

# *REFERENCIAL TEÓRICO CONSTRUTIVISTA PARA AVALIAÇÃO DE SOFTWARE EDUCATIVO*

*Alex Sandro Gomes*  
Centro de Informática  
Universidade Federal de  
Pernambuco (UFPE)  
Caixa Postal 7851 - 50.740-540  
Recife - PE - Brasil  
asg@cin.ufpe.br

---

**Resumo:** *Este artigo apresenta um referencial teórico de base construtivista para orientar a avaliação e o design de interfaces educativas com envolvimento de usuários. Ilustramos a aplicação desse referencial com um estudo de caso no qual analisamos qualitativamente o impacto na aprendizagem que ocorre durante o uso de um software para o ensino da Geometria. Os resultados obtidos permitem concluir sobre a eficácia da interface de um software educativo serve como elemento mediador à construção de situações significativas para a aprendizagem de conceitos específicos.*

---

**Palavras-chave:** *Geometria dinâmica, Aprendizagem mediada, Avaliação de Software educativo.*

---

**Abstract:** *This article presents a theoretical framework of constructivist base for analysis and design of educative interfaces. We illustrate the application of this framework in a case study in which we qualitatively evaluate concept learning during the usage of a dynamic geometry educational software. The results allow to conclude about the interfaces effectiveness to constitute appropriate learning situations for specific concepts learning..*

---

**Keywords:** *Dynamic geometry, Mediated learning, Educational software evaluation.*

## **1. INTRODUÇÃO**

A literatura sobre o software educativo tem criticado a qualidade desses materiais que parecem não atender às expectativas dos profissionais de ensino [18]. O impacto epistemológico do uso desses materiais nos processos de ensino e aprendizagem é menor que o esperado [1] [47] [5]. Dugdale [7] [8] mostra que mesmo o uso intensivo de tecnologia no ensino da Matemática não implica em os alunos desenvolverem competências matemáticas que são empregadas em contexto distinto do qual houve a instrução. Esses resultados contrapõem-se a evidências de que o uso de materiais concretos favorece a aprendizagem da Matemática [1] [48] [16]. Um dos motivos dessa ineficácia pode ser o fato do design de suas interfaces considerar poucos aspectos do processo de aprendizagem, privilegiando aspectos estruturais das interfaces. Para a

criação de interfaces educativas, como será observado, faz-se necessário que o design seja orientado a aspectos do processo de aprendizagem dos conceitos. Atualmente, poucas teorias de interação humano computador (IHC) abordam a aprendizagem de conceitos específicos por parte dos usuários [48] [2].

Neste artigo propomos um referencial teórico que torna explícito o impacto na aprendizagem do uso de interfaces educativas. Ilustramos sua aplicação com a análise qualitativa do impacto na aprendizagem de conceitos geométricos ao observarmos o uso do software de ensino de geometria Cabri. Na seção 2 discorremos sobre a construção de sentido de conceitos matemáticos, posicionando nosso referencial na literatura sobre construção de significado. Na seção 3 fazemos uma revisão da literatura sobre a aprendizagem de conceitos

geométricos. Já na seção 4 apresentamos nosso referencial construtivista, o qual utilizamos para avaliar qualitativamente a aprendizagem que emerge do uso de softwares educativos. A metodologia de avaliação de interfaces aqui proposta difere da metodologia de inspeção, classificação e mesmo da avaliação de softwares educativos [39] [3] [17], pois analisa a qualidade da interface a partir da observação, coleta e análise de dados de usuários usando a interface. Na seção 5 descrevemos a utilização do referencial com a análise de cinco tentativas de uma dupla de alunos resolvendo um problema de geometria plana com o Cabri. Em seguida, na conclusão, discutiremos como o referencial permitiu verificar o impacto na aprendizagem da interface e os desdobramento de sua aplicação no design de interfaces educativas.

## 2. A CONSTRUÇÃO DE SENTIDO DE CONCEITOS

### MATEMÁTICOS COM O USO DE MATERIAIS

A relação entre o uso de materiais pedagógicos e a aprendizagem da Matemática vem sendo analisada há muito tempo no campo da Educação Matemática [55] [4] [9] [10] [11] [21] [37]. No início dos anos setenta, Bishop [55] já explorava as relações entre o uso de instrumentos e a avaliação subsequente a um teste de habilidades espaciais. O autor mostrou que a experiência anterior de uma criança com material pedagógico poderia promover diferenças de performances da capacidade espacial. No entanto, esses estudos trouxeram resultados pouco conclusivos. A esse respeito, Clements e Battista [4], em um artigo sobre a aprendizagem da Geometria, mostram que o uso de materiais concretos facilita a emergência de sentido para os conceitos matemáticos. Esses autores mostram que o uso de materiais contribui para melhorar a qualidade do processo de aprendizagem da Matemática mesmo junto a alunos mais velhos.

Ainda no contexto do ensino da geometria, Schoenfeld [44] afirma que na interação entre atividades pragmáticas, ou empíricas, e atividades dedutivas, ambas reforçam-se mutuamente. A dicotomia entre empirismo e dedução no quadro de ensino da Geometria seria uma falsa dicotomia. O autor observa que parte dos alunos considera os métodos dedutivo e empírico como domínios separados, com suas especificidades para estabelecer a validade de um resultado. No final do primeiro ano do ensino médio, a maior parte dos alunos são “empiristas inexperientes”, para os quais a resolução de problemas de construção com régua e compasso seria apenas uma seqüência de tentativa e erro. Ainda segundo o autor [44], a relação entre atividade com material pedagógico e a construção dos conhecimentos geométricos repousa sobre o reconhecimento pelo aluno da existência de um domínio de referência e de uma relação entre essa referência e o objeto matemático, tendo sido veiculado pelo material. Essa analogia na relação entre o real e o pensamento conduz a supor que o indivíduo tem uma compreensão sólida da significação dos objetos e procedimentos do domínio de referência e relações entre eles. Se o sujeito compreende a natureza da abstração

simbólica do sistema de conjunto, então deveria ter uma compreensão sólida dos símbolos e procedimentos no sistema simbólico. Além disso, se ele compreende as estruturas em diferentes domínios simbólicos de representações; e se percebe o morfismo estrutural entre essas representações, então o mesmo deveria ser capaz de fazer abstração da idéia matemática subjacente.

Meira critica esse modelo [32] [33] [34] [35]. Suas restrições abarcam notadamente as funções das representações exteriores. O autor analisou como a produção de representações de materiais integra-se na atividade de resolução de problemas com respeito ao conceito de função de primeiro grau. O autor observou as atividades de resolução junto a nove (09) pares de alunos. Todos os pares receberam problemas parecidos, mas havia três diferentes tipos de instrumentos mediadores para ajudar a resolver os problemas. O primeiro instrumento era um conjunto de duas polias solidárias de diferentes diâmetros, pesos e cordões; o segundo instrumento utilizado era uma ferramenta com pesos e molas no limite de suas elasticidades. O terceiro instrumento foi um programa de computador que enviava um valor de saída para cada valor informado na entrada, segundo uma função afim. Os alunos não podiam acessar a definição dessa função.

Durante as sessões de resolução de problemas, muitos alunos representaram esses valores em tabelas. Os alunos puderam manipular os dados experimentais relativos aos dispositivos físicos para tentar encontrar a solução dos problemas envolvendo funções lineares. O autor observou que as tabelas, além de seu papel auxiliador no tratamento cognitivo da comunicação durante a atividade, tiveram também um papel importante na organização global da atividade dos alunos. Além disso, a relação entre a representação (sua produção e seu uso) e a atividade ela mesma é de natureza dialética. As representações desenvolvidas no papel tinham a função de apoiar o sujeito ao modelar, ao mesmo tempo em que essas representações eram modeladas pela atividade. Meira coloca em paralelo a função das representações internas e externas. Não seria possível falar em uma relação biunívoca, pois as duas representações são tomadas como fazendo parte de um mesmo plano.

Na seção a seguir apresentamos a literatura específica sobre aprendizagem de conceitos geométricos e o uso de softwares educativos.

## 3. A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS GEOMÉTRICOS E O USO DE SOFTWARE EDUCATIVO

Os primeiros sistemas da Geometria dinâmica (SGD) surgem no final dos anos 80 concebidos para o ensinamento e aprendizagem específica da Geometria Plana. Esses permitem aos utilizadores manipular dinamicamente desenhos sobre a tela do computador [6]. Na literatura sobre a eficácia do uso dos SGD diverge. Nesse sentido, Clements e Battista [4] sintetizaram os resultados: “*several findings*

*are intriguingly consistent across studies using different computer environments. First, researchers and teachers consistently report that in such context students cannot hide what they do not understand. (...). Second, at least at the high school level, students can become confused regarding the purpose of different components of a course; a single location for computer work, discussion, and lecture may alleviate this confusion. (...). Third, evaluation of learning in such environments must be reconsidered, as traditional approaches did not assess the full spectrum of what was learned; in some cases, these approaches made little sense.” (p. 454)*

Durval afirma que os sistemas de geometria dinâmica têm uma certa superioridade com relação ao uso de lápis e papel, e ele justifica pelo fato desse tipo de sistema dissociar a intenção de traçar e a produção do desenho [9] [10] [11]. O que quer dizer que os sujeitos são solicitados a explicitar uma propriedade geométrica antes de traçar um objeto sobre a tela.

Yerushalmy e Chazan [50] [51] analisam a atividade com o software *Geometry Supposer*. Este sistema permite que os alunos construam desenhos a partir da enunciação das propriedades geométricas; os alunos não são então mais dependentes de procedimentos indutivos associados a manipulações durante as construções. O argumento principal aqui é que a aprendizagem de conceitos geométricos seria facilitada pelo fato das construções acontecerem de maneira direta a partir da enunciação das propriedades geométricas do desenho. As ações dos usuários vão ser baseadas sobre aspectos geométricos formais.

O *Geometry Supposer* permite escolher uma forma primitiva, como um triângulo ou um quadrilátero (segundo o programa específico), e de executar operações de medidas e de construção geométrica sobre ele. O programa registra a seqüência de construções e pode executá-lo ainda sobre outros triângulos e outros quadriláteros automaticamente. Então os estudantes podem explorar a generalidade das conseqüências de construções. Os resultados de pesquisa indicam que o *Supposer* pode ser utilizado eficazmente na aprendizagem da Geometria [4].

O Cabri Géomètre aparece em um contexto institucional diferente [25]. Os trabalhos iniciais realizados sobre o Cabri procuraram abordá-lo enquanto ferramenta no processo de ensino, considerando-o constituinte do meio didático. Para esses autores a ferramenta informática apresenta especificidades muito fortes, tendo incidência sobre a conduta dos alunos e as aprendizagens potenciais. Isto se deveria ao fato do computador realizar uma mediação específica dos saberes.

Alguns trabalhos trazem o fato de que o Cabri coloca em evidência uma dicotomia esquecida pelo ensino atual da geometria; entre dois elementos teóricos ligados ao conceito de objeto geométrico: o desenho e a figura. A distinção entre ambos não é muito complexa e, segundo Durval, suas definições são compartilhadas pela maior parte dos pesquisadores na área. Durval distingue a figura do desenho dizendo que “a figura é objeto da teoria

enquanto desenho é uma modelização sobre uma folha de papel, uma tela de computador ou sobre areia; o desenho é um modelo da figura.”.

Laborde [22] afirma que “*Drawing are no longer stereotypes, critical cases can be visualised, a geometrical situation can be considered, a necessary condition drawing preserving the expected properties.*”. As figuras correspondem a uma classe de objetos que conservam certas propriedades: “*Another element of the complexity of the notion of figure derives from its intended and implicit generality: a figure does not refer to one object but to an infinity of objects. What is invariant in this class of objects are the relations between the objects.*”. Laborde e Capponi [29] acrescentam que a figura geométrica consiste na aprendizagem de um referente dado a todos os desenhos. Ela é então definida como um conjunto de pares formados por dois termos. O primeiro termo sendo a referência, o segundo sendo um dos desenhos que a representam.

A contribuição efetiva do Cabri se vê justificada, em parte, porque ele permite a mobilização de aspectos tradicionalmente esquecidos do ensino da geometria. Ele permite colocar em evidência aspectos variantes de uma figura pela visualização de numerosos desenhos, tendo as mesmas propriedades geométricas. Segundo Laborde e Capponi [29], a invalidação pelo deslocamento é a principal característica do Cabri. Na construção de metáforas para construir o Cabri, acrescentam-se propriedades aos objetos geométricos. Dito de outra forma, a interface Cabri não é sem conseqüência à aprendizagem de conceitos geométricos. Um segmento deslocado não é mais simplesmente um segmento, pois um segmento não tem a propriedade de ser manipulável.

Laborde e Capponi [29] analisaram alunos de 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> séries resolvendo problemas com o Cabri resolvendo problemas com Cabro. Observaram a ausência de correlação entre a desqualificação dos procedimentos do desenho com estratégias empíricas, sem análise geométrica, e a tomada de consciência pelos alunos da necessidade da passagem da Geometria para resolver problemas. Eles observaram muitos procedimentos empíricos na interação dos alunos com o Cabri desenho, sem referência ao raciocínio geométrico abstrato.

Pratt e Ainley [40] mostraram igualmente como as características do Cabri influenciam a construção de uma compreensão sobre as construções geométricas. Eles concluem que a manipulação direta de certos elementos da interface permite conceber uma construção como sendo um conjunto de desenhos e portanto mais próximo da definição teórica das figuras geométricas.

Hölz [19] mostrou que os deslocamentos e modificações da figura permitem a emergência de conceitualizações suplementares, notadamente para a compreensão, ao longo do tempo, das deformações de figuras. O Cabri engendra, junto aos alunos, estratégias particulares. O autor analisa dois componentes de domínio epistemológico de validade do Cabri. Em primeiro lugar, a

natureza de sua interface fenomenológica; em segundo lugar, analisa as conseqüências possíveis sobre a conceitualização resultante dos alunos. Em particular, é investigado o efeito que o ‘*drag mode*’, ou deslocamento de figuras, produz na resolução de problemas geométricos familiares, descrito como “estático”. O autor distingue dois tipos de estratégia: estático e dinâmica. A estratégia dita estática não emprega movimentos nas diferentes partes do desenho. Por outro lado, a estratégia dita dinâmica é baseada nas deformações das figuras para resolver os problemas.

Nota-se que os trabalhos conduzidos sobre a contribuição dos SGD à aprendizagem de Geometria mostram que eles facilitam a emergência de conceitos geométricos. De uma maneira geral, os trabalhos tendem a concluir que a estrutura de um sistema particular determina as características da “geometria” que se desenvolve com esse sistema. Laborde [22], por exemplo, reconhece que as características de um SGD particular podem afetar o processo de resolução de um problema. Yerushalmy e Chazan [50] [51] concluem que a aprendizagem vivida pelos alunos parece ultrapassar os objetivos previstos na criação do software, pois os alunos reinventam novas definições, fazem conjecturas, colocam problemas significativos e os respondem. Mais especificamente sobre o Cabri, observa-se que os objetos podem ter funções diferentes das funções intrínsecas esperadas pelos designers. As funções assim constituídas favorecem a emergência de estratégias idiossincráticas de resolução de problemas. Todas essas opiniões mostram, portanto, que a interface dos SGD não é neutra, nem transparente. Considerando que o Cabri não é uma metáfora perfeita para os objetos geométricos. Levando em consideração a complexidade epistemológica subjacente a seu funcionamento, imaginamos que uma análise do tipo fidelidade epistemológica, proposta por Schoenfeld [45], não parece servir para analisar a construção de sentido de conceitos geométricos a qual ocorre no uso desse sistema. Esta conclusão nos permite formular perguntas sobre o tipo de conceitualização que emerge do uso de interfaces educativas. Propomos a seguir um referencial teórico que nos permite analisar e tornar evidente os conhecimentos geométricos que são mobilizados no uso de uma interface.

#### 4. REFERENCIAL CONSTRUTIVISTA PARA AVALIAÇÃO DE INTERFACES EDUCATIVAS

Utilizar um modelo construtivista de base piagetiana no design e na análise de interfaces educativas implica assumir que as ações dos usuários são previamente organizadas por esquemas mentais, estruturas que representam conhecimentos e viabilizam a organização das ações [41] [42]. Há duas vantagens em adotar tal referencial teórico: a existência de uma extensa tradição de pesquisa sobre o processo de aprendizagem [12] e a existência de construtos importante à realização dessa análise [43] e uma definição coerente do conceito de conceito. Assume-se ainda o princípio de que os indivíduos desenvolvem-se mediante adaptações progressivas de esquemas mentais a novas situações.

Para criar um modelo que ora descrevemos, adotamos o modelo de esquema mental proposto por Vergnaud [49], o qual permite descrever a organização das ações e identificar, por meio de inferências, os elementos e a dinâmica internos dos esquemas mentais. O autor propõe que a representação interna a um esquema é composta de informações acerca da realidade que rodeia o usuário e do uso de artefatos (regras de ação), objetivos e conhecimentos identificáveis como científicos, mesmo que implícitos e não explicitáveis pelos usuários (invariantes). A regras são conhecimentos acerca de: (i) aspectos da estrutura de problemas a serem resolvidos, (ii) característica, funções e propriedades do artefato escolhido, (iii) aspectos subjacentes à escolha de um determinado artefato, ou ainda (iv) aspectos subjacentes a uma interação social. Os invariantes são conhecimentos que correspondem a conceitos ou propriedades de conceitos de uma teoria de referência. No estudo de caso que conduzimos, são colocados em evidência vários invariantes acerca de conceitos geométricos.

Para estabelecer de forma coerente uma relação entre a adaptação dos usuários às interfaces e a consecutiva aprendizagem, propusemos em um trabalho anterior um modelo que articule as dimensões material e cognitiva da atividade com o uso de artefatos (instrumentos), como ocorre no uso de interfaces [15]. Para tanto, é necessário analisar as ações dos usuários com as interfaces como sendo ações instrumentais, o que implica na adoção do conceito de instrumento conforme a teoria da gênese de instrumentos [43]. Segundo estes autores, um instrumento existe quando um esquema mental organiza a ação com um artefato (parte de uma interface, por exemplo). Artefatos, materiais ou virtuais, são meios para atingir um objetivo. Esquemas especializam-se ao uso de artefatos particulares. Esta definição não leva em consideração os elementos das representações internas dos esquemas e sua dinâmica interna [49]. Como este não é incompatível com a definição de instrumento, temos a possibilidade de redefinir a noção de instrumento tal como proposta em [43]. Assim, substituímos a definição original de esquema que figura no conceito de instrumento, a versão de esquema definida por Piaget, adotando o esquema definido em [49] na constituição de um novo conceito de instrumento. Adotamos um modelo de esquema de ‘ação instrumental’ que toma como base a noção de esquema proposto em [49] para definição de um novo conceito de instrumento. A partir dessa nova definição do conceito de instrumento, podemos analisar a ação associando aspectos do uso da interface a dimensões da aprendizagem de conceitos específicos.

O uso de interfaces educativas é analisado em duas etapas. Em primeiro lugar, analisa-se a adaptação dos usuários à interface, processo denominado de gênese instrumental. Neste caso, analisamos a organização do esquema mental e os aspectos da estrutura do artefato. Num segundo momento, analisa-se a aprendizagem que ocorre durante o seu uso.

Para fins da avaliação de softwares educativos, os elementos de uma interface são tratados como artefato e integram instrumentos. A emergência de instrumentos particulares favorece a aprendizagem de conceitos específicos. Um software educativo é tão melhor para a aprendizagem de um usuário quanto maior for o número de propriedades de conceitos que seu uso faz emergir nos usuários.

Em uma publicação recente, Gomes *et al.* [54] demonstra como é possível avaliar aprendizagem resultante da interação do usuário com uma interface. Os autores adotam o paradigma construtivista e articulam com a Teoria dos Campos Conceituais proposta por Vergnaud [49]. Essa teoria define um conceito como sendo uma tríade de conjuntos de conhecimentos: de invariantes, ou propriedades dos conceitos; de sistemas de representações; e de situações, a ser dominada pelos aprendizes. A partir dessa definição, propõe-se uma forma de avaliar uma interface educativa por meio da análise da aprendizagem. Essa análise é um teste de usabilidade com foco no efeito do uso de uma interface sobre a aprendizagem de conceitos específicos.

Nesse estudo, os autores mostram a partir da análise da interação que, interfaces criadas para o ensino de matemática podem evocar apenas uma pequena quantidade de propriedades de conceitos durante o uso. Esse resultado evidencia o potencial de materiais para influir na emergência de situações didáticas significativas, sendo relevantes quando facilitam a manifestação de um grande número de situações que darão significado a conceitos matemáticos [14]. Os resultados mostram que um software fechado garante a exibição de poucas situações relacionadas com um conceito específico. Esse tipo de teste de usabilidade permite mapear o campo conceitual que, potencialmente, o software auxilia a construir ao participar das atividades docentes.

A realização do teste obedece a um paradigma experimental e qualitativo de pesquisa. Dados são coletados e analisados segundo a unidade básica: ação mediana. Em geral, definimos uma unidade de análise como sendo uma porção da atividade que corresponde à execução de uma tarefa facilmente identificada e delimitada pela determinação de objetivos, meios e fins, início e término. Uma unidade de ação está metodologicamente associada a um esquema de ação. Uma forma prática de definir os limites dessa unidade de análise seria estabelecendo cortes nos protocolos que pudessem ser descritos em termos de organizações invariantes, sendo este a definição construtivista de esquema. São apresentadas as unidades de análise no nível da ação e dos invariantes (conteúdo da ação).

Cada ação mediana é associada a um esquema instrumental que corresponde a uma linha da tabela de protocolo. Um esquema mental pode ser descrito de duas maneiras: sua organização e seu conteúdo. A análise do conteúdo ocorre pela identificação dos valores dos elementos que o constituem (regras de ação e invariantes). As linhas do protocolo contêm os elementos que aparecem na ação dos usuários. A análise do esquema instrumental

permite sistematizar a organização do esquema mobilizado durante as ações com as interfaces educativas. Assim, é possível comparar diferentes momentos da evolução de um dado esquema.

A codificação das ações é a primeira etapa do processo de análise. A partir desta, é gerado um protocolo de análise. Ações distintas e consecutivas são armazenadas em linhas diferentes e sucessivas da tabela do protocolo. Cada ação é decodificada em uma série de elementos. Uma primeira informação é uma descrição básica da ação esperada, isto é, descreve-se a tarefa que é executada na unidade de análise da ação correspondente. Na primeira coluna (TAREFA), coloca-se uma breve descrição da ação que é esperada em termos de objetivos; por exemplo, 'traçar retas paralelas' com um software para o ensino de geometria. A análise do conteúdo dessa coluna permite comparar a ação observada com a ação realizada.

Na segunda coluna da tabela (C/E), colocamos uma informação acerca da avaliação do procedimento executado. Um passo pode ser correto (C) ou errado (E). Essa segunda variável corresponde a uma avaliação da ação para a resolução de uma tabela. Ela pode receber os valores: verdadeiro e falso. Nas colunas seguintes são descritos aspectos do INSTRUMENTO que emerge no momento da ação do usuário. Descreve-se sua ORGANIZAÇÃO, em termos da descrição de um esquema que explicita como o usuário usa a interface e o ARTEFATO utilizado na ação mediana. Na Tabela 1 apresentamos a organização das informações sobre a ação. Por uma questão de espaço, a colocamos aqui na direção horizontal.

Tabela 1: Estrutura das tabelas de análise de dados contendo os elementos teóricos que permitem analisar a ação.

Tarefa			
Certo/Errado			
Instrumento	Organização		
	Artefato		
Função do artefato			
Invariante			
Regra			

Para realizar uma análise da aprendizagem, faz-se necessário inferir acerca dos INVARIANTE (teoremas-em-ato) que são subjacentes às ações e as REGRAS de utilização dos artefatos. A análise da regularidade desse último elemento permite a análise da adaptação dos instrumentos por parte do usuário. A ação mediana é decodificada nesses elementos básicos e a análise da contribuição das interfaces educativas à aprendizagem ocorre em dois níveis. Em primeiro lugar, analisa-se a adaptação dos usuários à interface, processo denominado de gênese instrumental. Nesse caso, são analisados: a organização do esquema instrumental e os aspectos da estrutura do artefato (função e propriedades do artefato para o usuário,

assim como sua estrutura). Num segundo momento, analisa-se a aprendizagem mediada. Após a realização de um teste, os dados podem ser avaliados sob duas vertentes. Pode-se avaliar a adaptação do usuário à interface ou o efeito do uso à aprendizagem. A primeira denomina-se análise da gênese instrumental e a segunda denomina-se análise da aprendizagem mediada [15]. Analisam-se as ações dos usuários com as interfaces como sendo ações instrumentais, o que implica na adoção do conceito de instrumento assim como definido em [43]. Busca-se entender a relação que há entre a estrutura das ações sucessivas com uma interface (esquemas mentais) e a aprendizagem. Essa modelagem é orientada pela estrutura dos esquemas mentais [15].

Analisa-se a gênese instrumental por meio do acompanhamento das transformações dos elementos constituintes dos instrumentos: artefatos e esquemas. Para fins de análise da gênese instrumental, nos interessa inferir sistematicamente acerca da FUNÇÃO DO ARTEFATO no contexto de cada ação sucessiva com um instrumento.

O desenvolvimento instrumental ocorre quando há transformações materiais do artefato, ou quando ocorrem adaptações do esquema mental associado a esse artefato. Esse processo descreve a adaptação dos sujeitos à interface. Há dois processos distintos de gênese instrumental: instrumentação e instrumentalização. O primeiro caso acontece quando ocorrem mudanças do esquema mental e, o segundo, quando há mudanças no artefato.

No segundo caso, a análise da instrumentalização, ocorre acompanhando-se as transformações das variáveis relacionadas com o artefato que constitui o instrumento: função e propriedade do artefato, regras de ação com o artefato, e a própria estrutura do artefato usado. Mudanças de valores dessas colunas em diferentes momentos expressam desenvolvimento cognitivo e a apropriação do usuário à interface. A análise instrumental descreve desenvolvimentos cognitivos mas ainda não descreve aprendizagem. A análise da aprendizagem de conteúdos ocorre mediante análise dos invariantes que são mobilizados em cada uma das tentativas de ação com os artefatos. É possível criar uma representação detalhada da conceitualização que emerge com frequência quando do uso de uma interface educativa. Ao avaliar a aprendizagem, faz-se necessário acompanhar os elementos que descrevem o conteúdo evocado na ação mediana.

São os elementos analíticos TEOREMAS-EM-ATO e REGRAS, os construtos que permitem sistematizar as informações sobre o conhecimento mobilizado durante a ação mediada. Os teoremas-em-ato refletem conhecimentos sobre conceitos e são expressos em forma de proposições, sendo susceptíveis de serem avaliados como válidos ou não. As regras, por sua vez, são conhecimentos sobre a realidade imediata, material e social. Elas também são expressas em forma de proposição. Na Tabela 2 são listados alguns exemplos de teoremas-em-ato.

Tabela 2: Exemplos de teoremas-em-ato no campo da geometria

Código	Invariantes	Valor
MT-01	Os pontos de uma mediatriz de um segmento são eqüidistantes aos extremos desse segmento	Certo
MT-02	A mediatriz de um triângulo isósceles divide um triângulo isósceles em 2 triângulos equivalentes	Certo
MT-04	A mediatriz de um segmento é ortogonal a esse segmento	Certo
MT-07	Um ponto eqüidistante das extremidades de um segmento encontra-se no meio da distância entre esses	Errado

A análise da aprendizagem de conceitos específicos ocorre mediante a análise dos teoremas-em-ato que são mobilizados em cada uma das tentativas de ação com os artefatos. É possível criar uma representação detalhada da conceitualização que emerge em relação ao uso da interface educativa [15] [13]. Partindo da definição de esquema, como sendo *uma organização invariante da ação*, procedemos com a localização de seqüências de ações com o mesmo conjunto de artefatos ou com conjuntos diversos de artefatos. Durante o processo de análise, identificamos classes de situações que servirão para realizar, por exemplo, a análise da influência de um uso anterior de um conjunto de artefatos na adaptação a um outro sistema. A determinação do tipo de situação é mais complexa, pois ocorre mediante a identificação indireta de uma classe de esquemas que pode vir a corresponder ao conjunto de situações sob análise. Teoricamente, não existem esquemas equivalentes, dado que a evolução é um processo contínuo e uma ação subsequente nunca é idêntica a uma ação anterior, o que constitui a dialética do modelo construtivista [15]. No entanto podemos definir um critério de similaridade, que definirá o grau de similitude entre duas organizações de ações.

Em [15] [13] adotou-se o modelo de análise da ação mediada. O mesmo permite descrever a organização das ações e identificar, por meio de inferências, os elementos e a dinâmica internos de tais esquemas mentais. Nosso grupo empreende esforços para a construção de uma ferramenta de suporte à análise de dados, segundo esse modelo [13].

#### FORMA DE ANÁLISE

Uma primeira informação anotada é uma descrição da ação básica que é esperada, isto é, descrevemos a tarefa que é executada na unidade de ação correspondente. Na primeira coluna, colocamos uma breve descrição da ação que é esperada em termos de objetivos; por exemplo, 'traçar retas paralelas' com um software para o ensino da Geometria. O acompanhamento do conteúdo dessa coluna nos permite comparar posteriormente a ação observada com a ação efetivamente realizada. Na segunda coluna da tabela colocamos uma informação acerca da avaliação do procedimento executado. Uma ação pode ser avaliada como sendo 'correta' ou 'incorreta'. Na coluna seguinte procedemos com a descrição de aspectos dos instrumentos,

que emerge no momento da ação do sujeito. Descrevemos sua organização em termos da descrição de um esquema, e o Artefato utilizado na ação instrumental (parte de uma interface do software educativo). Para realizar uma posterior análise da aprendizagem, faz-se necessário inferir acerca dos invariantes subjacentes às ações.

Analisa-se a gênese instrumental por meio do acompanhamento das transformações dos elementos constituintes dos instrumentos: artefatos e esquemas. A análise do que ocorre com os artefatos é feita do ponto de vista do usuário. Pode-se, portanto, analisar a evolução das funções atribuídas pelos usuários ao longo do tempo. Essa evolução é denominada instrumentalização e reflete a adaptação dos sujeitos à interface. O mesmo acompanhamento pode ocorrer com relação às adaptações dos esquemas de ação instrumental. O processo de evolução dos esquemas recebe o nome de instrumentação. O acompanhamento deste processo permite observar a adaptação dos usuários às interfaces.

A análise da aprendizagem de conteúdos específicos ocorre mediante análise dos invariantes que são mobilizados em cada uma das tentativas de ação com os artefatos. É possível criar uma representação detalhada da conceitualização que emerge em relação ao uso da interface educativa [15] [13].

## 5. ESTUDOS DE CASO

No estudo de caso, analisamos a resolução de problemas da Geometria com dois sistemas de instrumentos (SI) diferentes : um primeiro denominado de 'régua e compasso', e o segundo, um software da geometria dinâmica, Cabri Géomètre. Acompanharemos as atividades de resolução de cinco (05) duplas de alunos da 5ª série do ensino fundamental. Cada dupla resolveu um conjunto de seis (06) problemas da Geometria. Para ilustrar a aplicação da teoria, neste artigo selecionamos apenas um (01) problema de apenas dois (02) alunos, aluno1 e aluno2, para ilustrar a aprendizagem mediada com dois conjuntos distintos de artefatos. O enunciado do problema é o seguinte:

Analisamos a influência do uso de artefatos de construção de figuras geométricas no papel - régua e compasso - e um sistema informatizado de construção de figuras geométricas, Cabri Géomètre, na aprendizagem da Geometria. Na medida em que analisamos as tentativas de resolução, identificamos um conjunto de invariantes e de regras que são mobilizados nas ações. Nós procuramos analisar a atividade de resolução levando em consideração um fato que cada uma situação particular evolui com o tempo. Na sucessão de situações, nós tentaremos identificar os elementos que compõem a mesma ou os instrumentos que intervêm na produção do sentido para os conceitos geométricos. Nesta perspectiva, a compreensão de um conceito matemático não é o resultado a posteriori de tomadas de consciência sobre a existência de relações biunívocas entre o real e o sistema simbólico. A compreensão emerge na medida que a atividade evolui.

### ANÁLISE DA USABILIDADE DA INTERFACE CABRI

Antes de iniciar o teste de usabilidade do Cabri, analisamos como os alunos resolvem problema idêntico com régua e compasso. Com esse sistema de instrumentos, os alunos trabalharam isoladamente. Aqueles que conseguiram resolver este problema usaram o conceito de simetria axial. No entanto, em detrimento desse fato, o aluno aluno1 errou. Ele começou por construir um ponto B simétrico ao ponto A em relação a uma reta  $d$  com uma régua graduada e um esquadro. Para encontrar o ponto B, ele reporta a distância de A até  $d$  com o compasso e instala um ponto C sobre  $d$  na intersecção entre o círculo e a reta  $d$ . Ao final, o triângulo desenhado por aluno1 é isóscele, mas de base AB. O aluno aluno1 não encontrou o ponto C pois não respeitou a primeira condição do problema: ABC é isósceles de base BC. O aluno2, por sua vez, errou. Ele não respeitou nenhuma das três orientações. A origem primeira do seu erro é devido ao fato que ele começou a construção pela simetria central e não pela simetria axial. Ele traçou um círculo centrado em O com um compasso; depois com uma régua e um esquadro ele traçou a mediatriz de AB (Figura 1).

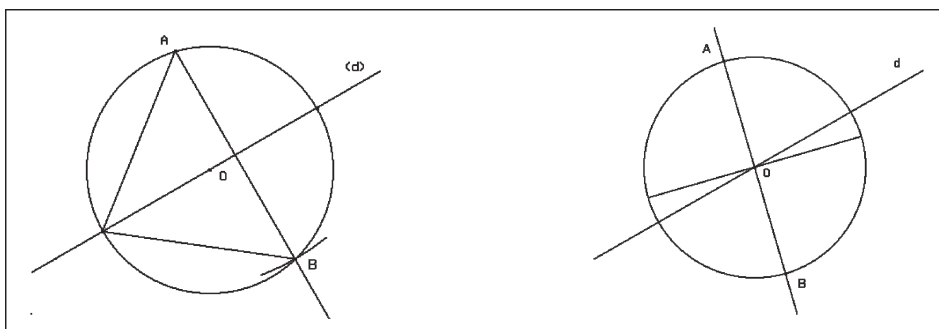


Figure 1: Tentativa de resolução com régua e compasso.

Esta dupla realizou cinco tentativas com o software Cabri. A cada etapa, a função de certos artefatos evolui; gênese instrumental. Numa primeira tentativa, os alunos começaram pela utilização da simetria central do ponto A, e isso os impediu de encontrar a solução correta. Na Figura 2, tem-se a configuração de um de seus desenhos. Nós

observamos uma tentativa dos alunos resolverem o problema pela simetria axial; eles não conseguiram porque eles escolheram o ponto O para fazer passar a reta perpendicular.

Na resolução do mesmo problema com régua e compasso, observou-se que os alunos mobilizam

conhecimento necessário à resolução do problema. A simetria de um ponto com relação a um eixo é co-linear ao primeiro ponto e a um ponto marcado sobre o eixo e utiliza-

se uma reta perpendicular para encontrar a simetria de um ponto com relação a um eixo. No entanto eles não utilizam esses dois elementos.

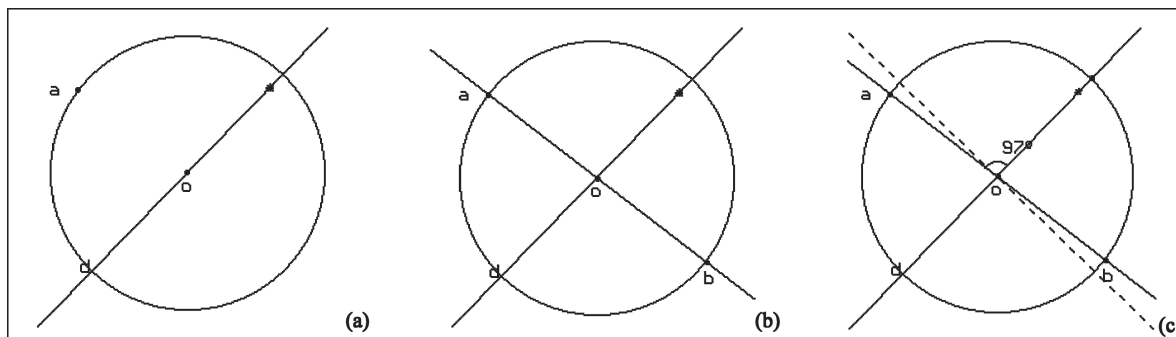


Figure 2: Tentativa para construir um triângulo isósceles.

Em seguida, os alunos tentam encontrar a simetria de A com relação a B, no entanto eles passam uma reta pelo ponto O em lugar de passar uma perpendicular a  $d$ . Depois, eles constroem a perpendicular ao eixo, mas a fazem passar pelo ponto O em lugar de fazerem passar pelo ponto A. Na segunda tentativa, Figura 3, os alunos avançaram em relação à tentativa anterior. Eles conseguem encontrar corretamente o ponto B simétrico de A com relação a D e, em seguida, AB. É este o procedimento que observamos detalhadamente. Os alunos fazem uma construção intermediária que permite encontrar o ponto B. O conjunto que serviu de meio para a ação evolui.

Parece que essa evolução se faz a partir do esquema de ação instrumental associado ao uso do compasso. No entanto eles não tentaram encontrar o ponto C; eles preferiram recomeçar a construção. Neste exemplo, observa-se a emergência de um conjunto composto de dois círculos centrados sobre  $d$ . Estes círculos constituem dois pedaços de um novo instrumento que foi utilizado para encontrar o ponto B. Esta manobra é equivalente àquela realizada com o compasso. A diferença é que, aqui, os dois círculos têm diâmetros diferentes. Ora, na construção com o compasso, os alunos usualmente não instalam o centro dos círculos em qualquer lugar sobre o segmento. Com o compasso, espera-se aqui que a identificação do ponto de simetria seja feita com 2 traços equivalentes.

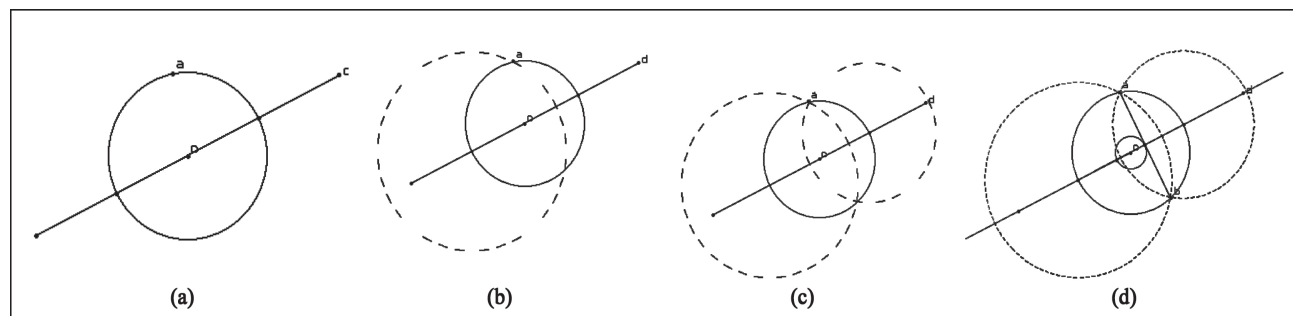


Figure 3: Segunda tentativa da dupla.

Os alunos realizam a terceira e quarta tentativas. Na quinta tentativa a dupla tem sucesso, Figura 4. Os alunos não utilizam o círculo suplementar para encontrar o ponto B. Nesta tentativa, eles o encontram com a ajuda de uma reta perpendicular à reta  $d$  e de um círculo, descrito no enunciado. Este par de elementos serve de instrumento em uma etapa intermediária da construção.

Eles atribuem uma função ao círculo que outrora atribuíram ao compasso para reportar uma distância. Na Figura 4, apresentamos a seqüência da construção desse desenho.

Os alunos parecem ter assimilado a função do componente RETA PERPENDICULAR da interface, e um novo esquema mental desenvolve-se associado ao mesmo. Este esquema coordena o uso do desenho traçado no Cabri para encontrar a simetria axial do ponto A. O conceito mobilizado é o de simetria axial. Eles encontram ainda o ponto C sem dificuldade com o auxílio de um círculo passando por C centrado em A.

A reta perpendicular a  $d$  passando pelo ponto O parece não ter nenhuma função na atividade. Eles retomam um procedimento de construção parecido com o da primeira tentativa, quando uma conceitualização falsa sobre simetria central foi mobilizada. Eles parecem, ainda, ser guiados por uma conceitualização falsa sobre simetria axial. Os alunos procuram encontrar a simetria central de um ponto, traçando uma reta perpendicular passando por um ponto outro que aquele do qual procuramos o simétrico. Na Tabela 3 ilustramos parte do processo de resolução da quinta tentativa da dupla.

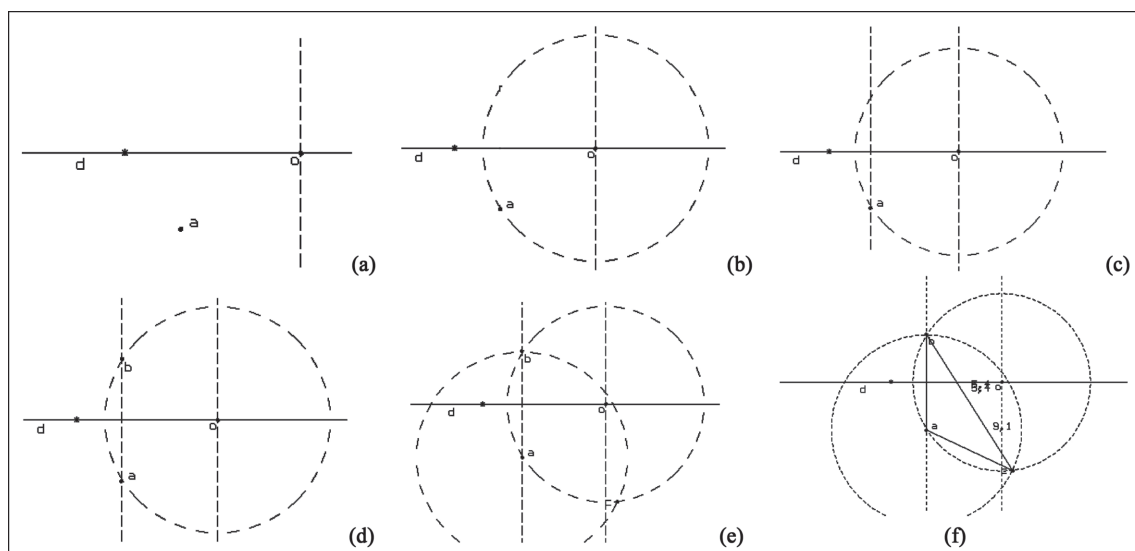


Figure 4: Seqüência de desenhos da quinta tentativa da dupla.

**ANÁLISE DA ADAPTAÇÃO DO USUÁRIO A INTERFACE**

A partir da utilização dos modelos de esquema e instrumento, é possível estudar a relação que pode haver entre o uso da interface e o conjunto de propriedades de conceitos que podem ser evocadas, mobilizadas e aprendidas. As transformações dos instrumentos são percebidas pela observação de modificações dos elementos que compõem o instrumento na seqüência de tentativas.

Observamos a evolução dos desenhos sucessivos feitos pelos alunos com Cabri. Estes passam de uma configuração com três círculos e uma reta perpendicular à reta *d* (segunda tentativa) a uma configuração a dois círculos e uma reta perpendicular (terceira e quarta tentativa), para chegar finalmente a uma versão com apenas um círculo e uma perpendicular. Na Tabela 4 resumimos os resultados da evolução da estrutura do instrumentos na seqüência de tentativas. Simplificamos a tabela, dado que a função dos artefatos em todas as tentativas era 'encontrar

a simetria axial do ponto *A'*. É possível observar a evolução do modelo de instrumentos usado em cada uma das tentativas. Observamos também evolução da forma dos desenhos sucessivos feitos com Cabri. Os alunos passam de uma configuração com três círculos e uma reta perpendicular à reta *d* (segunda tentativa) a uma configuração a dois círculos e uma reta perpendicular (terceira e quarta tentativa) para chegar finalmente a uma versão com apenas um círculo e uma perpendicular. Na Tabela 4 observamos ainda como a conceitualização muda de uma tentativa a outra.

O uso do Cabri permitiu a acomodação do esquema de reportar um comprimento para a localização do ponto simétrico de um ponto. Essa conclusão vai na mesma direção do que é proposto por diversos autores que investigam a aprendizagem da Geometria com o uso de sistemas computacionais como o Cabri Géomètre [19] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30] [40].

Tabela 3: Exemplo de registro de uma seqüência de ações: parte da quinta tentativa da dupla

Tarefa	Passo	C/E	Instrumento		Função do artefato	Objeto	T.E.A.
			Organização	Artefato			
Organizar a configuração inicial	1	C	Marcou-se um ponto a meia altura e a esquerda sobre a tela com a opção PONTO DE BASE (PDB). Esse ponto será ocultado pelo usuário. Ele não recebeu uma legenda.	PDB	Traçar	Ponto	
	2	C	Marcou-se um ponto ao centro da tela com PONTO DE BASE. Esse ponto é nomeado O.	PDB	Traçar	Ponto	
	3	C	Traçou-se uma reta passando pelo ponto marcado no passo [1] e pelo ponto O (dado do enunciado) usando a função RETA DEFINIDA POR 2 PONTOS (RD2P).	RD2P	Traçar	Reta	
	4	E	Traçou-se uma perpendicular a reta traçada em [3] passando pelo ponto O com a função RETA PERPENDICULAR. Esse ponto foi ocultado	RP	Traçar	Reta	SA-15
Organizar a configuração inicial	5	C	Marcou-se um ponto na parte inferior esquerda da tela com a função PONTO DE BASE. Esse ponto foi denominado de a.	PDB	Traçar	A	

Do ponto de vista da usabilidade, o referencial teórico introduz um ganho na precisão da análise pois permite a identificação dos teoremas-em-ato mobilizados a cada gesto. Temos ainda uma visão da correlação que há entre as funções atribuídas à interface e os teoremas-em-ato mobilizados a cada momento. Isso permite refletir sobre melhorias na interface do software a partir de conclusões sobre a aprendizagem.

#### ANÁLISE DA APRENDIZAGEM MEDIADA

Os dados coletados sobre a ação (Tabela 3) podem ser reorganizados para permitir uma visualização da aprendizagem. O conjunto de conhecimentos subjacente às ações que são realizadas ao curso da resolução de problemas com os dois sistemas de instrumentos são dispostos em separado. Assim podemos identificar um conjunto de situações que fornecesse sentido a determinados grupos de conceitos. Esse procedimento permite a identificação de classes de situações.

Partindo da definição de esquema, como sendo uma organização invariante da ação, procedemos com a localização de seqüências de ações com conjuntos similares de artefatos ou com conjuntos diversos de artefatos.

Durante o processo de análise, identificamos classes de situações que permitem realizar, por exemplo, a análise da influência de um uso anterior de um conjunto de artefatos na adaptação a um outro sistema. A determinação do tipo de situação é mais complexa, pois ocorre mediante a identificação indireta de uma classe de esquemas que pode vir a corresponder ao conjunto de situações sob análise.

Teoricamente, não existem esquemas equivalentes, dado que a evolução é um processo contínuo e uma ação subsequente nunca é idêntica a uma ação anterior, o que constitui a dialética do modelo construtivista. No entanto podemos definir critérios de similaridade entre esquemas, que definirá o grau de similitude entre duas organizações de ações. Utilizando um critério de similaridade da seqüência de ações e identificamos estruturas similares. Cada estrutura de esquema é associada a uma situação específica. Diversas situações foram identificadas seguindo esse critério: sete situações associadas ao uso sistema de instrumentos 'régua e compasso' e cinco situações associadas ao uso do Cabri. Apresentamos as situações na Tabela 5. As situações A e J, D e K, G e L, E e H são equivalente segundo o critério adotado, portanto comparáveis.

Tabela 4: Representação qualitativa da dinâmica de instrumentalização da interface do Cabri durante o uso.

Tentativa	Artefato		Regra de ação	T.e.A.
	Propriedade do artefato	Composição		
02	Os círculos se tocam em 2 pontos equidistantes a pontos sobre a reta dada no problema (dois círculos complementares).	3 círculos	CD2P-01, CD2P-02	SA-01, SA-11, SA-16
03	Os círculos se tocam em 2 pontos equidistantes a pontos sobre a reta dada no problema (um círculo complementar).	2 círculos	CD2P-01, CD2P-02	SA-01, SA-11, SA-16
04	Os círculos se tocam em 2 pontos equidistantes a pontos sobre a reta dada no problema	2 círculos	CD2P-01, CD2P-02	SA-01, SA-11, SA-16
05	Os pontos nos quais a reta e o círculo são secantes são equidistantes do eixo e encontram-se sobre uma direção ortogonal ao eixo.	Um círculo e uma reta perpendicular	DP-01, DP-03, CD2P-03, CD2P-04	CR-04, SA-01, SA-02, SA-14

Finalmente, com os dados coletados na Tabela 3 podemos construir cruzamentos entre o conjunto de invariantes e o conjunto de situações. Dado que conhecemos as situações, podemos avaliar como diferentes partes da interfaces educativas favorecem preferencialmente a emergência de invariantes específicos de um determinado conceito, como veremos em nosso estudo de caso.

Associamos duas situações em uma mesma coluna e utilizamos símbolos para indicar o sistema de instrumento com o qual os invariantes aparecem: RC para régua e compasso, e

C para o software Cabri, na célula do cruzamento. Enfim, se o invariantes aparecem nos dois, designáramo-los por C-RC.

No caso específico, observamos que propriedades dos conceitos de simetria axial (SA), círculo (CR), triângulo (TG), triângulo isósceles (TI) e mediatriz (MT) emergem durante o uso de dois sistemas de artefatos. A partir da interpretação dos dados na Tabela 6, podemos concluir de imediato que os conjuntos de teoremas-em-ato mobilizados com os dois sistemas são distintos. Se isso não fosse o caso, teríamos uma grande quantidade de C-RC's.

Tabela 5: Distribuição das situações equivalente identificadas durante a análise do uso das interfaces.

Régua e compasso	Software Cabri
Situação A: reportar numa outra direção um comprimento sobre um eixo	Situação J: reportar uma distância
Situação D: encontrar pontos equidistantes a dois pontos fixos	Situação K: encontrar dois pontos equidistantes de um ponto sobre o círculo
Situação E: encontrar a simetria axial de um ponto	Situação H: encontrar a simetria axial de um ponto
Situação G: encontrar o ponto médio de um segmento	Situação L: encontrar o ponto médio de um segmento

Os usuários mobilizam propriedades diferentes dos mesmos conceitos com cada sistema utilizado. No primeiro caso, essa tabela representa a forma com a interface influencia a aprendizagem de conceito específicos. A partir daí podemos tomar decisões de design de interface para tornar a interface mais rica do ponto de vista dos teoremas-em-ato mobilizados na ação.

## 6. CONCLUSÕES

Neste artigo apresentamos um referencial teórico de base construtivista para análise do impacto na aprendizagem

do uso de interfaces educativas. Para ilustrar sua aplicação analisamos a contribuição de um software da geometria dinâmica à aprendizagem de conceitos geométricos. Esse impacto é descrito qualitativamente a partir do ponto de vista da aquisição de conceitos e a adaptação do usuário a forma de funcionar da interface. Os resultados identificados na literatura sobre a aprendizagem de geometria com softwares para essa área apontavam a existência de uma influência positiva do uso de tais softwares na aprendizagem. Alguns autores propunham que o uso de um software específico, ou sistema de instrumento, favoreceria a emergência de ‘geometrias diferentes’.

Tabela 6: Distribuição de alguns invariantes por situação identificada.

Código	Invariantes	Valor	Situações			
			A e J	D e K	G e L	E e H
TI-01	Os lados adjacentes ao vértice superior de um triângulo isósceles são iguais.	Certo	C-RC	C-RC		
TI-04	A mediatriz de um triângulo isósceles confunde com sua altura.	Certo		RC		
TG-02	O ortocentro de um triângulo confunde-se com o centro do círculo circunscrito.	Certo			C	
MT-01	Os pontos de uma mediatriz de um segmento são equidistantes aos extremos desse segmento.	Certo		RC		
MT-02	A mediatriz de um triângulo isósceles divide um triângulo isósceles em dois triângulos equivalentes.	Certo			C	
MT-04	A mediatriz de um segmento é ortogonal a esse segmento.	Certo			C	
MT-07	Um ponto equidistante das extremidades de um segmento encontra-se na metade da distância entre esses pontos.	Errado		RC		
MT-08	Apenas o ponto de interseção entre um segmento e sua mediatriz é equidistante de suas extremidades, os demais pontos da mediatriz não.	Errado		RC		
SA-02	Na simetria axial a distância de um ponto a uma reta é conservada.	Certo				RC
SA-13	O simétrico de um ponto em relação ao eixo é colinear ao primeiro ponto e a um ponto já instalado sobre o eixo.	Errado				RC
SA-16	Por um ponto exterior a um eixo e por seu simétrico passam pelo menos dois círculos de diâmetro diferentes tendo seus centros sobre o eixo de simetria.	Certo				C
CR-01	Um círculo é o lugar dos pontos equidistantes de um centro.	Certo	RC			
CR-02	Se um círculo é centrado no meio de um segmento, suas extremidades são pontos de um mesmo círculo.	Certo			RC	

Os resultados refinam aqueles encontrados na literatura sobre aprendizagem de geometria. Mostramos como e o quê os usuários aprendem em consequência do uso das interfaces. A aplicação desse referencial na avaliação de versões intermediárias de um novo produto corresponde a um desenvolvimento de software centrado na aprendizagem do usuário [7] [20] [31] [38] [47].

Analisamos a atividade de resolução de um problema da Geometria Plana com o software educativo Cabri e pudemos concluir a respeito da conceitualização que emerge no uso de interfaces específicas. Comparamos qualitativamente os resultados com o uso de artefatos tradicionais (régua e compasso) na resolução do mesmo problema. Pudemos concluir que para cada conjunto de artefatos como os alunos mobilizam propriedades distintas dos conceitos geométricos. Este resultado corrobora com a conclusão de que seriam concebidas ‘geometrias específicas’ em torno do uso de diferentes sistemas de instrumentos. O método apresentado pode ser utilizado na

avaliação de interfaces educativas de uma forma geral. Esse método complementa abordagens tradicionais de avaliação da usabilidade de interfaces educativas, acrescentando a possibilidade de uma abordagem do ponto de vista da aprendizagem de conceitos específicos. O uso desse referencial na avaliação de interfaces permite descrever a conceitualização que emerge do uso de uma interface particular. No futuro observaremos a aplicabilidade na construção de modelos de usuários, parte do processo de concepção de interface inteligentes [53].

## REFERÊNCIAS

- [1] N. Balacheff, J. Kaput. Computer based Learning Environments in Mathematics. In A. J. Bishop, K. Clements, C. Keitel, J. Kilpatrick, C. Laborde (eds.) International handbook of mathematics education. páginas 469-501. Kluwer, Dordrecht. 1996.
- [2] P. Barnard, J. May, D. Duke, D. Duce. Systems,

- Interactions, and Macrotheory. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7 (2): 222–262. 2000.
- [3] G. H. B. Campos, A. R. Rocha. Avaliação da qualidade de Software Educacional. *Em Aberto*, 12 (57). 1993.
- [4] D. H. Clements, M. T. Battista. Geometry and spatial reasoning, In D. A. Grouws (Ed.) *Handbook of research on Mathematics Teaching and Learning*, páginas 420-464. Macmillan, New York. 1992.
- [5] A. Cuoco, C. Hoyles. Software criticism: Stella ten years later: a review of the literature, *International, J. of Computers for Math. Learning*, 1: 201–224. 1996.
- [6] B. Capponi, R. Strässer. Cabri-Géomètre in a college classroom: Teaching and learning the cosine-function with Cabri-Géomètre, *Zentralblatt für Didaktik des Mathematik*, (5): 165-171, 1992.
- [7] P. Denning, P. Dargan. Action-Centered Design, In T. Winograd (ed.) *Bringing Design to Software*, ACM Press, New York, páginas 105-102. 1996.
- [8] S. Dugdale. Establishing computers as an optional problem solving tool in a non-technological mathematics context, *International, Journal of Computers for Mathematical Learning*, 4: 151–167. 1999.
- [9] R. Duval. Les différents fonctionnements d’une figure dans une construction géométrique, *Repère IREM*, 17 : 121-37. 1994.
- [10] R. Duval. *Sémiosis e pensée humaine*, Peter Lang: Berne. 1995.
- [11] R. Duval. Geometry from a Cognitive Point of View. In C. Mammana e V. Villani (eds.) *Perspectives on the Teaching of Geometry For the 21<sup>st</sup> Century: an ICMI study*, páginas 33-48, Kluwer: Dordrecht, 1998.
- [12] J. H. Flavell. A Psicologia do Desenvolvimento de Jean Piaget, Pioneira, São Paulo, 1992.
- [13] A. S. Gomes, F. J. A. Alves. ADeCUI: sistema de análise da qualidade da interface de softwares educativos baseado em modelo construtivista de cognição. *SBIE 2001*, 1: 304-311. 2001.
- [14] A. S. Gomes, J. A. Castro Filho, V. Gitirana, A. Spinillo, M. Alves, M. Melo, J. Ximenes. Avaliação de software educativo para o ensino de matemática. *WIE’2002*. 2002.
- [15] A. S. Gomes. *Développement conceptuel consecretif a l’activité instrumentée – L’utilisation d’un système informatique de géométrie dynamique au collège*, Tese, Université Paris V, Paris. 1999.
- [16] K. Gravemeijer. Mediating between concrete and abstract. In T. Nunes e P. Bryant (eds.) *Learning and teaching mathematics: An international Perspective*, Psychology Press, Hove, páginas 315-346. 1997.
- [17] A. P. Gladcheff, E. M. Zuffi, D. M. Silva. Um Instrumento para Avaliação da Qualidade de Softwares Educacionais da Matemática para o Ensino Fundamental, *WIE’2001*. 2001.
- [18] J. E. Hinojosa, H. Mellar. Pedagogy embedded in educational software design: report of a case study, *Comp. & Education*, 37: 27–40. 2001.
- [19] R. Hölzl, How Does ‘Dragging’ Affect The Learning Of Geometry, *Int. J. of Computers for Math. Learning*, 1: 169–187, 1996.
- [20] B. E. John, D. E. Kieras. The GOMS Family of User Interface Analysis Techniques: Comparison and Contrast, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 3 (4) 320–351. 1996.
- [21] J. J. Kaput. Technology and mathematics education, In Douglas A. Grouws (ed.) *Handbook of research on Mathematics Teaching and Learning*, Macmillan, New York, páginas 515-556. 1992.
- [22] C. Laborde. Solving problems in computer based geometry environments: the influence of the features of the software, *Zentralblatt für Didaktik des Mathematik*, 1992 (4) 128-35. 1992.
- [23] C. Laborde. Do the pupils learn and what do they learn in a computer based environment ? The case of Cabri-géomètre. In B. Jaworski (ed.) *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Technology in Mathematics Teaching Conference*, páginas 39-52. 1993.
- [24] C. Laborde. The Computer as Part of the Learning Environment: The Case of Geometry. In C. Keitel, K. Ruthven (eds.), *Learning from Computers: Mathematics Education and Technology* páginas 48-60, Springer-Verlag, Berlin. 1993.
- [25] C. Laborde. Enseigner la géométrie: permanences e ruptures, *Bul. APMEP*, 1994.
- [26] C. Laborde. Les rapports entre dessin et figure géométrique dans un EIAO. In M. Artigue (ed.) *Vingt ans de didactique des mathématiques en France*, p. 387-394, La Pensée Sauvage, 1994.
- [27] C. Laborde. Working in small groups : a learning situation? In R. Biehler et al. (eds.) *Didactics of Mathematics as a Scientific Discipline* páginas 147-158, Kluwer, Dordrecht. 1994.
- [28] C. Laborde. Designing tasks for learning geometry in a computer-based environment. In L. Burton e B. Jaworski (eds.) *Technology in Mathematics Teaching – A Bridge Between Teaching and Learning*, páginas 35-68, Chartwell-Bratt. 1995.
- [29] C. Laborde, B. Capponi. Cabri Géomètre d’un milieu pour l’apprentissage de la notion de figure géométrique, *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14 (1.2):165-210. 1993.
- [30] C. Laborde, G. Vegnaud. L’apprentissage et l’enseignement des mathématiques, In G. Vergnaud (ed.) *Apprentissages e didactiques, où en est-on?*, Hachette, Paris. 1994.

- [31] T. Mandel. *The Elements of user interface*, John Wiley and Sons, New York. 1997.
- [32] L. Meira. *Explorations of mathematical sense-making: An activity-oriented view of children's use and design of material displays*, Tese, UCLA, 1991.
- [33] L. Meira. *On the Transparency of Material Displays: The Case of Learning Linear Functions*, AERA, Chicago, IL, 1991.
- [34] L. Meira. The Microevolution of Mathematical Representations in Children's Activity, *Cognition and instruction*, 13 (2): 269-313, 1995.
- [35] L. Meira. Making sense of Instructional Devices: The emergence of Transparency in Mathematical Activity, *Journal for Research in Mathematics Education*, 29 (2): 121-142, 1998.
- [36] T. Nunes, P. Bryant (eds.) *Learning and teaching mathematics: An international Perspective*, Psychology Press, Hove. 1997.
- [37] R. Noss e C. Hoyles. *Windows on Mathematical Meanings – Learning Cultures and computers*, Kluwer, Dordrecht, 1996.
- [38] D. A. Norman. *The psychology of everyday things*, Basic Books, New York, 1988.
- [39] C. C. Oliveira. Avaliação de Software Educativo, *Tec. Educacional*, 16 (77): 50-54, 1987.
- [40] D. Pratt, J. Ainley. The construction of meanings for geometric construction: two contrasting cases. *Inter. Jour. of Computers for Mathematical Learning*. 1(3): p. 293-322, 1997.
- [41] J. Piaget, B. Inhelder. *A Psicologia da Criança*, Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1989.
- [42] J. Piaget. *Biologia e Conhecimento*, Vozes, Petrópolis, 1996.
- [43] P. Rabardel. *Les homes e les technologies: Approche cognitive des instruments contemporains*, Armand Colins, Paris, 1995.
- [44] A. H. Schoenfeld. On having and using geometric knowledge, In J. Hiebert (ed.) *Conceptual and procedural knowledge the case of mathematics*, Lawrence, Hillsdale, p. 225-263. 1986.
- [45] A. H. Schoenfeld. Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition and sense making in mathematics, In D. A. Grouws (ed.) *Handbook of research on Mathematics Teaching and Learning*, Macmillan, New York, p. 334-370. 1992.
- [46] J. I. Schwartz. Can technology help us make the mathematics curriculum intellectually stimulating and socially responsible?, *International Journal of Computers for Math. Learning*, 4: 99-119. 1999.
- [47] B. Shneiderman. Designing the user interface: strategies for effective human-computer-interaction, Addison. 1998.
- [48] J. Szendrei. Concrete materials in the classroom. Intern. handbook of mathematics education. (eds): A. J. Bishop; K. Clements, C. Keitel; J. Kilpatrick; C. Laborde, Kluwer, Dordrecht. p. 411-434. 1996.
- [49] G. Vergnaud. The nature of mathematical concepts. In T. Nunes e P. Bryant (eds.) 5-28. 1997.
- [50] M. Yerushalmy, D. Chazan, Overcoming visual obstacles with the aid of the Supposer, *Educ. Studies in Mathematics*, 21: 199-219, 1990.
- [51] M. Yerushalmy, D. Chazan. Guided inquiry and geometry: Some aspects of teaching with technology, *Zent. für Didaktik des Math.*, 5: 172-177. 1992.
- [52] M. M. Braga. *Design de software educacional baseado na teoria dos campos conceituais*. Dissertação UFPE. 2006.
- [53] A. E. M. Queiroz. *Design interativo de agentes inteligentes de interface para software educativo de Matemática*. Dissertação UFPE. 2006.
- [54] A. S. Gomes, P. Tedesco, J. A. Castro-Filho. Ambientes de Aprendizagem em Matemática e Ciências. In E. Ramos, M. Rosatelli e R. Wazlawick, (Org.). *Informática na Escola*, UFC, 108-135. 2003.
- [55] A. J. Bishop. Space and geometry, In R. Lesh e M. Landau (eds.) *Acquisition of Mathematics concepts and processes*. Academic. páginas 175-203. 1983.