

# Máquinas de Rube Goldberg: aportes para o ensino de Ciências e Matemática

*Pedro Zany Caldeira*<sup>1</sup>

*Ana Paula Bossler*<sup>2</sup>

## RESUMO

Estudantes de duas licenciaturas (Ciências da Natureza e Matemática) foram incentivados pelos docentes de uma disciplina de Mídia e Educação a conceber, montar e analisar máquinas de Rube Goldberg, de modo a verificar-se como estas podem ser usadas em contextos de ensino. Nas máquinas analisadas os estudantes conseguiram identificar 90% dos fenômenos da Física e 25% dos fenômenos da Química presentes e nenhum dos princípios matemáticos incluídos na sua estrutura. No entanto, do conjunto dos fenômenos científicos incluídos no funcionamento das máquinas, eles só conseguiram nomear parcialmente um. Estes resultados levaram os professores a pedirem aos estudantes para apresentarem as suas máquinas usando a terminologia e o vocabulário científico corretos. Nessa apresentação os estudantes apenas erraram a nomeação de dois fenômenos científicos, ficando explícito o impacto da pedagogização do exercício e do discurso dos professores (explicação usando terminologia e vocabulário científico e matemático correto) sobre as aprendizagens dos alunos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teoria da Variação da Aprendizagem. Máquina de Rube Goldberg. Objeto de aprendizagem. Responsabilidade instrutiva. Responsabilidade discursiva

*Rube Goldberg machines: Contributions to STEM education*

---

<sup>1</sup> Doutor em Getão de Informação. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. *E-mail:* [pedro.caldeira@uftm.edu.br](mailto:pedro.caldeira@uftm.edu.br).

<sup>2</sup> Doutora em Educação. Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, Minas Gerais, Brasil. *E-mail:* [paula.bossler@gmail.com](mailto:paula.bossler@gmail.com).

**ABSTRACT**

In a Media & Education course, students of two graduations (Natural Sciences and Mathematics) were encouraged to design, to assemble and to analyse Rube Goldberg machines in order to verify how those machines can be used in instructional contexts. The students were able to identify in the machines 90% of the of Physics and 25% of the Chemistry phenomena present in the machines and none of the mathematical principles included in its structure. However, from the set of scientific phenomena included in the machines functioning, they could only partially name one. These results led the lecturers to ask students to present their machines using the correct terminology and scientific vocabulary. In this presentation, the students only missed the name of two scientific phenomena, turning explicit the impact of the pedagogization of the exercise and the teachers discourse (explanation using terminology and correct scientific and mathematical vocabulary) on the students' learning.

**KEYWORDS:** Theory of Learning Variation. Rube Goldberg machine. Learning object. Instructional responsibility. Discourse responsibility.

\* \* \*

**Introdução**

A construção de contextos de aprendizagem envolventes com o auxílio de tecnologias é uma tarefa relativamente fácil, especialmente quando se concilia envolvimento dos aprendentes, tarefas autênticas e desafiadoras, responsabilização dos aprendentes por suas próprias aprendizagens e a atuação dos professores como facilitadores, guias, co-aprendentes ou co-pesquisadores (HANG, TAN e KOH, 2005; HERRINGTON, OLIVER e REEVES, 2003; JONES, VALDEZ, NOWAKOWSKI e RASMUSSEN, 1995; OLIVER, 2008).

Contudo, se estes indicadores de aprendizagem envolvente se encontram presentes, uma possível consequência é o surgimento de contextos educacionais despedagogizados (isto é, contextos em que o professor é mais um facilitador das aprendizagens de seus alunos que

alguém que dedica o seu tempo em sala de aula a ensinar), contextos estes com fortes impactos negativos nas aprendizagens e no sucesso escolar dos alunos no ensino básico (MARTON, 2015; MARTON e PANG, 2013).

Alguns pesquisadores sentem a necessidade de melhor compreender o papel que os professores e o ensino desempenham na aprendizagem e no sucesso dos estudantes, nomeadamente na responsabilidade instrutiva dos professores (HANSSON, 2010; MARTON, 2015) ou na responsabilidade discursiva dos professores (CALDEIRA e BOSSLER, 2017a, 2017b; MARTON, 2015; MARTON e TSUI, 2004). E os resultados das pesquisas demonstraram, por exemplo, que os estudantes do ensino básico não devem ter a completa responsabilidade pelas suas aprendizagens e seus desempenhos escolares e que, para além disso, os professores não devem apenas desempenhar o papel de facilitadores nos contextos educacionais, devendo assumir um papel ativo de ensino (Hansson, 2010; Marton, 2015).

### **Teoria da Variação da Aprendizagem**

A teoria da variação da aprendizagem (TVA) parte de um conjunto de pressupostos sobre o ensino, a aprendizagem, a escola e a pedagogia que se diferenciam dos modelos de ensino e aprendizagem tradicionais e dos modelos de aprendizagem contemporâneos (MARTON, 2015).

A grande questão que essa teoria pretende responder é: *Como se pode potenciar a aprendizagem?* Se, por um lado, os processos de ensino e aprendizagem escolares tradicionais se centram na instrução sequencial de conceitos, um de cada vez e com pequenos incrementos de conhecimento em cada passo (MARTON, 2015), por outro, a grande maior parte dos modelos contemporâneos de aprendizagem focam sobretudo os processos de aprendizagem, relevando para papel secundário os processos de ensino (a que corresponde a crescente despedagogização dos processos de ensino e aprendizagem escolares – centrando-se em atividades práticas e incentivando os alunos a pôr as mãos na massa, explorando com os seus

próprios recursos as diferentes temáticas escolares, por exemplo – LING e MARTON, 2011; MARTON, 2015; MARTON e MORRIS, 2002; MARTON e PANG, 2006, 2007; MARTON, RUNESSON e TSUI, 2004).

A TVA, deste modo, privilegia a aprendizagem em detrimento do ensino, pois cada um desses componentes é fundamental na concretização das aprendizagens e do sucesso escolares (MARTON e PANG, 2006, 2007) e considera que o ensino de uma coisa por vez conduz a piores resultados de aprendizagem que o ensino de muitas coisas em simultâneo (KULLBERG, RUNESSON, MARTON et al., 2016; MARTON, 2006, 2009, 2015; MARTON e PANG, 2013).

Nos últimos anos, têm sido cada vez mais os autores e as propostas de uma pedagogia centrada nas aprendizagens dos alunos, com a proposta de atividades práticas, em detrimento de propostas pedagógicas centradas no ensino do professor, preparando exercícios, tarefas e sequências de ensino que se executam na sala de aula (MARTON, 2015; MARTON e PANG, 2013). O professor que ensina incentivando processos de aprendizagem ativa em seus alunos, principalmente se essas aprendizagens exigem a colaboração entre alunos, está a usar uma metodologia que potencia as aprendizagens dos seus alunos e os seus resultados escolares (PRINCE, 2004). No entanto, processos ativos de aprendizagens necessitam de um contexto pedagógico: o desenvolvimento de atividade práticas sem o adequado enquadramento proporcionado pela componente de ensino não proporciona bons resultados de aprendizagem (MARTON, 2015).

O discurso despedagogizante, isto é, que minoriza a componente de instrução no processo de ensino e aprendizagem, conduz a práticas despedagogizantes, isto é, ao incentivo de aprendizagens sustentadas em práticas orientadas pelos próprios interesses dos alunos (MARTON, 2015). O discurso e as práticas despedagogizantes na Suécia, por exemplo, tiveram como corolário uma queda acentuada nos resultados das aprendizagens medidos em estudos internacionais, como o PISA, ou de comparação de

conjuntos de alunos nos mesmos testes em anos diferentes (MARTON, 2015).

Discursos e práticas pedagogizantes têm conduzido à melhora dos resultados escolares, quer seja nos estudos comparativos internacionais, quer seja em estudos realizados em sala de aula. Por exemplo, os estudos conduzidos em sala de aula apontam claramente que a pedagogização dos processos de aprendizagem possibilita níveis superiores de aprendizagem. E que se entende por pedagogização dos processos de aprendizagem? São os processos em que os professores se responsabilizam pelos processos de aprendizagem dos seus alunos. Por exemplo, como Hansson (2010) demonstrou, quando os professores de matemática do ensino básico concebem um ambiente de aprendizagem onde eles apoiam ativamente os alunos em seus processos de aprendizagem, isto é, em que ocupam mais tempo com atividades de aprendizagem orientadas pelo professor, há uma melhora substancial dos resultados dos seus alunos. Em contraste, e ainda na matemática, a crescente desp pedagogização do ensino da matemática no ensino básico na Suécia nas últimas duas décadas tem gerado resultados escolares cada vez mais baixos (MARTON, 2015). Assim Hansson (2010) demonstrou que o professor tem uma responsabilidade instrutiva, isto é, tem a responsabilidade de ensinar!

Ensinar uma coisa de cada vez ou muitas em simultâneo, esta é a questão que conduziu a pesquisa que sustenta a teoria da variação na aprendizagem (KULLBERG et al., 2016; MARTON, 2015). Ensinar uma coisa por vez implica ensinar sequencialmente coisas semelhantes em um oceano de pequenas diferenças. Ensinar muitas coisas em simultâneo implica ensinar coisas diferentes em um oceano de semelhanças.

Mas como se ensinam muitas coisas em simultâneo? Através do discurso do professor em sala de aula, nomeadamente as perguntas que o professor faz aos seus alunos (MARTON, 2015). Perguntas que dão origem a respostas de Sim ou Não incitam o aluno a pensar sobre o que conhece e o que desconhece? Não, esse tipo de perguntas não gera metacognição, não

incita à aprendizagem (BOSSLER, 2015; BOSSLER e CALDEIRA, 2014; CALDEIRA e BOSSLER, 2015).

Os objetos de aprendizagem têm formas de ‘serem vistos’ (MARTON, 2015). Isso implica que é suposto os alunos conseguirem discernir os aspectos necessários relacionados a um fenômeno e a focalizarem nesses aspectos em simultâneo. Por exemplo, a germinação do feijão, experiência recorrente em quase todos os anos do ensino básico no Brasil, ocorre porque três fatores concorrem em simultâneo: luz, nutrientes e água. E, para entenderem o processo de germinação do feijão, os alunos têm de focalizar em simultâneo nesses três fatores.

Se o professor quer saber o que os alunos aprenderam sobre a germinação do feijão, ele deverá ter o cuidado de não apontar para esses aspectos, mas deve sim deixar que os alunos os diferenciem por si mesmos (CALDEIRA e BOSSLER, 2015). Apenas depois o professor será capaz de perceber como os alunos lidam com novas situações e como eles lidam com o desconhecido a partir do conhecido (MARTON, 2015).

Os contextos educativos que proporcionam variações na aprendizagem (MARTON, 2006, 2009, 2015; MARTON e PANG, 2013; MARTON, TRIGWELL, 2000; PANG e MARTON, 2013; RUNESSON, 2005) são, em simultâneo, os que também possibilitam melhores resultados de aprendizagem, principalmente se o erro do aluno for usado pedagogicamente para alavancar a aprendizagem (KAPUR, 2010).

A variação na aprendizagem mais não é que que as diferentes formas de ver as situações e os fenômenos – isto é, *sobre as diferentes formas em que o mundo à nossa volta nos aparece* (MARTON, 2015, p. 89).

Alguns formatos de perguntar e colocar questões e algumas tarefas são mais úteis em gerar nos alunos formas alternativas de ver o mundo.

Em primeiro lugar, as tarefas têm de ser novidade e abertas. Isso significa que fica ao critério do aluno a abertura de dimensões de

variação consoante ele as vai considerando necessárias (MARTON, 2015, p. 89)

Mas essa habilidade passada ao aluno deverá ser, antes de mais, instigada pelo professor, nomeadamente, pelas perguntas que o professor lhe coloca.

No desenvolvimento de uma animação com massinha de modelar, que exemplificava a passagem da água do estado líquido para o estado sólido, os alunos representaram a mesma quantidade de água a ocupar menos espaço no estado sólido do que no estado líquido. Se o professor perguntar aos seus alunos de Química *A água ocupa mais espaço no estado líquido ou no estado sólido?* os alunos só têm duas possibilidades de resposta. Se o professor pedir a esses mesmos alunos que *Indiquem uma substância que ocupe mais espaço no estado sólido do que no estado líquido* a resposta surge óbvia aos alunos. Mas se o professor lhes perguntar *Por que a água ocupa mais espaço no estado sólido do que no estado líquido?* os alunos têm de abrir uma dimensão de variância, por exemplo, ‘temperatura e ordem molecular’. Neste caso, os alunos deverão ver o comportamento da água a diferentes temperaturas, conhecer os estados físicos da matéria e saber a relação entre temperatura e volume em algumas substâncias, três instâncias relacionadas ao conhecimento sobre impacto da temperatura no volume de algumas substâncias.

No primeiro caso, é proposto um fato e os alunos têm apenas de o recordar para decidirem em que estado a água ocupa mais espaço. No segundo caso, o fato é dado e os alunos têm de se lembrar a que substância se aplica. No terceiro caso, é afirmado um fato e é pedida uma explicação (*e quando se trata de uma questão completamente nova os alunos têm de pesquisar para encontrarem por si próprios a resposta* – Marton, 2015, p. 90).

Se, para Hansson (2010), o professor ter uma responsabilidade educativa, para Freire (2001), Caldeira e Bossler (2013; 2017a, 2017b,



2017c) e Marton e seus colaboradores (2015; MARTON e TSUI, 2004; PANG e MARTON, 2013), o professor tem uma responsabilidade questionadora e discursiva.

Assim, compreender o impacto dos enunciados discursivos torna-se fundamental para um exercício profissional mais consciente e competente. Em sala de aula, um professor que comunica abertamente aos alunos que se interessa por eles, que demonstra através das interações verbais que os conhece, os escuta e os sabe motivar (STERNBERG, 2005; WEINER, 1986; 2005), que elogia os sucessos dos seus alunos pelo esforço e não pela inteligência (possibilitando que desenvolvam uma atitude mental de predisposição para se esforçarem para atingirem objetivos difíceis – CIMPIAN, 2010; CIMPIAN, HACE, MARKMAN, DWECK, 2007; DWECK, 2007, 2012), que demonstra através do seu ensino que é ele que está no controle do processo de aprendizagem dos seus alunos (orientando as aprendizagens dos alunos – HANSSON, 2010) e que questiona os alunos proporcionando-lhes ocasiões para a metacognição (CALDEIRA e BOSSLER, 2015 – seguindo os princípios da teoria da variação na aprendizagem – MARTON, 2015) é um profissional que está mais capacitado para que os seus alunos tenham bons resultados acadêmicos.

A TVA se constitui como uma tentativa de mostrar as condições necessárias para a aprendizagem (LO e MARTON, 2012; MARTON, 2015), isto é, mostrar como se deve promover a aprendizagem de um modo eficaz. Os sujeitos aprendem quando adquirem conhecimento sobre ‘algo’ (MARTON *et al.*, 2004, p. 4) e esse algo é o objeto da aprendizagem: e que inclui desde o aprender a ler ou a fazer operações aritméticas simples, até à compreensão dos fenômenos mais complexos e intrincados da Física.

As condições necessárias para a aprendizagem são (LO e MARTON, 2012; MARTON, 2015): a aprendizagem deve focar o objeto de aprendizagem, os aprendentes devem reconhecer as diferentes dimensões e valores dos objetos de aprendizagem e, recentemente, foi acrescentado que



aprender duas ou mais coisas em simultâneo é mais eficaz que aprender uma coisa por vez (KULLBERG et al., 2016).

Por exemplo, aprender a ler e escrever números envolve, em primeiro lugar, apreender a diferença entre letras e números, em segundo lugar, a diferenciar entre os diferentes dígitos (de 0 a 9) e, em terceiro lugar, a colocar os números por ordem. O conceito de ‘número’ não pode existir sem o conceito de ‘letra’. A dimensão gráfica das unidades que se podem ler e escrever possui dois valores: ‘letras’ e ‘números’. A compreensão da diferença entre estes dois tipos de unidades gráficas designa-se por contraste (LO e MARTON, 2012).

O conceito de ‘1’ não pode existir sem o conceito de ‘2’. O contraste entre ‘1’ e ‘2’ permite ao aprendente diferenciar entre 1 ou 2 unidades de qualquer coisa: ursos, copos, tesouras, rapazes, meninas ou crianças. Um urso, um copo ou uma tesoura representam (em dígitos ou imagens) uma unidade de urso, de copo ou de tesoura, respetivamente. Dois rapazes, duas meninas, duas crianças representam (em dígitos ou imagens) duas unidades de rapazes, de meninas ou de crianças. A compreensão de que ‘1’ representa a mesma quantidade em diferentes contextos é designada de generalização (Lo e Marton, 2012) e, naquilo que diz respeito ao ensino, a generalização segue o contraste. Deste modo, os ‘números’ possuem características críticas que os diferenciam das ‘letras’ (por exemplo, com o propósito de contar vs. de ler) e ‘1’ possui características críticas que o diferenciam do ‘2’ (forma ou a quantidade de unidades que representam) e que são sempre as mesmas, independentemente do contexto em que surgem.

Um urso, [1, 2, 3...] ou  $1 + 1$  partilham o mesmo significado associado a ‘1’. Nomeadamente, 1 urso, 1 como primeiro elemento de uma série ou 1 como parcela de uma adição. A compreensão dos usos do ‘1’ em diferentes situações designa-se por fusão. E, no que se relaciona com o ensino, a fusão segue-se à generalização, pois a fusão é *ver todos os aspectos críticos uns em relação aos outros e em relação ao conjunto* (MARTON, 2009, in LO e MARTON, 2012, p. 12).

## Máquinas de Rube Goldberg

O engenheiro norte-americano Rube Goldber (1883-1970) tornou-se famoso ao criar cartoons em que máquinas simples eram apresentadas em contextos de humor. O cartunista brincava com a ideia das invenções desenhando dispositivos complexos para executar tarefas muito simples, como acender uma lâmpada ou espalhar pasta de dentes em uma escova. Se, no mundo concreto, uma invenção é uma resposta a uma demanda real, no universo de Rube Goldberg os inventos resolvem problemas inexistentes, ou, em outras palavras, as tarefas executadas dispensam a existência de uma máquina para serem realizadas. Contudo, embora as máquinas de Rube Goldberg pertencessem ao universo da ficção, o processo de criação e o projeto-cartoon seguiam caminhos bastante reais obedecendo, por exemplo, às normas para registro de patentes. As máquinas de Rube Goldberg não podem ser descritas, portanto, apenas como mecanismos simples com ações em cadeia. Ao incluir uma narrativa e humor, o engenheiro-cartunista aciona componentes patêmicos<sup>3</sup> de grande potencial cognitivo, o que faz, ainda, com que os dispositivos dialoguem com as propostas mais inovadoras e recentes do currículo STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Arte e Matemática).

### Enquadramento do estudo

Este estudo desdobra-se em dois momentos distintos: Parte I e Parte II. A Parte I foi planejada pelos autores desde o início do estudo e a Parte II surgiu na decorrência dos resultados obtidos na Parte I deste estudo.

### *Parte I do Estudo*

---

<sup>3</sup> Os componentes patêmicos no discurso (por palavras ou imagens) remetem para o *pathos*, a emoção, em oposição à razão.

### *Contexto de ensino*

Em uma disciplina de Mídia e Educação do segundo ano de duas licenciaturas em Ciências da Natureza e Matemática, dois professores trabalharam principalmente dois tópicos com seus estudantes: mídia como consumo de informação com objetivos de aprendizagem e produção de mídia com propósitos de ensino. No entanto, o objetivo final dos professores era que seus estudantes pensassem criticamente as mídia e compreendessem e usassem as mídia como parte do ensino e compreendessem o impacto do uso das mídia e do discurso em sala de aula do professor nas aprendizagens e nos resultados escolares dos alunos.

Para que os objetivos da disciplina fossem atingidos, os professores pediram aos alunos para conceberem e montarem uma máquina de Rube Goldberg em pequenos grupos colaborativos. Os estudantes tinham de respeitar as seguintes restrições: o funcionamento da máquina tinha de ser inteiramente decidido pelos alunos, a máquina teria de ser completamente funcional, os estudantes tinham de montar uma máquina, que deveria incluir pelo menos um experimento científico e deveria ter pelo menos 10 ações interconectadas (pelo menos 10 passos ou etapas). As máquinas em funcionamento seriam filmadas, para posterior análise e discussão em sala de aula.

Embora os estudantes tenham concebido e montado 12 máquinas de Rube Goldberg, apenas duas das máquinas são aqui analisadas, pois foram as únicas finalizadas antes da última aula da disciplina.

O primeiro grupo era constituído por dois estudantes de Ciências da Natureza e dois de Matemática e o segundo grupo era constituído por quatro estudantes de Ciências da Natureza.

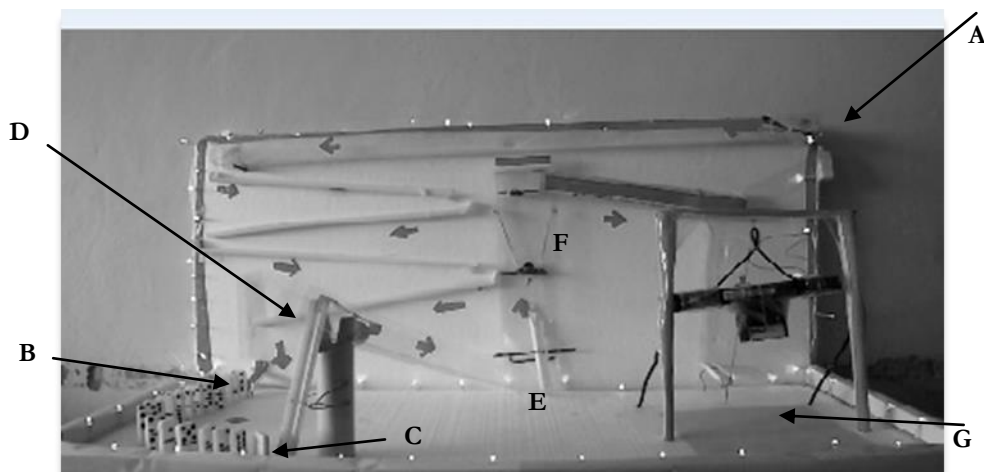
As ideias originais dos estudantes ficaram finalizadas em um final de semana, precisando ambos os grupos de mais dois dias para fazerem os ajustes finais em suas máquinas. As máquinas em funcionamento foram

filmadas menos de uma semana depois do exercício ter sido repassado aos estudantes.

### *Resultados*

*Descrição do funcionamento da máquina – Grupo 1 (ver Figura 1):* A primeira máquina consistia numa bolinha de gude (A) que desce por diversos planos inclinados até derrubar uma peça de domino (B) que, em efeito cascata, derruba diversas peças até acionar uma alavanca (C). Essa alavanca aciona outra bolinha de gude (D) que desce mais um plano inclinado que, no final (E), aciona outra alavanca (F) que atira para cima uma terceira bolinha de gude. Esta bolinha ativa uma terceira alavanca que liberta um barbante ligado a um carimbo que, na queda, carimba um papel como ação final da máquina (G).

**FIGURA 1:** Percurso de funcionamento da máquina de Rube Goldberg desenvolvida pelo grupo 1.

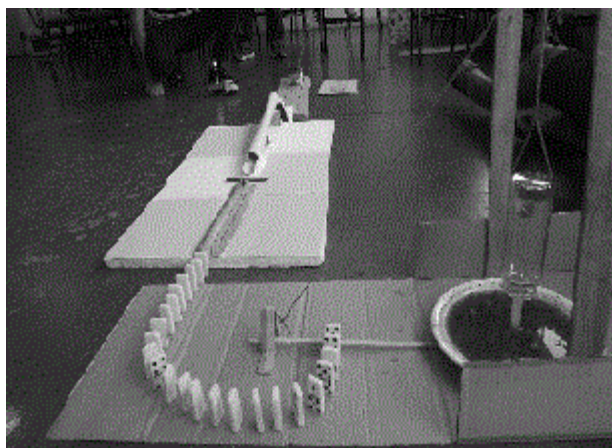


**Fonte:** foto do arquivo dos autores.

*Descrição do funcionamento da máquina – Grupo 2 (ver Figura 2):* A segunda máquina inicia com um mini-caminhão com uma vela acesa que para debaixo de um barbante. O barbante arde e se rompe, e libera outro mini-caminhão que desce um plano inclinado, até acionar uma alavanca que libera uma bolinha de gude. Essa bolinha desce por um plano inclinado

através de um tubo que, no final, colide com uma caneta que, por sua vez, libera uma segunda bolinha de gude em outro plano inclinado. No fim do plano, a bolinha deflagra uma reação em cadeia de peças de domino cuja derradeira peça aciona uma alavanca que, acionada, provoca a descida de um copo emborcado sobre uma vela colocada no meio de um prato cheio de água. Quando a chama da vela queima todo o oxigênio presente no copo, a água do prato começa a encher e subir no copo (um experimento comum em Química – e que era o objetivo final desta máquina).

**FIGURA 2:** A máquina de Rube Goldberg do grupo 2.



**Fonte:** foto do arquivo dos autores.

Após as filmagens das máquinas em funcionamento, um dos professores conversou com cada um destes dois grupos de estudantes sobre o exercício, pedindo a estes para indicarem o conhecimento científico e matemático incluído no funcionamento e na estrutura de suas máquinas.

Os estudantes do primeiro grupo explicaram o funcionamento da sua máquina usando quase exclusivamente linguagem do senso comum, com a exceção do termo gravidade (não a relacionando mesmo com força, por exemplo – ver tabela 1). Eles aplicaram a linguagem do senso comum e a terminologia do ensino médio de que se lembravam para explicar o conhecimento científico incluído em alguns componentes da máquina: ação-reação (para causalidade), efeito em cadeia (para reação em cadeia) ou

empurrão (para impulso). Eles conseguiram reconhecer menos de metade dos fenômenos da Física e nenhum dos princípios Matemáticos incluídos em sua máquina. Por exemplo, eles não reconheceram conceitos como: estabilidade, ponto de equilíbrio, forças, força gravitacional, forças em equilíbrio, impulso, energia potencial, energia cinética, fricção, energia necessária para compensar a resistência da gravidade, geometria, plano inclinado, forças incluídas em um plano inclinado, inclinação de um plano, reação em cadeia / em cascata ou causalidade.

**TABELA 1:** JResultados da Parte I do estudo (grupos 1 e 2).

	Grupo 1	Grupo 2
Fenômenos da Química reconhecidos	---	1
Fenômenos da Física reconhecidos	5	2
Princípios matemáticos reconhecidos	0	0
Uso de vocabulário apropriado	1	1

**Fonte:** dados coletados para este trabalho.

Deste modo, apesar dos estudantes indicarem quase 50% dos fenômenos e princípios gerais da Física (Mecânica) incluídos no funcionamento da sua máquina, eles não conseguiram apresentar os detalhes desses mesmos princípios (não conseguiram mesmo usar o vocabulário próprio da Física). Por exemplo, eles identificaram o empurrão inicial e a ação da gravidade como forças que colocam a bolinha de gude em movimento do ponto A para o ponto B, mas não consideram a fricção como o princípio explicativo das paradas sistemáticas da bolinha de gude em diversos ensaios de filmagem. Eles não conseguiram explicitar que o funcionamento da máquina remetia para a Mecânica e a reação em cadeia designaram por efeito em cadeia (um termo do fitness).

Já os estudantes do segundo grupo, reconheceram o experimento incluído no final da sua máquina, mas também usaram quase

exclusivamente linguagem do senso comum para explicarem o funcionamento de sua máquina, não tendo reconhecido que a maioria dos passos do funcionamento da sua máquina se relacionavam com a Mecânica.

## *Parte II do Estudo*

### *Contexto de ensino*

Embora não o tivessem explicitado aos seus alunos, os professores também queriam compreender como os estudantes analisavam e explicavam verbalmente o funcionamento de suas máquinas. Assim, os professores, como exercício final (Parte II deste estudo), decidiram: i. forçar os seus alunos a realizarem mais de uma aprendizagem em simultâneo (compreender os conhecimentos técnicos e científicos incluídos na máquina por si desenvolvida e usar linguagem técnica e científica adequada – introduzindo uma variação no objeto de aprendizagem, acrescentando uma dimensão ao objeto de aprendizagem: associação de conceitos científicos com termos científicos corretos – MARTON, 2015 –, de modo a perceber se o uso sistemático por parte dos estudantes da terminologia e vocabulário corretos tem impacto positivo em suas aprendizagens, tal como sugerido por MOJE, 1995) e ii. pedagogizaram o exercício pedindo aos seus alunos para explicarem aos seus colegas os princípios científicos subjacentes ao funcionamento de suas máquinas (exercendo, deste modo, a sua responsabilidade discursiva – CALDEIRA e BOSSLER, 2017a, 2017b, 2017c).

Apesar de o professor ter incentivado os dois grupos de alunos a explicarem o funcionamento de suas máquinas para os seus colegas de turma, apenas um deles conseguiu concluir a tarefa.

### *Resultados*



Uma semana mais tarde, os alunos apresentaram a sua máquina à turma e conseguiram identificar perto de 90% dos fenômenos físicos e matemáticos incluídos no funcionamento da máquina, usando quase exclusivamente linguagem científica e tecnicamente correta para explicar o seu funcionamento.

Deste modo, os resultados obtidos nesta segunda parte do estudo mostram que, quando incentivados pelo professor, os estudantes conseguem identificar mais fenômenos científicos e princípios matemáticos e também adquiriram e aplicaram mais correta e extensivamente o vocabulário técnico e científico apropriado à explicação do funcionamento de sua máquina. Nesta segunda parte do estudo, os estudantes não conseguiram aplicar o vocabulário científico apropriado em apenas duas ocasiões (ver tabela 2).

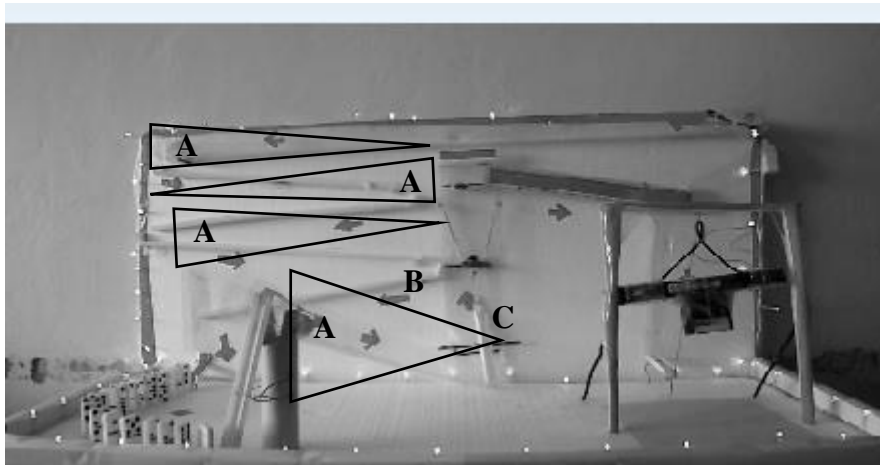
**TABELA 2:** Comparação dos resultados obtidos na primeira e segunda parte do estudo (grupo 1).

	Parte I	Parte II
Fenômenos da Física reconhecidos	5	12
Princípios matemáticos reconhecidos	0	2
Uso de vocabulário apropriado	1	25

**Fonte:** dados coletados para este trabalho.

Assim, em vez de usarem a expressão ‘efeito em cadeia’ ou ‘efeito em cascata’ ao efeito domino eles continuaram a usar a expressão ‘efeito em cadeia’; também não conseguiram aplicar corretamente a expressão ‘força necessária para compensar a resistência da gravidade’ quando a bolinha de gude é atirada para cima em C (ver Figura 3).

**FIGURA 3:** As explicações científicas e matemáticas dos estudantes do funcionamento da sua máquina de rube Goldberg.



**Fonte:** foto do arquivo dos autores

Os estudantes conseguiram identificar basicamente dois princípios matemáticos incluídos no funcionamento da máquina: geometria, nomeadamente as figuras geométricas presentes na estrutura da máquina (triângulos e retângulos – marcados com A na Figura 3) e a inclinação de um segmento de reta, representado pela hipotenusa (marcado com um B – que relacionaram corretamente com as forças dos componentes dos plano inclinado), necessárias para a bolinha de gude ganhar a velocidade suficiente para ativar a alavanca que atira para cima outra bolinha de gude (marcado com um C).

Finalmente, como encerramento da tarefa, os professores conduziram uma discussão sobre o impacto do uso de máquinas de Rube Goldberg em sala de aula. Todos os estudantes envolvidos nessa tarefa indicaram que conceber e montar mecanismos de Rube Goldberg contribuiu para tornar a disciplina e as aulas mais dinâmicas, proporcionando um ambiente de aprendizagem mais envolvente. Para além disso, os estudantes dos dois grupos referidos, consideraram também que analisar e explicar aos seus colegas a máquina que desenvolveram contribuiu para melhorar a sua aprendizagem.

## **Análise e discussão dos resultados**

Estes resultados revelam que: i. os estudantes identificaram mais fenômenos científicos e princípios matemáticos na segunda parte do estudo e que ii. também adquiriram e aplicaram mais correta e extensivamente o vocabulário e terminologia científica apropriada na segunda parte do estudo.

Induzir os estudantes a fazerem uma abordagem diferente do funcionamento da máquina teve um impacto positivo em suas aprendizagens. Identificar fenômenos científicos ou princípios matemáticos incluídos no funcionamento e estrutura de uma máquina de Rube Goldberg implica ter a capacidade de reconhecer esses fenômenos ou princípios em contraste uns com os outros (CALDEIRA e BOSSLER, 2017a, 2017c; LO e MARTON, 2013; MARTON, 2015): um triângulo é reconhecido como diferente de um retângulo pela quantidade de lados, por exemplo. E, ao nível do contraste, os dois grupos de estudantes conseguiram identificar a maioria dos fenômenos incluídos no funcionamento das máquinas; no entanto, não conseguiram nomear esses mesmos fenômenos usando terminologia cientificamente correta, por exemplo:

1. identificaram impulso mas nomearam empurrão;
2. identificaram gravidade mas não nomearam força da gravidade ou;
3. identificaram reação em cadeia mas nomearam efeito em cadeia.

Os estudantes que participaram neste estudo conseguem algum grau de generalização (CALDEIRA e BOSSLER, 2017a, 2017c; LO e MARTON, 2013; MARTON, 2015), mas o uso de linguagem do senso comum e daquilo que conseguem recordar do ensino médio não lhes permitiu, por exemplo, entender que estavam a usar terminologia incorreta, mesmo quando o professor lhes explicitava a terminologia correta. Só após o professor lhes ter feito o desafio de apresentarem a sua máquina aos seus colegas de turma é que se verificou a fusão em um só conjunto das diversas dimensões do objeto de aprendizagem (cada um dos fenômenos da Mecânica presentes no funcionamento e cada um dos princípios de Matemáticas presentes na

estrutura da máquina), pois, em simultâneo com a interiorização da terminologia e vocabulário corretos, houve a solidificação dos significados de cada um desses fenômenos e princípios pelos estudantes. Tal como Moje (1995) já tinha percebido, o uso da terminologia e do vocabulário corretos, no seu caso, por parte do professor, neste caso, por parte dos estudantes, é um fator que potencia a aprendizagem dos conceitos associados a essa mesma terminologia e vocabulário.

Os estudantes do grupo 2, mesmo não tendo feito a apresentação da sua máquina aos colegas de turma, conseguiram identificar 25% dos fenômenos da Química incluídos no funcionamento da máquina na parte I do estudo, mas após o incentivo do professor conseguiram identificar 50% desses mesmos fenômenos mais tarde (em conversa prévia à última aula da disciplina).

Deste modo, como esperado pela TVA (CALDEIRA e BOSSLER, 2017a, 2017c; MARTON, 2015; MARTON e PANG, 2006), pedir aos estudantes para apresentarem e explicarem o funcionamento da máquina de Rube Goldberg aos seus colegas, focando nos fenômenos científicos e princípios matemáticos subjacentes a esse funcionamento, induziu uma variação no objeto de aprendizagem e permitiu-lhes uma melhor compreensão do modo como a máquina funciona e, desta forma, mais facilmente relacionar diversos componentes do funcionamento e da estrutura da máquina com fenômenos científicos e conhecimento matemático.

Mas podemos ainda ir mais longe, como a pesquisa experimental já deixou bem claro (KULLBERG et al., 2016), encorajar os estudantes a aprender duas coisas em simultâneo exerce um impacto positivo em suas aprendizagens: compreender o conhecimento científico e matemático subjacente ao funcionamento e estrutura da máquina e explicar esse funcionamento e estrutura aos seus colegas usando a terminologia científica e matemática correta promoveu a aprendizagem dos estudantes.

A discussão final sobre o uso em sala de aula de mecanismos de Rube Goldberg com objetivos de ensino e aprendizagem enfatizou que conceber,

montar e analisar máquinas de Rube Goldberg pode contribuir, em simultâneo, para ambientes de aprendizagem mais envolventes e melhorar a aprendizagem dos estudantes.

## Conclusões

A concepção, montagem e análise de máquinas de Rube Goldberg em pequenos grupos colaborativos é um modo com muito potencial para promover, simultaneamente, um contexto de aprendizagem envolvente, uma variação no objeto de aprendizagem e induzir a aprendizagem de uma só vez de duas ou mais coisas (conceitos + terminologia, neste caso), proporcionando melhorias substanciais na aprendizagem dos estudantes. E essas melhorias são tanto maiores quanto os ambientes de ensino são suficientemente pedagogizados, ambientes em que os professores lideram as aprendizagens dos estudantes.

Alterar o objeto de aprendizagem do simples reconhecimento dos fenômenos científicos e princípios matemáticos para a sua explicação a seus colegas, usando para isso uma terminologia e vocabulário cientificamente corretos, exerce um impacto muito positivo na aprendizagem dos estudantes: eles vão do mero reconhecimento à verdadeira compreensão dos fenômenos da Física e da Química e dos princípios Matemáticos previamente identificados.

Por isso, para além da responsabilidade na promoção de um ambiente de aprendizagem liderado pelo professor, com o objetivo de melhorar as aprendizagens dos estudantes (cumprindo a sua responsabilidade instrutiva – HANSSON, 2010), este também tem uma responsabilidade discursiva (CALDEIRA e BOSSLER, 2017a, 2017b, 2017c; MARTON, 2015) na construção de contextos escolares pedagogizados, que permitem uma ou mais variações no objeto de aprendizagem (MARTON, 2015; MARTON e PANG, 2006) e encorajam a aprendizagem de diversas coisas de uma só vez

(KULLBERG et al., 2016;), sempre tendo em vista a promoção das aprendizagens e do sucesso escolar dos estudantes.

## Referências

BOSSLER, Ana Paula. Produção de animações com massa de modelar: gaps cognitivos, protagonismo e autoria em sala de aula. *Textos FCC* (Fundação Carlos Chagas), Vol. 47, 27-44, 2015.

\_\_\_\_\_, CALDEIRA, Pedro Zany. (Re)construção do conhecimento usando animações com massinha de modelar. *Comunicação apresentada na X EUTIC* (Lisboa, Portugal, 22 e 24 de outubro), 2014.

CALDEIRA, Pedro Zany, BOSSLER, Ana Paula. The Use of Animations in Science Education: The SPIRAL Model. Comunicação apresentada na *13<sup>th</sup> Conference on Education – Hawaii International Conference on Education* (Honolulu – 5 a 8 de janeiro), 2015.

\_\_\_\_\_, BOSSLER, Ana Paula. How and why Classroom Discourse can enhance students learning and achievement. Comunicação aceita na *17<sup>th</sup> Biennial Conference on Teachers and Teaching* (Salamanca, Espanha, 3 a 8 de julho), 2017a.

\_\_\_\_\_, BOSSLER, Ana Paula. Rube Goldberg machines and STEM education: a Brazilian case study. Comunicação aceita na *17<sup>th</sup> Biennial Conference on Teachers and Teaching* (Salamanca, Espanha, 3 a 7 de julho), 2017b.

\_\_\_\_\_, BOSSLER, Ana Paula. Instructional Use of Rube Goldberg contraptions: A Brazilian case study. Comunicação aceita na *12<sup>nd</sup> Conference of the European Science Education Research Association – ESERA* (Dublin, Irlanda, 21 a 25 de agosto), 2017c.

CIMPIAN, Andrei. The impact of generic language about ability on children's achievement motivation. *Developmental Psychology*, Vol. 46, 1333–1340, 2010.

\_\_\_\_\_, ARCE, Holly-Marie C., MARKMAN, Ellen M., DWECK, Carol S. Subtle Linguistic Cues Affect Children's Motivation. *Psychological Science*, Vol. 18, No 4, 314-316, 2007.

DWECK, Carol S. The perils and promises of praise. *Educational Leadership*, Vol. 65, 34–39, 2007.

\_\_\_\_\_. *Mindset: How you can fulfil your potential*. Londres: Constable & Robinson Limited, 2012.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 20. ed. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 2001.

JONES, B.F., VALDEZ, G., NOWAKOWSKI, J., RASMUSSEN, C. *Plugging in: Choosing and Using Educational Technology*. Washington DC: Council for Educational Development and Research, 1995.

HANSSON, Å. Instructional responsibility in mathematics education: Modelling classroom teaching using Swedish data. *Educational Studies in Mathematics*, Vol. 75, 171–189, 2010.

HERRINGTON, J., OLIVER, R., REEVES, T. Patterns of engagement in authentic learning environments. *Australian Journal of Educational Technology*, Vol. 19, 59–71, 2003.

HUNG, D., TAN, S. C., KOH, T. S. Engaged Learning: Making Learning an Authentic Experience. In D. Hung & M. S. Khine (Eds.), *Engaged Learning with Emerging Technologies*. Dordrecht: Springer, 2005.

KAPUR, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional Science*, Vol. 38, No 6, 523–550, 2010.

KULLBERG, Angelika, RUNESSON, Ulla, MARTON, Ference, VIKSTRÖM, Anna, NILSSON, Pernilla, MÄRTENSSON, Pernilla, HÄGGSTRÖM, Johan. Teaching one thing at a time or several things together? – teachers changing their way of handling the object of learning by being engaged in a theory-based professional learning community in mathematics and science. *Teachers and Teaching: theory and practice*, Vol. 22, No 6, 745-759, 2016.

LING, Lo Mun, MARTON, Ference. Towards a science of the art of teaching. *International Journal for Lesson and Learning Studies*, Vol. 1, No 1, 7–22, 2011.

MARTON, Ference. Sameness and Difference in Transfer. *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 15, No 4, 499-535, 2006.

\_\_\_\_\_. *Necessary conditions of learning*. Nova York, Routledge, 2015.

\_\_\_\_\_, PANG, Ming Fai. On Some Necessary Conditions of Learning. *Journal of the Learning Sciences*, Vol. 15, No 2, 193-220. 2006.

\_\_\_\_\_, PANG, Ming Fai. The paradox of pedagogy: The relative contribution of teachers and learners to learning. *Iskolakultura*, Vol. 1, No 1, 1–29, 2007.

\_\_\_\_\_, PANG, Ming Fai. Meanings are acquired from experiencing differences against a background of sameness, rather than from experiencing sameness against a background of difference: Putting a conjecture to the test by embedding it in a pedagogical tool. *Frontline Learning Research*, Vol. 1, 24–41, 2013.

\_\_\_\_\_, MORRIS, P. (Eds). What Matters? Discovering Critical Conditions of Classroom Learning. Gotemburgo, *Acta Universitatis Gothoburgensis*, 2002.



\_\_\_\_\_, RUNESSON, U., TSUI, A. B. M. Space of Learning. In Ference Marton e Amy B. M. Tsui (Eds.). *Classroom Discourse and the Space of Learning* (p. 3-23). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2004.

\_\_\_\_\_, TRIGWELL, K. Variatio est mater studiorum [Variation is the mother of learning]. *Higher Education Research & Development*, Vol. 19, No 3, 381–395, 2000.

\_\_\_\_\_, TSUI, A. B. M. *Classroom Discourse and the Space of Learning*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2004.

MOJE, E. B. Talking about science: an interpretation of the effects of teacher talk in a high school science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 32, 349–371, 1995.

OLIVER, R. Engaging first year students using a Web-supported inquiry-based learning setting *High Education*, Vol. 55, 285-301, 2008.

PANG, M. F., MARTON, Ference. Interaction between the learners' initial grasp of the object of learning and the learning resource afforded. *Instructional Science*, Vol. 41, No 6, 1065–1082, 2013.

PRINCE, Michael. Does Active Learning Work? A Review of the Research. *Journal of Engineering Education*, Vol. 93, No 3, 223-231, 2004. Disponível em [http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Prince\\_AL.pdf](http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/Prince_AL.pdf), acesso a 10 de abril de 2014.

STERNBERG, Robert J. Intelligence, Competence, and Expertise. Andrew J. Elliot, C. S. Dweck (Ed.), *Handbook of Competence and Motivation* (pp.15-30). Nova York, The Guilford Press, 2005.

WEINER, Bernard. *An Attributional Theory of Motivation and emotion*. Nova York, Springer-Verlag, 1986.

\_\_\_\_\_. Motivation from an Attributional Perspective and the Social Psychology of Perceived Competence. In Andrew J. Elliot, C. S. Dweck (Ed.), *Handbook of Competence and Motivation* (pp.73-84). Nova York: The Guilford Press, 2005.

Recebido em junho de 2017.

Aprovado dezembro de 2017.