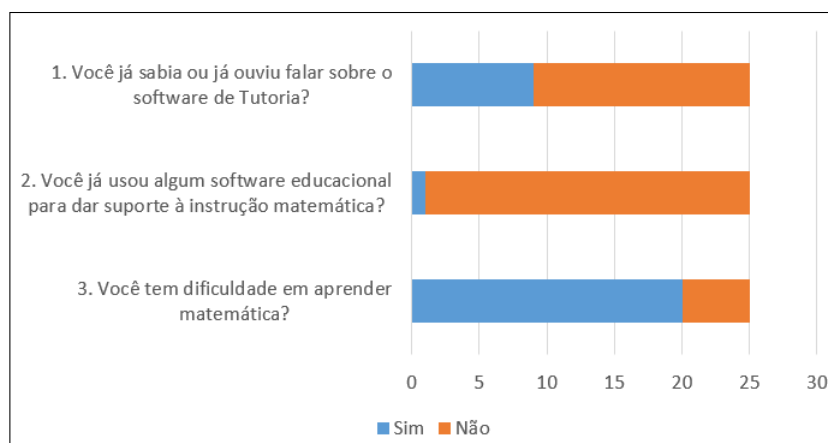
Antes de aplicar os questionários de usabilidade técnica e usabilidade pedagógica, foi disponibilizado um questionário para caracterizar os participantes. A caracterização, têm o intuito de estabelecer um olhar crítico sobre os resultados apresentados. Os resultados podem ser vistos na Figura 22.

Entre os participantes, 56% eram do sexo masculino e 44% do sexo feminino. Em relação à faixa etária, 92% tinham 13 anos e 8% dos estudantes possuíam 14 anos.

Na 1ª e 2ª questão mostrada na Figura 22, observamos que a maioria dos participantes não compreenderam ou ouviram falar sobre os termos apresentados na questão, logo, levou ao resultado de 36% responderam que já conheciam o que era Sistemas Inteligentes de Tutoria. Além disso, quando questionados na **Questão 2**, apenas 4% relataram que já usaram algum software para apoiar o ensino e a aprendizagem de matemática, no entanto, não conseguiram caracterizar qual software foi utilizado.

A **Questão 3** da Figura 22 mostra que os estudantes afirmaram ter muita dificuldade em aprender matemática; e os resultados se confirmaram em 80% dos participantes. No geral, a maioria não conhecia ou nunca haviam utilizado *softwares* de ensino de matemática. Além disso, a maioria dos participantes afirmou ter muitas dificuldades em aprender conteúdos relacionados à Matemática.

Figura 22 – Questionário de Caracterização dos Participantes.



Cada uma das sessões teve duração máxima de 40 (quarenta) minutos. Devido ao limite de tempo, os participantes foram desafiados a resolver 3 (três) equações de nível fácil, 3 (três) de nível médio e 3 (três) equações de nível difícil que são mostradas no Quadro 4.

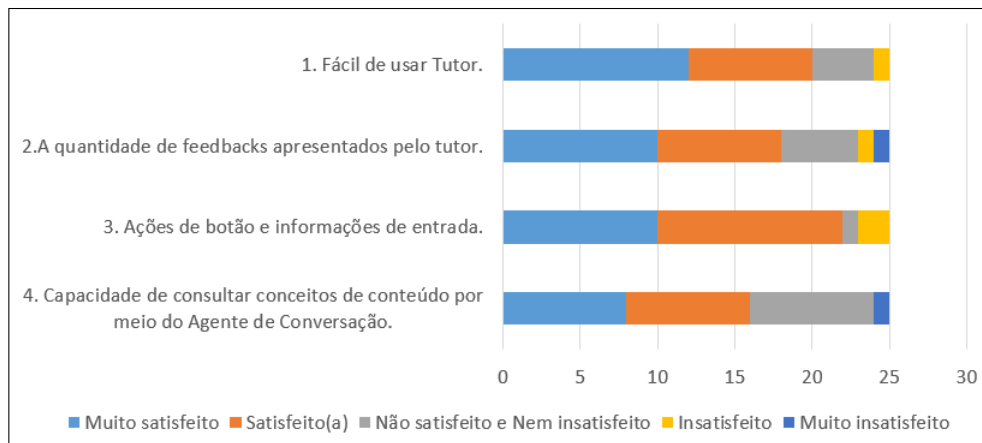
Para resolver as equações, os estudantes seguiram o modelo de resolução passo a passo, enquanto, o sistema fornecia *feedbacks* de modo imediato em cada uma das etapas da solução, colorindo-os em verde se correto e em vermelho se errado (ver Figura 12). Além disso, o sistema buscou fornecer mensagens de motivação e informações sobre erros (sinal, simplificação, etc) cometidos em algum dos passos da solução realizada pelo participante. Ao fim do tempo de uso do LEIA, os estudantes responderam os questionários de **Usabilidade Técnica** e o de **Usabilidade Pedagógica**.

5.1.1.2 Avaliação de Usabilidade Técnica

Os resultados da avaliação de **Usabilidade Técnica** foram obtidos por meio da aplicação de questionários [Kumar, Emory e Choppella \(2018\)](#) aos participantes no final da sessão de teste. Os questionários continham uma escala *Likert* de 1-5, que indicavam o grau de satisfação dos participantes. Os resultados são mostrados na Figura 23.

Com os resultados da **Questão 1** da Figura 23, 48% dos participantes ficaram muito satisfeitos com a facilidade de uso do sistema de tutoria, assim como 32% ficaram satisfeitos. Outros 16% não estavam nem satisfeitos e nem insatisfeitos. Contudo, apenas 4% mostraram insatisfação com a usabilidade. Neste caso, os estudantes mostraram não possuir domínio

Figura 23 – Questionário de Usabilidade Técnica



com a informática básica.

Na **Questão 2**, os estudantes informaram o grau de satisfação da quantidade de *feedbacks* mostrado pelo sistema. Sendo, 40% dos participantes ficaram muito satisfeitos e outros 32% satisfeitos. Outros 20% ficaram neutros e 4% ficaram muito insatisfeitos e outros 4% insatisfeitos. Em outras palavras, os resultados negativos mostram que os estudantes não ficaram satisfeitos com os *feedbacks* fornecido pelo sistema LEIA.

Com a finalidade de conhecer a satisfação dos participantes em relação às funções e ações realizadas pelo STI LEIA, os resultados da **Questão 3** mostram que 48% ficaram satisfeitos e outros 40% muito satisfeitos. Outros 12% estavam insatisfeitos ou muito insatisfeitos, mostrando que as ações do tutor não corresponderam satisfatoriamente às solicitações dos usuários.

O objetivo da **Questão 4** foi verificar se o *Assistente Virtual Pedagógico* é adequado para auxiliar no processo de ensino e aprendizagem e se funcionou como meio motivacional para continuar a utilizar o sistema. Foi constatado que 64% dos estudantes estavam satisfeitos ou muito satisfeitos com o recurso. Outros 32% ficaram neutros e 4% ficaram insatisfeitos. Neste caso, a oscilação da Internet no laboratório de informática causou problemas em algumas funções do AVP.

Contudo, o questionário de **Usabilidade Técnica** teve como objetivo analisar a satisfação dos estudantes após a utilização do sistema LEIA. De modo geral, os resultados indicaram que o sistema é de fácil uso; os *feedbacks* são satisfatórios para a maioria dos usuários e as ações do sistema corresponderam às solicitações de entrada. Além disso, foram solicitadas

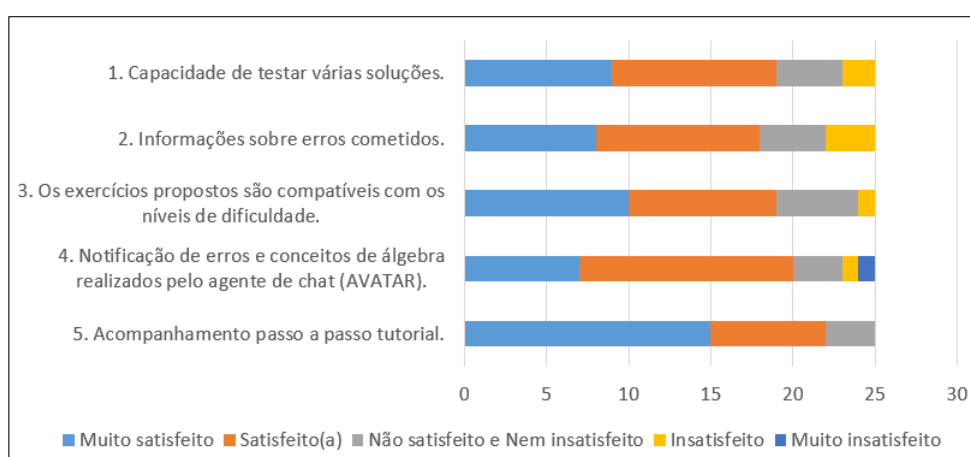
dos estudantes sugestões para melhorias do sistema. E uma das principais sugestões foram que o sistema pudesse apresentar um exemplo de solução de equação antes de iniciar a atividade prática. Outros estudantes sugeriram uma maior participação do AVP no processo de solução.

Em resumo, os estudantes relataram que o sistema possui recursos amigáveis e as mensagens de motivação são satisfatórias, por outro lado, as sugestões fornecidas pelos estudantes visam melhorar o sistema e, conseqüentemente, ajudar a reduzir as dificuldades no processo de aprendizagem.

5.1.1.3 Avaliação de Usabilidade Pedagógica

As questões utilizadas na avaliação de **Usabilidade Pedagógica** foram adaptadas de [Kumar, Emory e Choppella \(2018\)](#). Com isso, buscou-se identificar se o sistema de tutoria era adequado para subsidiar o processo de ensino e aprendizagem no desenvolvimento das habilidades no campo da Álgebra. A Figura 24 mostra os resultados obtidos após a avaliação dos estudantes.

Figura 24 – Questionário de Usabilidade Pedagógica



Observando a Figura 24, vemos que a **Questão 1** mostra que 60% dos estudantes ficaram muito satisfeitos, assim como 28% ficaram satisfeitos com o fato do sistema possibilitar tentar outras formas de solução, como os exemplos visto na Seção 2.2. No entanto, 12% não estavam nem satisfeitos e insatisfeitos.

Com os resultados da **Questão 2** da Figura 24, buscou-se compreender se os *feedbacks*

dos erros cometidos e mensagens de motivação foram claros para que o estudante pudesse entender as ações realizadas. Os resultados mostram que 40% dos participantes estavam satisfeitos, além dos 32% que ficaram muito satisfeitos. Outros 16% ficaram neutros e 12% dos estudantes ficaram insatisfeitos com os *feedbacks*.

Com relação ao grau de satisfação dos níveis de dificuldades das equações apresentadas pelo STI LEIA, os estudantes responderam a **Questão 3** e o quantitativo mostra que 40% ficaram muito satisfeitos e 36% dos participantes ficaram satisfeitos. Outros 20% ficaram neutros e 4% informaram insatisfação. Neste caso, foi perceptível que alguns dos estudantes tiveram dificuldades para solucionar as equações por falta do domínio dos conhecimento em Álgebra (ver Quadro 4).

Com a finalidade de investigar se o AVP seria útil como ferramenta de apoio e motivação no processo de aprendizagem, a **Questão 4** foi elaborada e a maioria dos estudantes informou satisfação e muita satisfação com a presença do AVP, resultando em uma amostra de 80%. Outros 20% ficaram neutros.

A **Questão 5** permite compreender a satisfação dos participantes com a abordagem pedagógica de resolução passo a passo. Os 60% dos estudantes ficaram satisfeitos e 28% muito satisfeitos com o modelo de tutoria e apenas 12% ficaram neutros.

Refletindo sobre os resultados negativos apresentados pelos questionários de **Usabilidade Técnica e Pedagógica** foi possível perceber que em consequência da oscilação da Internet no laboratório de informática, causou desconforto e insatisfação dos participantes com algumas ações realizadas pelo sistema como, por exemplo, ações de *chat* do *Assistente Virtual Pedagógico*. Além disso, identificamos que os participantes possuíam uma falta de conhecimento mínimo para conseguir solucionar as equações propostas, tendo como um dos fatores que resultou nas avaliações negativas.

De modo geral, os resultados refletiram um interesse dos estudantes em aprender Álgebra utilizando o sistema LEIA. Além das dificuldades encontradas (tecnológicas e tempo), a maioria dos participantes demonstrou confiança e satisfação com a proposta pedagógica de utilização do sistema.

5.1.2 Estudo 2 - Monitorando o Desempenho dos Estudantes

Nesta seção é descrito o segundo estudo, cujo objetivo visava fornecer apoio as tomadas de decisões pedagógicas para professores e coordenação pedagógica. Para isso, foi desenvolvido um modelo baseado na Teoria *Fuzzy* e inserido no STI LEIA, a fim de disponibilizar o resultado do desempenho dos estudantes em relação ao conteúdo de resolução de equação polinomial de primeiro grau. A Lógica *Fuzzy* tem como principal objetivo modelar computacionalmente o raciocínio humano, impreciso, ambíguo e vago. A implementação deste modelo é uma extensão das funcionalidades oferecidas pelo sistema LEIA.

No caso do STI LEIA algumas das informações dadas juntamente com os resultados são imprecisas e vagas para o modelo computacional e, com isso, não possibilita os cálculos necessários para gerar informações que sejam úteis para os professores e coordenação pedagógica.

Contudo, este estudo de caso, justifica-se por desta forma os envolvidos no processo de ensino possam ter um *feedback* preciso e, assim realizar intervenções pedagógicas e, conseqüentemente, auto-avaliar as metodologias de ensino (MALVEZZI; MOURÃO; BRESSAN, 2010).

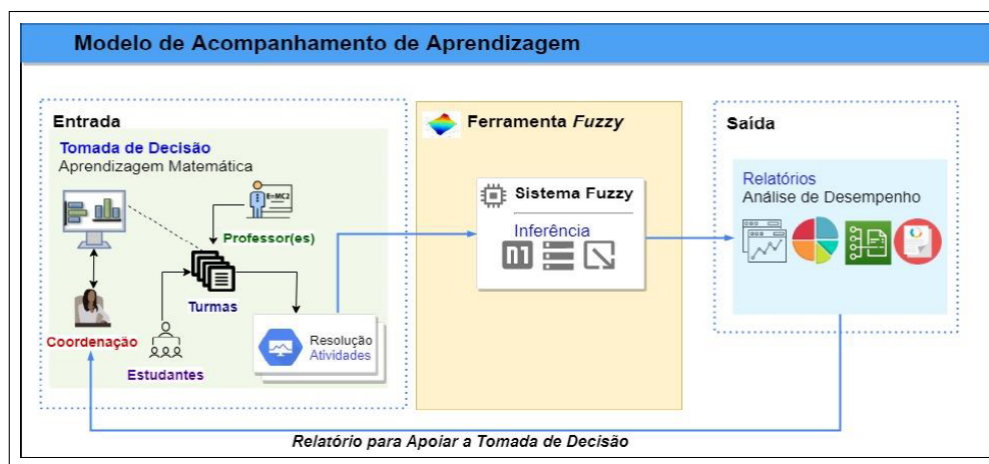
Em resumo, a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* e os conceitos de Lógica *Fuzzy* são utilizados visando traduzir em termos matemáticos uma informação imprecisa sendo expressa por um conjunto de regras linguísticas. Como resultado, tem-se um sistema de inferência baseado em regras, onde as regras linguísticas são definidas com base nas definições matemáticas, oriundas da Teoria de Conjuntos *Fuzzy* e Lógica *Fuzzy*.

Para contextualizar, a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* foi concebida e formalizada por Zadeh (1965) visando fornecer um arcabouço matemático para o tratamento de informações de caráter impreciso ou vago. A Lógica Difusa ou Lógica *Fuzzy* é baseada na teoria dos conjuntos nebulosos (conjuntos *fuzzy*), que foi inicialmente construída a partir dos conceitos já estabelecidos de lógica clássica.

Portanto, este é um estudo descritivo e explicativo, que visa apresentar dados referentes ao desempenho dos estudantes de forma individual e em grupo. A abordagem utilizada é quantitativa, pois o resultado é expresso em valor percentual, obtidas após média das simulações realizadas nos sistemas *Fuzzy*. O modelo de acompanhamento de aprendizagem é

ilustrado na Figura 25, que apresenta o cenário, sujeitos, procedimentos e instrumentos de análise de dados utilizados e, em seguida, é descrito cada uma das etapas.

Figura 25 – Modelo Fuzzy para o Acompanhamento de Aprendizagem.



As etapas são:

1. **Entrada:** esta etapa é responsável pela definição das variáveis de entrada e saída com base nas informações obtidas por meio do especialista (professor) da disciplina. As informações foram definidas com base no STI LEIA;
2. **Ferramenta Fuzzy:** etapa responsável pelo mapeamento das variáveis que assumem valores reais (numéricos) em conjuntos fuzzy de entrada (valores linguísticos) e o conjunto fuzzy de saída (valor linguístico) em valores reais chamada de variável linguística. Nesta etapa o sistema apresenta uma base de regras da forma “se-então”. As regras são definidas e expressam o conhecimento do especialista sobre o problema a ser tratado. A máquina de inferência utiliza as regras e os conjuntos *Fuzzy* de entrada para definir qual o valor linguístico da variável de saída, que posteriormente é traduzido para um valor real pelo defuzzificador (WANG; WANG, 1997);
3. **Saída:** etapa responsável pela exportação do valor real (Análise do Desempenho dos Estudantes) para o STI LEIA para gerar o cálculo da média por Turma e ser apresentado na *Timeline* do sistema. Desta forma, o Sistema Fuzzy apresenta o relatório do Desempenho dos Estudantes e o sistema LEIA apresentará relatórios com informações referentes ao Desempenho dos Estudantes por Turma.

Para projetar o sistema e as variáveis linguísticas, foram definidas as variáveis de entrada e saída, assim como o universo de discurso e as definições de cada variável, visando tornar claro o cenário e objetivo a ser alcançado.

Neste caso, as variáveis foram definidas com base nas informações obtidas por meio das informações dos estudantes registradas no sistema que resolverem as atividades de resolução de equação. As informações que estão contidas nos *logs* de atividades são referentes ao **Tempo de Resolução (TR)** utilizado para resolver a equação, onde para cada atividade é atribuído um **Grau de Dificuldade (GD)** (Fácil, Médio, Difícil) pelo professor e o **Status da Atividade (SA)** (Abandonada, Finalizada e Pendente) que é gerado pelo sistema. Desta forma, estas variáveis foram definidas como entrada para o sistema *Fuzzy*.

O Quadro 5 mostra com detalhes as variáveis linguísticas definidas para atender a problemática, além disso, os rótulos e valores linguísticos, o universo de discurso e a descrição de cada item.

Quadro 5 – Descrição das Variáveis Linguísticas do Modelo Fuzzy.

VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS		TERMOS LINGUÍSTICOS	UNIVERSO DE DISCURSO	DESCRIÇÃO
ENTRADA	Grau de Dificuldade (GD)	Fácil	[0 10]	Refere-se ao grau de complexidade dos exercícios propostos, num intervalo de [0 a 10], definido com base em experiências dos especialistas. O grau foi definido com base no grau de relevância de cada um dos níveis, e com base nos requisitos (aprendidos) exigidos dos níveis anteriores.
		Médio		
		Difícil		
	Tempo de Resolução (TR)	Excelente	[0 300]	Refere-se ao Tempo em que os estudantes resolvem os exercícios propostos, num intervalo de [0 a 300], definido com base em experiências práticas. O tempo foi definido com base nos 'times', expresso em segundos, encontrado nos logs de resolução de cada estudante mantido no sistema LEIA.
		Ótimo		
		Bom		
		Ruim		
	Status da Atividade (SA)	Abandonado	[0 10]	Está relacionado ao estado atual de realização das atividades pelos estudantes, num intervalo de [0 a 10], definido com base em experiência dos professores. Neste caso, as equações <i>Abandonadas</i> são as equações que os estudantes trocam durante o processo de resolução da atividade. No entanto, o estudante, só pode 'abandonar' 3 equações. As equações <i>Finalizadas</i> são as equações que foram concluídas com sucesso pelo estudante. As equações <i>Pendentes</i> é a diferença de equações <i>Abandonadas</i> e <i>Finalizadas</i> .
		Finalizado		
Pendente				
SAÍDA	Desempenho do Estudante (DE)	Ótimo	[0 100]	Definida para informar o Desempenho de cada estudante por Turma em relação à realização das atividades desenvolvidas de Álgebra. A ser mostrada num intervalo de [0 a 100].
		Bom		
		Regular		
		Insuficiente		

Para o desenvolvimento desta solução foram utilizadas: a ferramenta MATLAB R2019a® Versão 9.6, e a ferramenta *Fuzzy Logic Toolbox*. Para o modelo, foram utilizados os seguintes parâmetros: a regra do tipo 'mandami', onde a resposta do processo é um conjunto difuso para cada regra. O método 'min', utilizado para ser o conector das regras do sistema. O método de defuzzificação escolhido foi o 'centroid' por ser aderente e simples computacionalmente. Assim totalizando, 3(três) variáveis de entrada, 1(uma) variável de saída e 48 regras (ver Apêndice E).

O processo de inferência difusa envolve a utilização de funções de pertinência, operações lógicas (AND e OR) e estruturas de decisão (IF-THEN). Com o objetivo de formar uma base de regras que atenda o objetivo esperado, as regras foram definidas e validadas diretamente com os especialistas (professores da disciplina). Foram criadas 48 regras que fazem parte do motor de inferência difuso, considerando os três itens das atividades e a saída desejada: GD, TR, SA e DE (ver Apêndice E).

O sistema difuso foi alimentado com os valores de entrada descritos no Quadro 5, as regras foram ajustadas para a máquina de inferência, e assim, foram obtidos os resultados do Desempenho dos Estudantes (DE) e que podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Demonstração do Desempenho dos Estudantes simuladas na Ferramenta Fuzzy.

	TURMA JMM01				TURMA JMM02				TURMA JMM03			
	GD	TR	SA	DE	GD	TR	SA	DE	GD	TR	SA	DE
<i>Estudante 1</i>	2.1	30	10	89	6	300	5	22.1	1	85	6.7	56.1
<i>Estudante 2</i>	3.7	62	7.1	72.6	8	50	10	89	6.7	200	4	11
<i>Estudante 3</i>	4.2	122	7.3	61.6	4	100	10	82.1	3	300	8	51.7
<i>Estudante 4</i>	4.7	107	9.2	61.2	2	60	6	66.2	4.8	210	9.6	50.3
<i>Estudante 5</i>	5.2	181	7.7	59.3	7.4	35	8.6	88.7	9.2	80	9.1	84.5
...
<i>Estudante 35</i>	6.2	301	4.2	10.2	5.7	103	5.8	49.3	3.9	267	6.3	28.3

Posteriormente os dados foram exportados para o STI LEIA foi gerado o Desempenho por Turma (DT) (Tabela 2) sendo: JMM01, JMM02 e JMM03 com 35 estudantes em cada e, posteriormente, os resultados foram importados para uma *Timeline* (Figura 26), considerando os valores das variáveis geradas pela ferramenta *Fuzzy*.

Os resultados gerados pelo módulo *Fuzzy* possibilitaram mensurar o (DE), assim

como, permitir o acompanhamento do seu aprendizado em relação às atividades de resolução realizadas, sendo os resultados expressos em percentual. Neste sentido, ao analisarmos a Turma JMM01, com base nas variáveis linguísticas do Quadro 5, a maioria dos estudantes finalizou as atividades dentro de um tempo considerado 'bom' para cada um dos níveis de dificuldades, gerando um resultado de um aproveitamento (DE) acima dos 60% e o mesmo ocorrendo com a Turma JMM02.

No entanto, o desempenho geral dos estudantes (DE), na turma JMM03, encontra-se abaixo do comparado ao das demais turmas. Isso reflete que a maioria dos estudantes levou mais tempo para resolver uma equação considerada fácil, além do que é estimado para solucionar uma equação de nível médio ou difícil, ou então, não concluíram (abandonaram) um quantitativo de equações maior que 3 (três) permitidas pelo sistema.

Professores e coordenação pedagógica puderam ter acesso ao Desempenho das Turmas (DT) e visualizar os resultados para efeito de diagnóstico, intervenção e comparação. A Tabela 2 apresenta o DT.

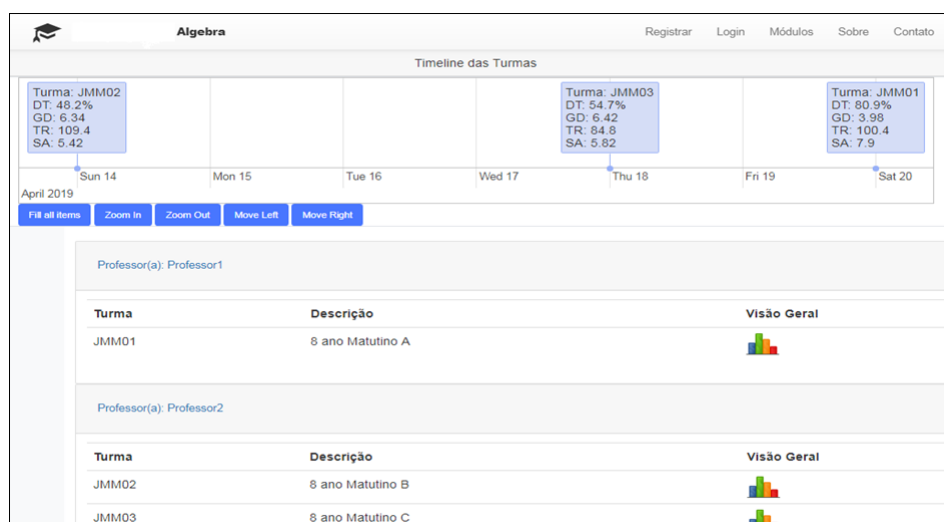
Tabela 2 – Demonstração do Desempenho das Turmas Geradas pelo Modelo Fuzzy no STI LEIA.

TURMAS	GD	TR	SA	DT
<i>JMM01</i>	3.98	100.4	7.9	80.9%
<i>JMM02</i>	6.34	109.4	5.42	48.2%
<i>JMM03</i>	6.42	84.8	5.82	54.7%

Os resultados do DE foram exportados para o STI LEIA, que tratou os dados e gerou o resultado das médias por Turma conforme mostra a Figura 26. Neste sentido, ficou evidente que a turma JMM01 apresenta um DT de 80.9% destacando-se em relação às demais turmas, seguida da JMM03 com 54.7% e em terceiro a JMM02 com DT de 48.2%. Neste contexto, as Turmas JMM02 e JMM03 precisam de uma atenção especial dos professores e coordenação em relação ao processo de ensino e aprendizagem, as atividades devem ser monitoradas e novas estratégias adotadas com a turma para que atinjam um nível desejável de aprovação. A Figura 26 apresenta a tela que é mostrada para os envolvidos na prática de ensino.

A *Timeline* (Figura 26) expressa os resultados obtidos pelo modelo Fuzzy para cada

Figura 26 – Timeline por Turma exibida no STI LEIA.



professor das determinadas turmas. A visibilidade é expressa em percentual, assim, permitindo à coordenação pedagógica atuar de forma pontual e efetiva junto aos professores e pais, tendo como fator principal o aprendizado dos estudantes.

Com os resultados obtidos, tem-se que a tecnologia proposta foi aceita pelos professores e coordenação pedagógica e foi apontada como útil, acessível e de fácil usabilidade.

5.1.3 Estudo 3 - Avaliando o Progresso do Estudante

No terceiro Estudo de Caso, foi realizado um teste controlado do STI LEIA na Escola Estadual Castelo Branco, situada na cidade de Manacapuru – AM, nos dias 02 e 03 de setembro de 2019, com um grupo de 17 estudantes voluntários de duas turmas de 9º ano do Ensino Fundamental, conforme mostra a Figura 27.

O teste seguia o objetivo de verificar e identificar o progresso dos participantes e as interações realizadas. O Quadro 6 mostra o roteiro do teste realizado.

Quadro 6 – Roteiro de Teste do Estudo de Caso.

Dia	Fase	Duração
2 de Setembro	Avaliação Pré-teste no papel	10min
	Sessão com Tutor LEIA	30min
3 de Setembro	Sessão com tutor LEIA	30min
	Avaliação Pós-Teste no papel	10min
	Questionários	10min

Figura 27 – Estudantes da Escola Estadual Castelo Branco Realizando o segundo Estudo de Caso com o Sistema LEIA.



Na primeira sessão foi verificado o nível de conhecimento dos estudantes por meio da resolução de equações de 1º grau, para isso foi realizado uma avaliação pré-teste (ver Apêndice G). Em seguida, todos os estudantes trabalharam sozinhos com o sistema LEIA, que fornecia os exercícios pré-definidos para este Estudo de Caso. Devido ao limite de tempo, os participantes foram desafiados a resolver 3 (três) equações de nível fácil, 3 (três) nível médio e 3 (três) equações de nível difícil que são as mesmas mostradas no Quadro 4, no entanto, sendo possível o estudante pode solicitar uma nova equação caso não deseje realizar a atividade ofertada pelo LEIA.

A segunda sessão iniciou-se com a utilização do sistema STI LEIA. Os dados armazenados no **Modelo do Estudante** da primeira sessão foi importante, pois o sistema ofertou uma equação diferenciando o desempenho individual e isto foi percebido pelos estudantes. Neste contexto, os participantes evoluíam de acordo com seu próprio ritmo de aprendizado.

Após a atividade com o sistema, os estudantes resolveram uma prova de pós-teste (ver Apêndice H), de modo a avaliar se houve progresso no conhecimento, após a utilização do sistema LEIA. Por fim, os estudantes responderam um questionário com base no modelo unificado UTAUT (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*) proposto por Venkatesh et al. (2003) como indicador de aceitação ou rejeição do software.

Os dados deste estudo foram analisados a fim de avaliar o impacto do sistema LEIA nos

ganhos de aprendizagem com base nos resultados dos testes de diagnósticos de habilidades básicas correlacionadas às respostas da pesquisa dos estudantes sobre seu aprendizado e comportamento dentro do sistema. Estes resultados são descritos nos tópicos seguintes.

5.1.3.1 Perfil dos Participantes

De acordo com análise dos dados, participaram do Estudo de Caso 17 estudantes com idade de 14 e 15 anos, sendo 35% do sexo masculino e 65% do sexo feminino.

5.1.3.2 Pré-Teste e Pós-Teste

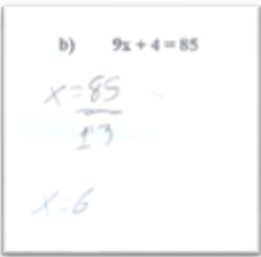
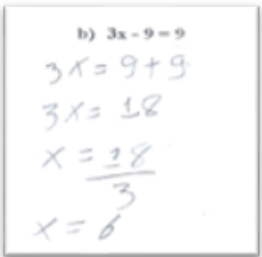
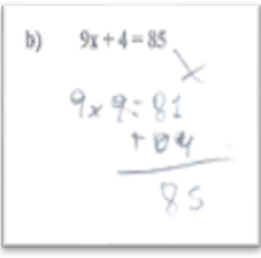
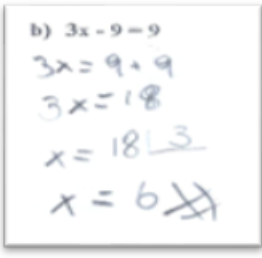
Nas duas sessões foram realizados avaliações de pré-teste e pós-teste, visando medir as habilidades básicas no domínio da Álgebra. O pré-teste (ver Apêndice G) continha 3 equações, sendo cada uma de um nível diferente conforme as mantidas no sistema LEIA.

Do pré-teste para o pós-teste a média do grupo de participantes aumentou de 2,15/10 para 4,70/10. Dois estudantes com maior domínio dos conhecimentos algébricos foram identificados e progrediram um pouco; outros dois conseguiram dobrar a nota no pós-teste. Contudo, o Quadro 7 mostra alguns dos resultados identificados na avaliação das provas de pré-teste e pós-teste.

Pode-se observar com os resultados apresentados no Quadro 7, que o aprendizado dos estudantes envolvidos não se limitou às regras de transformação. Alguns dos estudantes, que muitas vezes desconstruíram seus cálculos no pré-teste, apresentaram seus cálculos no pós-teste conforme os esperados por um professor. Vale ressaltar que alguns estudantes que possuíam domínio começaram a aplicar algumas regras mentalmente.

Devido ao pequeno efeito e a imprecisão de qualquer avaliação, estes resultados devem ser interpretados com cautela, no entanto, tem-se que estes resultados refletem uma importante progressão do aprendizado.

Quadro 7 – Algumas Melhorias no Comportamento dos Estudantes entre as Provas de Pré-teste e Pós-teste.

	Pré-teste	Comentário	Pós-teste	Comentário
Estudante 1		No pré-teste o estudante parece confundir as operações aritméticas dos termos de uma equação.		No pós-teste parece que o estudante seguiu os procedimentos do modelo passo a passo aprendidos no sistema LEIA.
Estudante 2		No pré-teste o estudante tentou solucionar por meio da 'força bruta', testando as possibilidades para se chegar ao resultado final.		O estudante confirma o aprendizado das regras de transformação e estruturação da apresentação do cálculo algébrico.

5.1.3.3 Avaliando os Timestamp do Sistema LEIA

Conforme descrito na Seção 4.4.3, o sistema LEIA salva as ações das atividades dos usuários e, com isso, os resultados obtidos nas duas sessões foram analisadas visando inferir o tempo de interação dos participantes. Neste contexto, foram verificadas as ações dos estudantes conforme os dados descritos na Seção 4.2.2, assim como, o tempo que utilizaram para solucionar as equações (ver Figura 16). Os resultados podem ser vistos na Tabela 3.

Tabela 3 – Tempo Utilizado pelos Estudantes para Resolver Algumas Equações.

	ID Equação	Equação	Tempo (segundos)		
			Máximo	Médio	Mínimo
Sessão 1	1a	$2x=8$	573	360,8824	43
	2a	$9x=18$	903	217,9091	33
	3a	$3x=99$	603	249,3636	73
	4a	$5x+6=46$	530	369,5556	94
	5a	$2x-62=28$	361	221,8571	124
Sessão 2	1b	$7x=55$	630	175,1	38
	2b	$5x-6=64$	279	232	147
	3b	$6(9x-9)=4(8x-8)-5$	703	373	188

Conforme a Tabela 3, o tempo mínimo indica o estudante que mais rápido resolveu cada uma das equações apresentadas pelo sistema LEIA. O tempo máximo caracteriza o estudante que mais tempo levou para solucionar determinada equação. O tempo médio reflete a média do grupo de participantes.

Com base nos resultados é possível inferir que há um aumento de tempo de resolução quando um exercício tem algo novo ou que o cálculo exige mais de um passo para solução como, por exemplo, ao solucionar a equação (1a) em um passo, na equação (2a) o estudante é desafiado a resolver com mais de um passo de solução. No entanto, há uma diminuição no tempo de resolução quando o estudante está acostumado com o sistema (equação 4a e 5a). Além disso, houve uma diminuição do tempo entre a primeira e a segunda sessão para os exercícios que eram semelhantes.

Com o STI LEIA, foi possível acompanhar as tentativas de solução dos estudantes, ou seja, o que funcionou e quais pontos algébricos ofereceram problemas. Conforme descrito na Seção 4.2.2, as ações dos estudantes são detalhadas para o professor. Como isso, tem-se a Figura 28 que mostra as equações solucionadas por um dos participantes, assim como o grau de dificuldade alcançado.

Figura 28 – Registro das ações tomadas por um dos participantes do estudo.

Ações do Aluno	
Nível: Fácil	Nível: Médio
$2x=8$	$5x+6=46$
$x=8/2$ ✔ correto	$2x-62=28$
$x=8-2$ ✘ incorreto	$2x=28-62$ ✘ incorreto
$x=2/8$ ✘ incorreto	$2x=28+62$ ✔ correto
$x=4$ ✔ correto	$x=30/2$ ✘ incorreto
$9x=18$	$x=90/2$ ✔ correto
$3x=9$	$x=45$ ✔ correto
$7x=49$	$8x-9=55$
$7x=55$	$2x-1=65-4x$
	$6x+7=21-4x$

Conforme mostra a Figura 28, na equação “ $2x=28-62$ ” fica evidente que o estudante realizou a transposição do número 62, mas não alterou o sinal conforme a regra matemática. Em virtude disso, o que teria acontecido em um contexto de lápis/papel? O estudante teria

continuado a resolução da equação com uma expressão errada e não teria reforçado o aprendizado do procedimento correto. Com isso, torna-se importante o acompanhamento passo a passo do sistema LEIA.

5.1.3.4 Questionários de Avaliação de Software - UTAUT

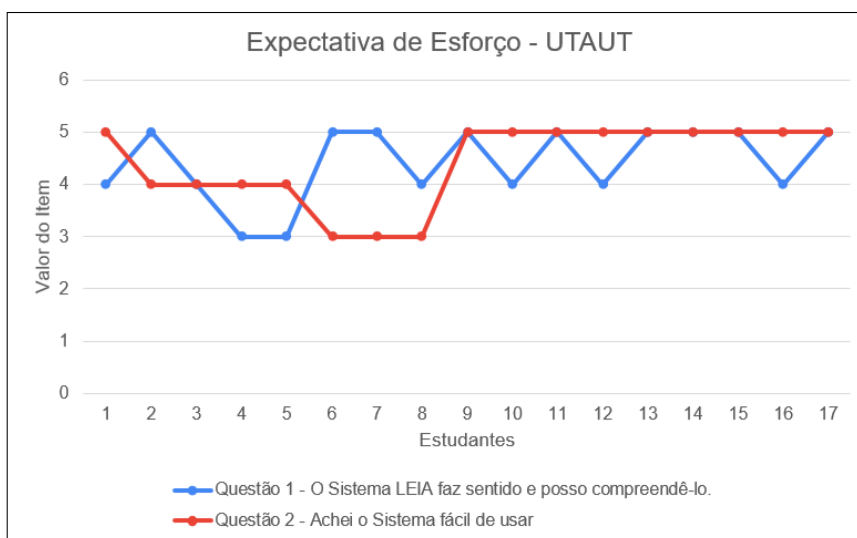
Segundo [Lima et al. \(2017\)](#) o questionário UTAUT é um modelo de aceitação de tecnologia criado por [Venkatesh et al. \(2003\)](#) que incorporou outros modelos como Teoria da Ação Racional (TRA), o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), Modelo Motivacional (MM), a Teoria do Comportamento Planejado (TPB), o Modelo de Utilização do PC (MPCU), Modelo Combinado TAM-TPB, a Teoria da Difusão da Inovação e Teoria Social Cognitiva.

Nessa teoria, os autores determinam quatro construtos como determinantes da intenção de comportamento de uso: a) Expectativa de Desempenho; b) Expectativa de Esforço; c) Influência Social e; d) Condições Facilitadoras. Para este Estudo de Caso, os itens do questionário UTAUT (ver Apêndice I) foram aplicados para medir a Expectativa de Aprendizado (Desempenho), que é um ato em que uma pessoa acredita que o uso do sistema ajudará a obter ganhos de desempenho e Expectativa de Esforço que é um nível de conveniência associado à fácil utilização do sistema.

Esta pesquisa empregou um método de análise descritiva de média e porcentagem. Os procedimentos incluem o cálculo do valor dos respondentes de cada aspecto ou sub-variável, resumindo os valores e calculando o valor médio usando a fórmula $Me = \sum Xi / N$ (valor total xi até n / número de indivíduos), calculando a porcentagem e determinação dos critérios usando as seguintes categorias: Concordo Totalmente com o valor 5, Concordo com o valor 4, Neutro com o valor 3, Discordo com o valor de 2, Discordo Totalmente com valor 1 e determinação da frequência relativa com a fórmula de $RF = F / nx$, onde 100% (frequência obtida / número de respondentes x 100%). A Figura 29, mostra os resultados da avaliação dos estudantes com relação à Expectativa de Esforço.

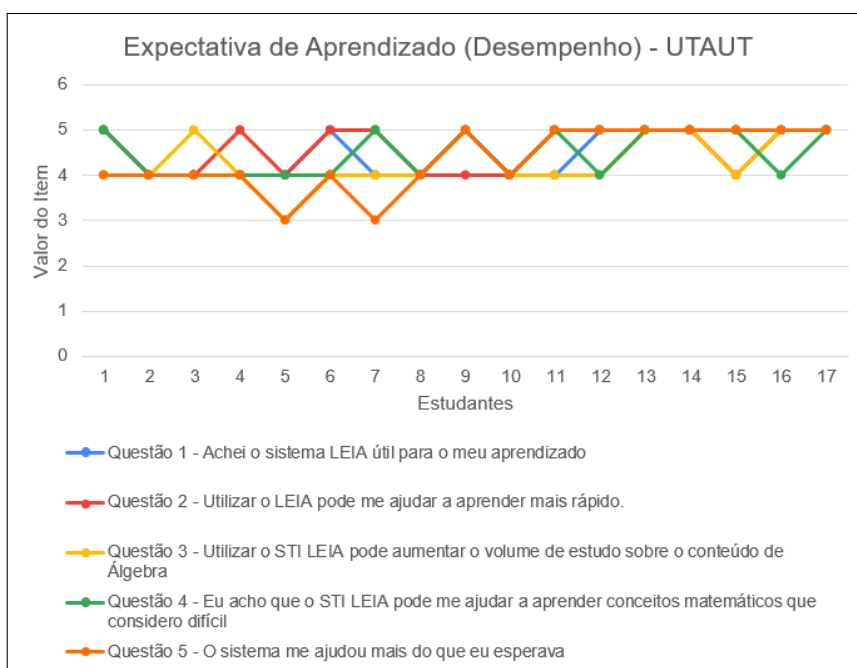
A Figura 29 mostra que nenhum dos estudantes discordaram da facilidade de uso do sistema LEIA. Contudo, com relação à Questão 1 ("O Sistema LEIA faz sentido e posso compreendê-lo.") apenas 2 dos estudantes apresentaram indiferença com relação ao uso.

Figura 29 – Resultado da Expectativa de Esforço.



Assim como na questão anterior, na Questão 2 (“Achei o Sistema fácil de usar.”), 3 (três) dos participantes informaram serem indiferentes com a facilidade de uso do sistema. Por outro lado, com a finalidade de investigar a utilidade do sistema e sua importância para o ganho no desenvolvimento, foi analisado a Expectativa de Aprendizado (Desempenho) por meio do questionário UTAUT. A Figura 30 apresenta os resultados da expectativa obtidos por meio da avaliação dos estudantes.

Figura 30 – Resultado da Expectativa de Aprendizado.



Para todas as questões do questionário de Expectativa de Aprendizagem, os estudan-

tes avaliaram de forma muito positiva, sendo apenas 2 (dois) dos 17 (dezesete) participantes pontuaram a Questão 5 (“O Sistema me ajudou mais do que esperava.”), como não concordando e nem discordando das ações do sistema LEIA.

A análise da confiabilidade dos questionários foi avaliada pelo teste de α Cronbach, que avalia a consistência e a estabilidade do modelo interno usado para quantificar a proposta. Para isso, todos os valores de α Cronbach devem ser maior que o valor limite superior de 0,7 para mostrar que o instrumento possui alta confiabilidade interna. A Tabela 4 mostra as informações obtidas a partir do questionário UTAUT respondido pelos estudantes participantes.

Tabela 4 – Média dos Itens do Questionário UTAUT Pós-teste com Desvio Padrão e valor α Cronbach.

Elemento	Questão	Média	Varição Padrão	α Cronbach
Expectativa de Esforço	O Sistema de tutoria LEIA faz sentido e posso compreendê-lo.	4,41	0,507	1,97
	Achei o Sistema de Tutoria fácil de usar	4,41	0,632	
Expectativa de Aprendizado (Desempenho)	Achei o sistema LEIA útil para o meu aprendizado	4,53	0,265	0,78
	Utilizar o LEIA pode me ajudar a aprender mais rápido	4,59	0,257	
	Utilizar o STI LEIA pode aumentar o volume de estudo sobre o conteúdo de Álgebra	4,29	0,346	
	Eu acho que o STI LEIA pode me ajudar a aprender conceitos matemáticos que considero difícil	4,47	0,265	
	O sistema me ajudou mais do que eu esperava	4,35	0,493	

Estudantes=17; 1 – Discordo Totalmente e 5 – Concordo Totalmente

De acordo com os dados da Tabela 4, os itens de aceitação tecnológica, todos os fatores (Expectativa de Esforço e Expectativa Aprendizado) foram bem avaliados. As impressões gerais do sistema de tutoria estavam fortemente conectadas. Nesta perspectiva, vemos que a Expectativa de Aprendizado se correlacionou positivamente com a pontuação média, mostrando que os estudantes obtiveram bom desempenho ao interagir com o STI LEIA e que puderam aprender mais com ele.

Com a finalidade de realizar uma análise sobre o registro das opiniões dos estudantes sobre o que pode ser aprimorado no sistema para que possa aumentar a motivação no

processo de ensino e aprendizagem, foi incluído no questionário UTAUT a pergunta “*Quais as características você acha importante para melhorar o sistema de tutoria?*”. Assim, alguns comentários são apontados:

- **Estudante 1** – “Estender para equação de 2º grau”;
- **Estudante 2** – “Personalização do avatar (Assistente Virtual)”;
- **Estudante 3** – “Apresentar um exemplo de resolução de equação”;
- **Estudante 4** – “Melhorar a interação do diálogo (avatar)”.

De acordo com a opinião dos estudantes, pode-se verificar que o LEIA necessita de melhorias na interação do diálogo do *Assistente Virtual Pedagógico*. Outra coisa sugerida pelos estudantes foi a personalização das características do Avatar. Também foi destacada a importância do sistema apresentar um exemplo de resolução de uma equação antes de iniciar as atividades.

5.2 Conclusão do Capítulo

Ao se utilizar o STI LEIA, conclui-se que o sistema pode oferecer um aprendizado simples e didático das equações de 1º grau e fornecer apoio para memorizar conceitos básicos. O uso dos Sistemas Tutores Inteligentes é relevante por ter o seu conteúdo construído junto aos especialistas da área, e de poder auxiliar na introdução ou reforço do ensino matemático. Outra característica que cabe ressaltar é a forma como a ferramenta trata cada estudante conforme sua necessidade, respeitando e atendendo ao que se espera na educação.

Para avaliar o sistema proposto, o primeiro estudo de caso mostrou que a combinação das Estratégias de Ensino com o Assistente Virtual, os *feedbacks* e o modelo de acompanhamento passo a passo combinados em um sistema, satisfaz os interesses e motiva os estudantes, desta forma continuar a desenvolver os conhecimentos e avançar na construção do *Pensamento Algébrico*.

Com os resultados do segundo teste tem-se que a combinação de técnicas Fuzzy para estimar o desempenho dos estudantes foi efetivo para apoiar o ensino e, conseqüentemente,

contribuindo para mensurar informações pertinentes a aprendizagem e ao desempenho, neste caso, visando auxiliar na tomada de decisões e suporte para as intervenções, por meio de diagnósticos pontuais. Contudo, a tecnologia proposta teve avaliação positiva pelos professores e coordenação pedagógica como útil e relevante.

O terceiro e último estudo de caso, possibilitou observar as dificuldades dos estudantes e perceber a importância da necessidade de *feedbacks* durante o processo de solução passo a passo. Neste estudo, ficou evidente que os estudantes precisaram das informações de *feedbacks* para poder entender e solucionar a equação. As respostas dos questionários UTAUT dos estudantes mostrou uma aceitação e interesse para utilizar o sistema como método para o aprendizado. Em análise aos *feedbacks* dos participantes, ficou evidente o importante papel das funcionalidades contidas no sistema LEIA.

Capítulo

6

Considerações Finais

Nesta dissertação foi apresentada uma pesquisa abordando o ensino de conceitos básicos de Álgebra com foco na resolução de equação polinomial de 1º grau, apoiado por um Sistema de Tutoria Inteligente denominado LEIA. Logo, este estudo buscou responder à questão de pesquisa definida na Seção 1.2. Tendo em vista a complexidade do problema apresentado nesta dissertação, é possível afirmar que o STI desenvolvido trouxe uma visão mais abrangente do processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos relacionados a Álgebra e a importância para a construção do *Pensamento Algébrico*. A proposta pedagógica é dada pela construção da aprendizagem que é realizada a partir da interação do estudante com seus pares ou com o professor, sendo este processo fundamental na aprendizagem do sujeito (VYGOTSKY, 1991).

Por esses motivos, essa pesquisa buscou abranger duas perspectivas. A primeira delas com foco no estudante, visando o acompanhamento passo a passo da resolução da atividade, objetivando um ensino mediado para identificar as lacunas no conhecimento algébrico e auxílio na construção do *Pensamento Algébrico*. Para isso, o STI LEIA foi modelado, de modo a, engajar os estudantes durante o aprendizado apresentando funcionalidades simples e acessíveis. Além disso, houve a inserção do *Assistente Virtual Pedagógico* para fornecer apoio contínuo sobre os conceitos e procedimentos de solução de equações de primeiro grau e para que o estudante pudesse se sentir acompanhado por alguém mais capaz.

O segundo foco é no professor. Para isso, foi elaborado um ambiente para que o docente pudesse acompanhar o desenvolvimento de cada estudante, de modo a, entender as dificuldades identificadas pelo Modelo Especialista do STI LEIA e, assim, realizar as intervenções pedagógicas necessárias, a fim de, diminuí-las dentro da sala de aula. Contudo, os

Estudos de Casos foram elaborados para que pudesse realizar refinamentos da sua estrutura e funcionalidades.

Tendo em vista o primeiro Estudo de Caso (ver Seção 5.1.1), os resultados mostraram que os estudantes ficaram interessados em continuar os estudos sobre Álgebra utilizando o sistema LEIA. Cerca de 88% dos estudantes apresentaram confiança e satisfação com a abordagem pedagógica de acompanhamento passo a passo e pelo apoio do Assistente Virtual como ferramenta de auxílio para consultas de conceitos relacionados à Álgebra. A investigação da participação do AVP apresentou resultados positivos e, com isso confirma-se que a pesquisa realizada por [Lopes, Netto e Lima \(2018\)](#), mostra que os AVPs são relevantes no apoio ao aprendizado de matemática.

O segundo Estudo de Caso (ver Seção 5.1.2), foi projetado um modelo de acompanhamento de aprendizagem utilizando a teoria de conjuntos *Fuzzy* para mensurar o desempenho dos estudantes em relação ao conjunto das atividades práticas realizadas no sistema. Neste caso, a contribuição está relacionada para obtenção de um diagnóstico inicial para posterior tomada de decisão. Os professores envolvidos na avaliação consideraram o modelo útil para o acompanhamento do aprendizado, deste modo, demonstrando relevância no apoio ao ensino e inovação das práticas ensino com o uso de tecnologias na sala de aula.

No terceiro e último Estudo de Caso (ver Seção 5.1.3), ficou evidente a importância das funcionalidades do sistema. Os estudantes envolvidos se beneficiaram com o sistema proposto, pois apresentaram desenvolvimento entre as provas de pré-teste e pós-teste. Em geral, parte dos estudantes passaram a desenvolver os conhecimentos procedurais na estruturação dos cálculos algébricos; e outros entenderam a diferença dos termos de uma equação (ver Quadro 7). Professores e estudantes envolvidos, demonstraram aceitação e satisfação com relação ao STI LEIA.

Com base nos resultados dos estudos de casos, concluí-se que o objetivo que era auxiliar na construção do Pensamento Algébrico por meio do uso de um Sistema de Tutoria pode ser confirmado, assim como, a relação destes resultados com as teorias sociointeracionistas abordadas. O STI LEIA, quando inserido no contexto do ensino e aprendizagem da Álgebra, desaparece com o papel de professor, dando lugar à figura de mediador, representando um meio para que os estudantes alcancem, por meio da tecnologia, articulando o conhecimento,

engajamento para o aprendizado. Outro sim, o LEIA também fornece auxílio para que o professor possa transmitir a aprendizagem, auxiliando o estudante a avançar no seu próprio processo de aprendizado.

Para validar as concepções e os resultados desta pesquisa foram realizadas publicações em eventos como o SBIE [Lopes, Netto e Lima \(2018\)](#) e [Lopes, Mourão & Netto \(2019\)](#) e [Frontiers in Education: Lopes et al. \(2019\)](#), que estão detalhadas no Apêndice A. A correlação positiva entre os *feedbacks* das avaliações sobre o STI LEIA e o interesse de utilização sugere que o sistema pode preencher as lacunas dos *softwares* educacionais para álgebra, indicando um equilíbrio potencial para incentivar o envolvimento do LEIA no cotidiano na sala de aula e fomentar o crescimento de novas pesquisas.

6.1 Contribuições

Esta pesquisa contribui no campo de Sistemas de Tutoria Inteligente e na Educação Matemática, sendo enumerada nos seguintes aspectos:

1. Aplicação da Zona de Desenvolvimento Proximal no processo de mediação com os estudantes ao realizar as atividades de solução de equação, oferecendo conteúdos específicos, formas de comunicação e conduta;
2. A Asserção da pesquisa de [Lopes, Netto e Lima \(2018\)](#), cujo, o Assistente Virtual Pedagógico é uma ferramenta relevante no auxílio da construção do conhecimento e como método motivacional no contexto da Matemática;
3. Modelagem das Estratégias de Ensino para o contexto de STIs em Álgebra e a modelagem de um Ciclo de Tutoração para o mesmo contexto;
4. Suporte para professores dentro dos Sistemas de Tutorias;
5. Uso de diferentes tecnologias de visualização de informações para apoiar a tomada de decisões pedagógicas.

6.2 Limitações e Trabalhos Futuros

Algumas limitações encontradas são baseadas nas avaliações dos estudantes. Uma delas é a falta de um módulo capaz de explicar a solução de uma equação. Outra limitação, é a interação ativa e pró-ativa do Assistente Virtual, além disso, algumas mensagens de *feedbacks* não estavam claras com relação à alguns problemas enfrentados pelos estudantes.

Como trabalhos futuros, planeja-se resolver as limitações desenvolvendo um componente que intervêm na explicação de como resolver uma equação polinomial de 1º grau: por fatoração, distribuição, de simplificação ou por resolução de uma equação geral. Além disso, existem outras perspectivas para o LEIA. Primeiro, permitir o acesso livre ao sistema por tempo limitado para que as escolas realizem atividades práticas. Segundo, a criação de novas ferramentas para análise dos dados contidos no sistema LEIA para que professores e pesquisadores do ensino de matemática e pedagogos possam estudar e avaliar. Vale ressaltar que com pequenas modificações o STI pode ser adaptado para outras áreas da Matemática.

E por último, pode ser necessário outros estudos como, por exemplo, a integração de princípios de *designer* de jogos para modular os níveis de dificuldades das equação e conhecimento dos estudantes. Além disso, realizar estudos de outras técnicas de IA para personalização e adaptação dos conteúdos didáticos (MIRANDA; MELO; VAZ, 2017) visando aprimorar a abordagem do STI LEIA.

Referências

- ALENCAR, M. A. d. S.; NETTO, J. F. Melhorando a colaboração em um ambiente virtual de aprendizagem usando um agente pedagógico animado 3d. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 28, n. 1, p. 1417. [57](#)
- ALEVEN, V. et al. Developing a teacher dashboard for use with intelligent tutoring systems. *technology*, v. 34, p. 44, 2010. [60](#), [61](#)
- ALJAMEEL, S. S. et al. Development of an Arabic Conversational Intelligent Tutoring System for Education of children with ASD. *2017 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, CIVEMSA 2017 - Proceedings*, p. 24–29, 2017. [33](#)
- ANDRADE, A. de; GIRAFA, L. M.; VICARI, R. M. Uma Aplicação da Abordagem Sociointeracionista de Vygotsky para a Construção de um Ambiente Computacional de Aprendizagem. In: *Simpósio Brasileiro de informática na Educação*. [S.l.: s.n.], 2003. p. 525–534. [30](#), [39](#), [40](#)
- ARCAVI, A. El desarrollo y el uso del sentido de los simbolos. In: *I. Vale, T. Pimentel, A. Barbosa, L. Fonseca, L. Santos, & P. Canavarró (Eds.), Números e Álgebra na aprendizagem da matemática e na formação de professores*. [s.n.], 2005. p. 29–47. Disponível em: http://spiem.pt/DOCS/ATAS{_}ENCONTROS/2005/2005{_}03{_}AA. [36](#)
- ARROYO, I.; ROYER, J. M.; WOOLF, B. P. Using an Intelligent Tutor and Math Fluency Training. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 21, p. 135–152, 2011. [44](#), [51](#)
- BADIN, E.; BORDIGNON, M.; AGOSTI, C. Inteligência artificial aplicada ao ensino de expressões algébricas: Sistema tutor inteligente pat2math. *Unoesc & Ciência-ACET*, v. 8, n. 1, p. 61–68, 2017. [49](#)
- BARBOSA, R. R. *Desenvolvimento de um Calorímetro Utilizando uma Placa de Prototipagem Eletrônica de Hardware Livre para o Ensino de Física*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Maringá, 2016. [40](#)
- BII, P. Chatbot technology: A possible means of unlocking student potential to learn how to learn. *Educational Research*, v. 4, n. 2, p. 218–221, 2013. [68](#)
- BITTENCOURT, I. et al. Um sistema tutor baseado em agentes no domínio da medicina. In: *Anais do Workshop de Informática na Escola*. [S.l.: s.n.], 2007. v. 1, n. 1. [28](#)
- BOOTH, J. L.; KOEDINGER, K. R. Key misconceptions in algebraic problem solving. In: *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. [S.l.: s.n.], 2008. v. 30, n. 30. [20](#)
- CARROLL, W. M. Using worked examples as an instructional support in the algebra classroom. *Journal of educational psychology*, American Psychological Association, v. 86, n. 3, p. 360, 1994. [19](#)

- CHEN, T. et al. Utilization of intelligent tutoring system in mathematics learning. *International Journal of Education and Development using ICT*, Open Campus, The University of the West Indies, West Indies, v. 4, n. 4, p. 50–63, 2008. 32
- CORBALAN, G.; PAAS, F.; CUYPERS, H. Computer-based feedback in linear algebra: Effects on transfer performance and motivation. *Computers & Education*, Elsevier, v. 55, n. 2, p. 692–703, 2010. 58
- COSTA, A. S. da et al. Investigando as dificuldades apresentadas em álgebra por alunos do oitavo ano do ensino fundamental. *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 8, n. 4, 2016. 19, 20, 22
- CURRIE, E. et al. An investigation into the efficacy of avatar-based systems for student advice. *EAI Endorsed Transactions on e-Learning*, Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications, v. 3, n. 11, 2016. 57
- DIAS, P.; SANTOS, L. Práticas Avaliativas para a Promoção da Autorregulação da Aprendizagem Matemática : O Feedback Escrito em Relatórios Escritos em Duas Fases. *Quadrante*, v. 12, 2013. 58
- FONTES, L. M. d. O. *Uma Arquitetura Multiagente de Apoio à Aprendizagem Baseada em Problema*. Tese (Dissertação) — Universidade Federal do Semi-Árido e Universidade do Estado do Rio Grande do Sul, 2013. 41
- FORD, L. Teaching strategies and tactics in intelligent computer aided instruction. *Artificial Intelligence Review*, Springer, v. 1, n. 3, p. 201–215, 1987. 65
- FRALEIGH, J. B. *A First Course in Abstract Algebra, 7th ed.* Reading, MA: Addison-Wesley: [s.n.], 2002. 34, 35
- GIRAFFA, L. M. *Inteligência Artificial Aplicada à Educação: Fundamentos de Sistemas Tutores Inteligentes*. 2001. Disponível em: <<http://tutoresinteligentes.pbworks.com/w/file/fetch/67057956/FundamentosdeITS.pdf>>. 28
- GOULART, R. R.; GIRAFFA, L. Arquiteturas de sistemas tutores inteligentes. *Relatório Técnico – PUCRS*, v. 11, 2001. 28, 29, 30, 31
- GRAESSER, A. et al. AutoTutor: An Intelligent Tutoring System with Mixed-Initiative Dialogue. *IEEE Transactions on Education*, v. 48, n. 4, p. 612–618, 2005. ISSN 0018-9359. 33
- GULZ, A. et al. Building a Social Conversational Pedagogical Agent. *Conversational Agents and Natural Language Interaction*, p. 128–155, 2011. ISSN 1609606183. 33
- HEEREN, B.; JEURING, J. Feedback services for stepwise exercises. *Science of Computer Programming*, Elsevier, v. 88, p. 110–129, 2014. 55
- HEEREN, B.; JEURING, J.; GERDES, A. Specifying rewrite strategies for interactive exercises. *Mathematics in Computer Science*, Springer, v. 3, n. 3, p. 349–370, 2010. 55
- HICKMANN, A.; ASINELLI-LUZ, A.; STOLTZ, T. Piaget e Vigotski: Contribuições para as Relações Interpessoais no Ensino-Aprendizagem do Século XXI. n. July, p. 132–140, 2015. ISSN 2447-8733. 41
- HOLSTEIN, K.; MCLAREN, B. M.; ALEVEN, V. Intelligent tutors as teachers' aides: Exploring teacher needs for real-time analytics in blended classrooms. In: ACM. *Proceedings of the seventh international learning analytics & knowledge conference*. [S.l.], 2017. p. 257–266. 59

- JACOVINA, M. E. et al. How to visualize success: Presenting complex data in a writing strategy tutor. *Grantee Submission*, ERIC, 2015. 59
- JAQUES, P. A. et al. Rule-based Expert Systems to Support Step-by-Step Guidance in Algebraic Problem Solving: The Case of the Tutor PAT2Math. *Expert Systems with Applications*, v. 40, n. 14, p. 5456–5465, 2013. ISSN 09574174. 49, 51
- JESUS, A. de. Sistemas tutores inteligentes uma visão geral. *Revista Eletrônica de Sistemas de Informação*, v. 2, n. 2, 2003. 29, 30
- JUNIOR, L. C. L.; ONUCHIC, L. D. L. R. Ensino e aprendizagem de matemática através da resolução de problemas como prática sociointeracionista. *Bolema-Boletim de Educação Matemática*, v. 29, n. 53, p. 955–978, 2015. 41, 55
- KAFKAS, S.; BAYRAM, Z.; YARATAN, H. Implementation Strategies for “Equation Guru” a User Friendly Intelligent Algebra Tutor. *ICEIS 2006: Proceedings of the Eighth International Conference on Enterprise Information Systems: Artificial Intelligence and Decision Support Systems*, p. 58–65, 2006. 45, 46, 51
- KIERAN, C. The Learning and Teaching of School Algebra. In: *Handbook of research on mathematics teaching and learning: A project of the National Council of Teachers of Mathematics*. New York, NY, England: Macmillan Publishing Co, Inc, 1992. p. 390–419. ISBN 0-02-922381-4 (Hardcover). 36, 37
- KUMAR, M.; EMORY, J.; CHOPPELLA, V. Usability analysis of virtual labs. In: IEEE. *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. [S.l.], 2018. p. 238–240. 74, 76
- LATHAM, A. et al. A Conversational Intelligent Tutoring System to Automatically Predict Learning Styles. *Computers and Education*, v. 59, n. 1, p. 95–109, 2012. ISSN 03601315. 33
- LEITE, M. D.; PIMENTEL, A. R.; PIETRUCHINSKI, M. H. Remediação de erros baseada em múltiplas representações externas e classificação de erros aplicada a objetos de aprendizagem inteligentes. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*. [S.l.: s.n.], 2012. v. 23, n. 1. 23
- LIMA, T. P. et al. Aplicação da Teoria UTAUT no Processo de Implantação de um Sistema para Assistência Estudantil. In: *Rudy Ahrens. (Org.). Caminhos e descaminhos da administração pública no Brasil*. [s.n.], 2017. p. 106–121. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2017/09/E-book_Adm-Vol.-1.pdf#page=73>. 88
- LOPES, A.; NETTO, J. F.; LIMA, D. P. de. O uso de agentes conversacionais no apoio do ensino de resolução de problemas matemáticos: Uma revisão sistemática da literatura. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE*. [S.l.: s.n.], 2018. v. 29, n. 1, p. 1403. 43, 56, 57, 68, 94, 95, 103
- MALVEZZI, W. R.; MOURÃO, A. B.; BRESSAN, G. Uma ferramenta baseada em teoria fuzzy para o acompanhamento de alunos aplicado ao modelo de educação presencial mediado por tecnologia. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 1, n. 1. 78
- MARCZAL, D. et al. Metodologia e software educacional para a investigação e remediação de erros conceituais em matemática. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 24, n. 2, 2016. 21

- MEIJ, H. van der. Motivating agents in software tutorials. *Computers in human behavior*, Elsevier, v. 29, n. 3, p. 845–857, 2013. 57
- MELIS, E.; SIEKMANN, J. ActiveMath: An Intelligent Tutoring System for Mathematics. *ICAISC*, p. 91–101, 2004. 46, 47, 51
- MIRANDA, W.; MELO, F.; VAZ, N. Personalização didática em sistema tutor inteligente conexcionista. *Anais Do Simpósio Unificado De Sistemas De Informação Da Universidade Estadual De Goiás*, v. 1, n. 1, 2017. 96
- MOURA, J. V. Aplicabilidade da Técnica de Sistemas Tutores Inteligentes como Método de Ensino de Matemática. *Maiêutica-Tecnologias da Informação*, v. 2, n. 47, p. 57–65, 2017. 32
- NETO, F. S.; NETTO, J. F. M.; LIMA, D. P. R. itimeline: Uma ferramenta visual para identificação e acompanhamento das interações sociais em ambientes virtuais de aprendizagem. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE*. [S.l.: s.n.], 2017. v. 28, n. 1, p. 1597. 61
- NETTO, J. *Um Tutor Inteligente para o Ensino de Xadrez*. Tese (Dissertação) — Dissertação de Mestrado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1995. 65
- NGUYEN, P. H. et al. Timesets: Timeline visualization with set relations. *Information Visualization*, Sage Publications Sage UK: London, England, v. 15, n. 3, p. 253–269, 2016. 61
- NYE, B. D.; GRAESSER, A. C.; HU, X. Autotutor and family: A review of 17 years of natural language tutoring. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Springer, v. 24, n. 4, p. 427–469, 2014. 56, 68
- PIMENTEL, D. E. *Metodologia Da Resolução de Problemas no Planejamento de Atividades para a Transição da Aritmética para a Álgebra*. 133 p. Tese (Dissertação (Mestrado)) — Universidade Federal de São Carlos, 2010. 20, 22
- PIMENTEL, E. P. et al. Um modelo para avaliação e acompanhamento contínuo da aprendizagem. In: *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 1, n. 1, p. 129–138. 59
- PINHEIRO, P. A. *Introdução ao estudo da álgebra no ensino fundamental*. Universidade Federal de São Carlos, 2013. 20
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. *Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico – 2ª Edição*. [S.l.]: Editora Feevale, 2013. 24
- RAMOS, G. S. Detecção e Remediação de Erros na Generalização de Conceitos Matemáticos por Meio de Sistemas Tutores Inteligentes. In: . [S.l.: s.n.], 2010. p. 96. 28
- SCHOENFELD, A. Report of Working Group 1. In: Office of Educational Research and Improvement (Ed.). *C.Lacampagne, W. Blair, & J. Kaput (Eds), The Algebra Initiative Colloquium, volume 2*. Washington, DC: U.S. Department of Education: [s.n.], 1995. p. 231. ISBN 0160480752. Disponível em: <<http://eric.ed.gov/?id=ED385437>>. 34, 35, 36
- SEFFRIN, H. et al. Patequation: Um objeto de aprendizagem para apoio a prática de resolução de equações. *VLACLO*, 2010. 22

- SHARMA, S. et al. Survey of Intelligent Tutoring Systems : A Review on the Developmet of Expert/Intelligent Tutoring Systema, various Teaching Strategies and Expert Tutoring System Design Suggestions. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, v. 3, n. 11, p. 37–43, 2014. [44](#)
- SILVA, C. R. da et al. Insucesso na Resolução de Problemas de Causados Pela Falta de Domínio na Linguagem Matemática. *III EIEMAT - Escola de Inverno de Educação Matemática*, 2012. [20](#)
- SILVA, E. V. da; NETTO, J. F. de M.; SOUZA, R. A. L. de. Vla dashboard: Um mecanismo para visualização do desempenho de estudantes de matemática no ensino médio. *RENOTE*, v. 16, n. 2, 2018. [60](#)
- SILVA, V. Tutores inteligentes como mediador para o ensino e aprendizagem. *Revista Tecnologias em Projeção*, v. 2, n. 1, 2011. [22](#), [23](#), [28](#)
- SILVEIRA, M. R. A. Aplicação e interpretação de regras matemáticas. *Educação Matemática Pesquisa: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática*, v. 10, n. 1, 2008. [20](#)
- SINGH, A.; RAMASUBRAMANIAN, K.; SHIVAM, S. Introduction to microsoft bot, rasa, and google dialogflow. In: *Building an Enterprise Chatbot*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 281–302. [68](#)
- SKLAVAKIS, D.; REFANIDIS, I. Mathesis: An Intelligent Web-Based Algebra Tutoring School. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 22, n. 4, p. 191–218, 2013. ISSN 15604292. [48](#), [51](#)
- STAR, J. R. et al. Teaching strategies for improving algebra knowledge in middle and high school students. National Center for Education Evaluation and Regional Assistance (NCEE), 2015. [19](#)
- VELOSO, D. S.; FERREIRA, A. C. Uma Reflexão Sobre as Dificuldades dos Alunos que se Iniciam no Estudo da Álgebra. *Revista da Educação Matemática da UFOP*, I, p. 59–65, 2010. [20](#), [22](#)
- VENKATESH, V. et al. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, JSTOR, p. 425–478, 2003. [84](#), [88](#)
- VYGOTSKY, L. S. A Formação Social da Mente. *Psicologia*, p. 96, 1991. ISSN 1809-4651. Disponível em: <http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/vygotsky-a-formac3a7c3a30-social-da-mente.pdf>. [39](#), [93](#)
- WANG, L.-X.; WANG, L.-X. *A Course in Fuzzy Systems and Control*. [S.l.]: Prentice Hall PTR Upper Saddle River, NJ, 1997. v. 2. [79](#)
- WASSERMAN, N. H. Introducing Algebraic Structures through Solving Equations: Vertical Content Knowledge for K-12 Mathematics Teachers. *PRIMUS*, Taylor & Francis, v. 24, n. 3, p. 191–214, mar 2014. ISSN 1051-1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10511970.2013.857374>. [38](#)
- WINKLER, R.; SÖLLNER, M. Unleashing the potential of chatbots in education: A state-of-the-art analysis. In: *Academy of Management Annual Meeting (AOM)*. [s.n.], 2018. Disponível em: <https://www.alexandria.unisg.ch/254848/>. [56](#), [68](#)

WOOD, D.; WOOD, H. Vygotsky, tutoring and learning. *Oxford review of Education*, Taylor & Francis, v. 22, n. 1, p. 5–16, 1996. [31](#), [42](#)

ZADEH, L. A. Fuzzy sets, information and control. *vol*, v. 8, p. 338–353, 1965. [78](#)

ZIELINSKI, F. D. C.; SCHMITT, M. A. R. Uma ferramenta gráfica para suporte à atividade docente no moodle. *RENOTE*, v. 13, n. 1, 2015. [59](#)

APÊNDICE

A

Artigos Publicados

Artigos Aceitos em Eventos/Conferências

- Lopes, A. M. M.; Netto, J. F. M.; Souza, R. A. L.; Almeida, T. O.; Mourao, A. B. & Lima, D. P. R. Improving Students Skills to Solve Elementary Equations in K-12 Programs Using an Intelligent Tutoring System. In: Frontier in Education – FIE, Cincinnati, Ohio. 2019.
- LOPES, A. M. M.; MOURAO, A. B.; NETTO, J. F. M. **Analisando a Aprendizagem da Matemática por meio da Ferramenta Fuzzy**. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE, Brasília, 2019.
- LOPES, A.; NETTO, J. F.; LIMA, D. P. de. O uso de agentes conversacionais no apoio do ensino de resolução de problemas matemáticos: Uma revisão sistemática da literatura. In: *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação – SBIE*. [S.l.: s.n.], 2018. v. 29, n. 1, p. 1403.



Participação em Concurso de Aplicativo

- MOURAO, A. B.; LOPES, A. M. M.; NETTO, J. F. M. **APP MIDOAA: Objeto de Aprendizagem Acessível para Apoiar Estudantes com Deficiência Auditiva**. In: Concurso Apps.edu – CBIE, 2019.

APÊNDICE

B

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

PODER EXECUTIVO
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
 INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

UFAM

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO, SE MENOR

Caros pais ou responsáveis,

Seu filho(a) está sendo convidado(a) a participar da pesquisa “**LEIA: Um Sistema de Tutoria para Apoiar o Desenvolvimento do Conhecimento Matemático por meio da Resolução de Equação de 1º Grau**”, sob a responsabilidade do pesquisador Arcanjo Miguel Mota Lopes, o qual pretende investigar se uma abordagem educacional utilizando um Sistema de Tutoria Inteligente, possibilita o desenvolvimento do conhecimento matemático e melhora o desempenho do estudante na disciplina de Matemática. A participação é voluntária, não recebendo nenhuma vantagem financeira e não tendo nenhum custo, mas caso haja alguma despesa para seu filho relativo a esta pesquisa com algum material, o mesmo será ressarcido. Seu filho(a) será esclarecido(a) em qualquer situação que desejar e estará livre para participar ou recusar-se. O (a) Senhor (a) poderá retirar o consentimento ou interromper a participação do seu filho(a) em qualquer momento da pesquisa, seja antes ou depois da coleta de dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo ou penalidade. A atividade será realizada na própria escola onde seu filho(a) estuda, no horário disponibilizado pela escola, ou em outro horário que o mesmo achar conveniente, tendo em vista que o Sistema é virtual, podendo ser acessado de qualquer lugar e em qualquer momento. Os riscos e desconfortos previstos decorrente da participação podem ser advindos do constrangimento devido a compreensão do objetivo e etapas da pesquisa, ou ainda a dificuldade de aprendizagem dos conteúdos de Álgebra matemática, em que não sejam expostas tais dificuldades pelos estudantes, no entanto o pesquisador ficará atento para evitar a ocorrência de tais situações. A participação na pesquisa contribuirá para entendermos e refletirmos como a mediação tecnológica de um Sistema de tutoria pode auxiliar o estudante no desenvolvimento do conhecimento matemático, com ênfase em Álgebra. Para o estudante, o benefício será a apresentação de uma outra abordagem pedagógica que apoia o processo de ensino e aprendizagem da Matemática. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas a identidade dos participantes não será divulgada, sendo guardada sob sigilo.

Para qualquer informação o (a) Senhor (a) poderá entrar em contato com o Pesquisador: Arcanjo Miguel Mota Lopes – Pós-Graduando – PPGI/UFAM, fone (92) 99133-2230, e-mail: amml@icomp.ufam.edu.br, ou com o orientador DSc. Dr. José Francisco de Magalhães Netto, e-mail: jnetto@icomp.ufam.edu.br.

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias originais: sendo que uma será arquivada pelo pesquisador responsável, e a outra será fornecida ao responsável.

Consentimento Pós-Informação

Eu,, li as informações acima, recebi explicações sobre a natureza, riscos e benefícios do projeto. Autorizo a participação do meu filho (a) uma vez que este é menor de 18 anos de idade e compreendo

Página 1 de 2

APÊNDICE

C

Formulário Estudo de Caso 1

Figura 31 – Formulário de Usabilidade Técnica e Pedagógica.

Questionário de Caracterização do Estudante

1) Idade _____ 2) Gênero () Masculino () Feminino
 3) Você possui dificuldades em aprender Matemática? () Sim () Não
 4) Você Já utilizou algum software para apoiar o aprendizado de Matemática?
 () Sim () Não, em caso positivo, qual? _____
 5) Você conhece ou já ouviu falar dos Softwares de tutoria? () Sim () Não

Questionário de Usabilidade Técnica	5 Muito Satisfeito	4 Satisfeito	3 Nem satisfeito, Nem insatisfeito	2 Insatisfeito	1 Muito insatisfeito
1. Facilidade na Utilização do tutor (sistema).					
2. Quantidade de Feedback fornecidos pelo Sistema.					
3. Resposta das ações dos botões e informações de input.					
4. Possibilidade de Consultar conceitos referentes ao conteúdo de Álgebra por meio do Agente de Conversação.					

Questionário de Usabilidade Pedagógica	5 Muito Satisfeito	4 Satisfeito	3 Nem satisfeito, Nem insatisfeito	2 Insatisfeito	1 Muito insatisfeito
1. Capacidade para testar várias soluções.					
2. Informações dos erros cometidos.					
3. As atividades propostas refletem aos níveis de dificuldade.					
4. Notificação dos erros e conceitos de Álgebra realizados pelo agente de conversação (AVATAR).					
5. O acompanhamento passo a passo realizado pelo Tutor (sistema)					

Quais as características você acha que são importantes para melhorar o sistema de tutoria apresentado?

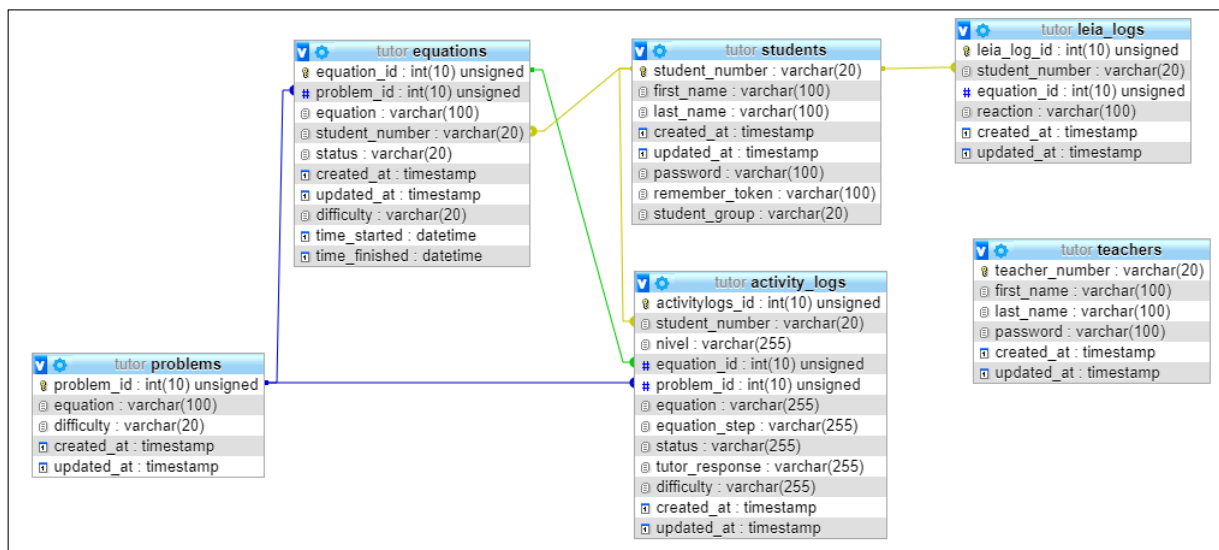
Qual a sua principal dificuldade para aprender Matemática (Álgebra)?

APÊNDICE

D

Tabelas do Sistema LEIA

Figura 32 – Banco de Dados do Sistema LEIA.



APÊNDICE

E

Regras Aplicadas no Modelo Fuzzy

Figura 33 – Regras do Modelo Fuzzy.

1. If (GD is Fácil) and (TR is Excelente) and (SA is Finalizada) then (DS is Otimo) (1)
2. If (GD is Fácil) and (TR is Otimo) and (SA is Finalizada) then (DS is Bom) (1)
3. If (GD is Fácil) and (TR is Bom) and (SA is Finalizada) then (DS is Regular) (1)
4. If (GD is Fácil) and (TR is Ruim) and (SA is Finalizada) then (DS is Insuficiente) (1)
5. If (GD is Médio) and (TR is Excelente) and (SA is Finalizada) then (DS is Otimo) (1)
6. If (GD is Médio) and (TR is Otimo) and (SA is Finalizada) then (DS is Bom) (1)
7. If (GD is Médio) and (TR is Bom) and (SA is Finalizada) then (DS is Regular) (1)
8. If (GD is Médio) and (TR is Ruim) and (SA is Finalizada) then (DS is Insuficiente) (1)
9. If (GD is Dificil) and (TR is Excelente) and (SA is Finalizada) then (DS is Otimo) (1)
10. If (GD is Dificil) and (TR is Otimo) and (SA is Finalizada) then (DS is Bom) (1)
11. If (GD is Dificil) and (TR is Bom) and (SA is Finalizada) then (DS is Regular) (1)
12. If (GD is Dificil) and (TR is Ruim) and (SA is Finalizada) then (DS is Insuficiente) (1)
13. If (GD is Fácil) and (TR is Excelente) and (SA is Pendente) then (DS is Bom) (1)
14. If (GD is Fácil) and (TR is Otimo) and (SA is Pendente) then (DS is Bom) (1)
15. If (GD is Fácil) and (TR is Bom) and (SA is Pendente) then (DS is Regular) (1)
16. If (GD is Fácil) and (TR is Ruim) and (SA is Pendente) then (DS is Insuficiente) (1)
17. If (GD is Médio) and (TR is Excelente) and (SA is Pendente) then (DS is Bom) (1)
18. If (GD is Médio) and (TR is Otimo) and (SA is Pendente) then (DS is Bom) (1)
19. If (GD is Médio) and (TR is Bom) and (SA is Pendente) then (DS is Regular) (1)
20. If (GD is Médio) and (TR is Ruim) and (SA is Pendente) then (DS is Insuficiente) (1)
21. If (GD is Dificil) and (TR is Excelente) and (SA is Abandonada) then (DS is Bom) (1)
22. If (GD is Dificil) and (TR is Otimo) and (SA is Abandonada) then (DS is Bom) (1)
23. If (GD is Dificil) and (TR is Bom) and (SA is Abandonada) then (DS is Regular) (1)
24. If (GD is Dificil) and (TR is Ruim) and (SA is Abandonada) then (DS is Insuficiente) (1)
25. If (GD is Fácil) and (TR is Excelente) and (SA is Abandonada) then (DS is Bom) (1)
26. If (GD is Fácil) and (TR is Otimo) and (SA is Abandonada) then (DS is Bom) (1)
27. If (GD is Fácil) and (TR is Bom) and (SA is Abandonada) then (DS is Regular) (1)
28. If (GD is Fácil) and (TR is Ruim) and (SA is Abandonada) then (DS is Insuficiente) (1)
29. If (GD is Médio) and (TR is Excelente) and (SA is Abandonada) then (DS is Bom) (1)
30. If (GD is Médio) and (TR is Otimo) and (SA is Abandonada) then (DS is Bom) (1)
31. If (GD is Médio) and (TR is Bom) and (SA is Abandonada) then (DS is Regular) (1)
32. If (GD is Médio) and (TR is Ruim) and (SA is Abandonada) then (DS is Insuficiente) (1)
33. If (GD is Fácil) and (TR is Excelente) then (DS is Otimo) (1)
34. If (GD is Fácil) and (TR is Otimo) then (DS is Bom) (1)
35. If (GD is Fácil) and (TR is Bom) then (DS is Regular) (1)
36. If (GD is Fácil) and (TR is Ruim) then (DS is Insuficiente) (1)
37. If (GD is Médio) and (TR is Excelente) then (DS is Otimo) (1)
38. If (GD is Médio) and (TR is Otimo) then (DS is Bom) (1)
39. If (GD is Médio) and (TR is Bom) then (DS is Regular) (1)
40. If (GD is Médio) and (TR is Ruim) then (DS is Insuficiente) (1)
41. If (GD is Dificil) and (TR is Excelente) then (DS is Otimo) (1)
42. If (GD is Dificil) and (TR is Otimo) then (DS is Bom) (1)
43. If (GD is Dificil) and (TR is Bom) then (DS is Regular) (1)
44. If (GD is Dificil) and (TR is Ruim) then (DS is Insuficiente) (1)
45. If (GD is Fácil) and (TR is Excelente) and (SA is Abandonada) then (DS is not Otimo) (1)
46. If (GD is Fácil) and (TR is Otimo) and (SA is Abandonada) then (DS is not Bom) (1)
47. If (GD is Fácil) and (TR is Bom) and (SA is Abandonada) then (DS is not Regular) (1)
48. If (GD is Fácil) and (TR is Ruim) and (SA is Abandonada) then (DS is not Insuficiente) (1)

APÊNDICE**F*****Estratégias de Ensino*****ESTRATÉGIA DE ENSINO 1 – Apresenta Equação**

- SE** 1) Equação para ser apresentada ao aluno, e
2) Equação não apresentada para o aluno

ENTÃO Apresenta equação.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 2 – Escolha Inicial do Nível do Problema

- SE** 1) Equação escolhida para ser apresentado ao aluno, e
2) Aluno ainda não avaliado

ENTÃO Escolha equação de nível fácil.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 3 – Manutenção do Grau de Dificuldade

- SE** 1) Grau de Dificuldade do problema é Fácil, médio ou difícil, e
2) Solução do Aluno está correta, e
3) Aluno resolveu corretamente o número de equações >3 de mesmo nível

ENTÃO Escolha equação de nível maior.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 4 – Registro de Aprendizado do Nível

- SE** 1) Grau de Dificuldade do problema é fácil, médio ou difícil, e
2) Solução do Aluno está correta, e
3) Aluno resolveu corretamente 75% de equações do mesmo nível

ENTÃO Registre o nível como sabido pelo aluno.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 5 – Rememoração da Equação

- SE** 1) Grau de Dificuldade do problema é fácil, médio ou difícil, e
2) Aluno abandonou número de equações > 3 de mesmo nível

ENTÃO Reapresente a equação.

APÊNDICE**G****Avaliação Pré-Teste**

Figura 34 – Avaliação Pré-Teste.

AVALIAÇÃO PRÉ-TESTE	
1) Nome	_____
2) Idade	_____
3) Gênero () Masculino () Feminino	
4) Turma	_____
Turno	_____
Resolva para x, onde:	
a)	$8x = 16$
b)	$9x + 4 = 85$
c)	$5(8x + 6) = 5(6x + 8)$

APÊNDICE**H*****Avaliação Pós-Teste***

Figura 35 – Avaliação Pós-Teste.

AVALIAÇÃO PÓS-TESTE
1) Nome _____
2) Idade _____
3) Gênero () Masculino () Feminino
4) Turma _____ Turno _____
Resolva para x, onde:
a) $8x = 56$
b) $3x - 9 = 9$
c) $3(2x + 1) = 5(5x + 3)$

APÊNDICE

I

Questionário UTAUT

Figura 36 – Questionário de Avaliação UTAUT.

Questionário de Caracterização do Estudante	
1) Idade _____	2) Gênero () Masculino () Feminino
3) Você possui dificuldades em aprender Matemática? () Sim () Não	
4) Você Já utilizou algum software para apoiar o aprendizado de Matemática? () Sim () Não, em caso positivo, qual? _____	
UTAUT – Expectativa de Esforço	
1) O Sistema de tutoria LEIA faz sentido e posso compreendê-lo.	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
2) Achei o Sistema de Tutoria fácil de usar.	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
UTAUT – Expectativa de Aprendizado	
3) Achei o sistema LEIA útil para o meu aprendizado	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
4) Utilizar o LEIA pode me ajudar a aprender mais rápido.	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
5) Utilizar o STI LEIA pode aumentar o volume de estudo sobre o conteúdo de Álgebra.	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
6) Eu acho que o STI LEIA pode me ajudar a aprender conceitos matemáticos que considero difícil.	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
7) O sistema me ajudou mais do que eu esperava.	
() Concordo Totalmente	() Concordo () Nem Concordo e Nem Discordo
() Discordo	() Discordo Totalmente
Quais as características você acha que são importantes para melhorar o sistema de tutoria apresentado?	

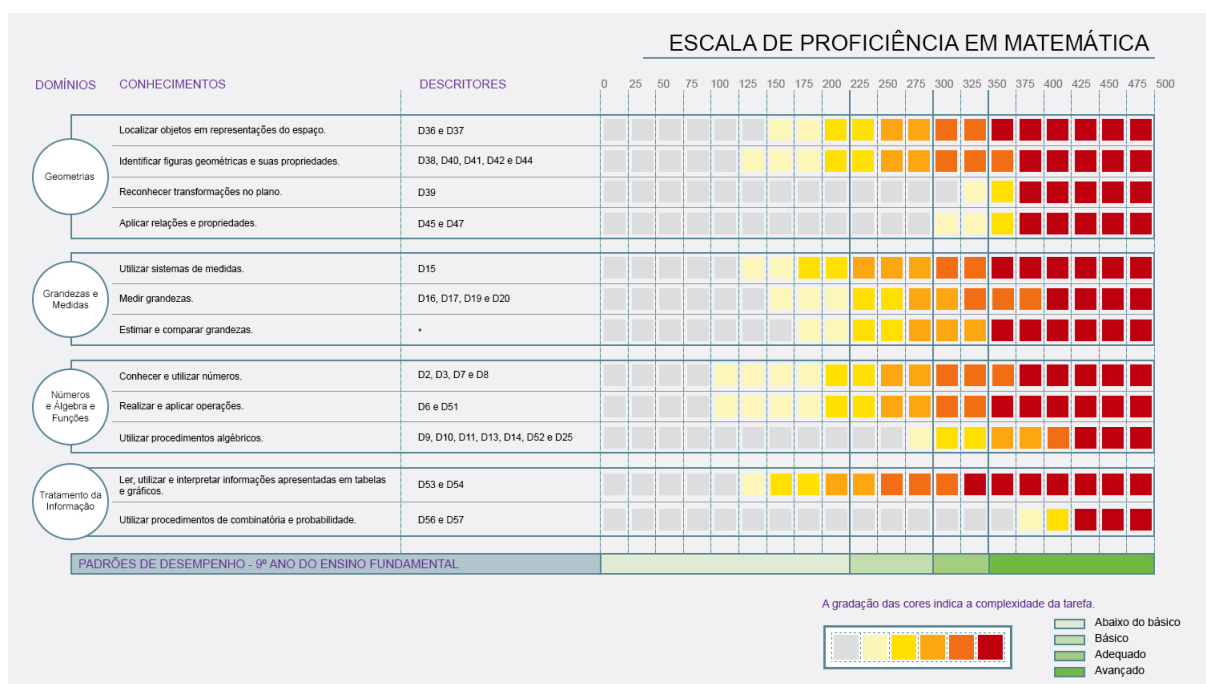
Qual a sua principal dificuldade para entender Matemática (Álgebra)?	

ANEXO

A

Escala de Proficiência em Matemática

Figura 37 – Escala de Proficiência em Matemática.



Fonte: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/saep/matematica/saep_mat_9ef/internas/escala.html>

