

A construção de redes de conhecimento em laboratórios didáticos STEAM

RESUMO

Os laboratórios STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática) são ambientes de aprendizagem práticos e interdisciplinares. Quando os alunos estão trabalhando nesses laboratórios, o aprendizado é construído por meio de vários fluxos de informações que se espalham por todo o ambiente. Sempre há uma grande colaboração entre alunos, professores e entre eles e dispositivos, kits e ferramentas. Para entender o processo de construção dessa rede de conhecimentos, foi elaborada uma metodologia de mapeamento dos fluxos de informação. Os mapas podem fornecer informações importantes para a gestão do conhecimento nesses ambientes. Nosso objetivo foi estudar como o espaço molda os fluxos de conhecimento e como os alunos podem redesenhar esses fluxos de acordo com as necessidades do projeto. O professor apresentou um projeto fechado sobre robótica para 16 alunos. Os pesquisadores utilizaram uma metodologia etnográfica, observando os alunos no ambiente e anotando suas observações em um caderno de campo. Esses dados foram inseridos em um software, que gerou o mapa de interação. A análise da rede apontou 3 elementos que devem ser destacados: (a) isolamento, (b) hubs e, (c) o papel do banco central. Cada um estava relacionado a uma característica do espaço que contribuía para a dinâmica da troca de informações no ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Laboratórios Educacionais. Aprendizagem Baseada em Projetos. STEAM. Robótica Educacional. Espaços Maker. Teoria Ator-Rede.

Marco Braga

marcobraga.academic@gmail.com
[0000-0002-1289-9178](tel:0000-0002-1289-9178)

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Roni Costa Ferreira

ronicostaf@gmail.com
[0000-0002-3695-6421](tel:0000-0002-3695-6421)

Instituto Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

Carlos Schettini Pinto

schettini.buco@gmail.com
[0000-0001-6674-289X](tel:0000-0001-6674-289X)

Centro Federal de Educação Tecnológica
Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

INTRODUÇÃO

Os ambientes de aprendizagem STEAM têm crescido consideravelmente nos últimos anos em todo o mundo. Desde o século XIX, os laboratórios eram espaços com enfoque em diversas ciências básicas. O núcleo do aprendizado era o conhecimento de uma ciência específica (BRAGA, 2000). No entanto, recentemente novos tipos de laboratórios surgiram com outros objetivos. O foco é desenvolver habilidades e competências, não apenas aprender conhecimentos.

A rápida mudança nas tecnologias tem exigido uma compreensão sobre o fazer STEAM, centrada no desenvolvimento dos projetos. Mais do que conteúdos, é importante aprender a pensar a partir de problemas, criar soluções, fazer modelos teóricos e prototipá-los. Os novos ambientes são espaços abertos com dispositivos e ferramentas não específicos. Em muitos lugares, esses novos laboratórios receberam nomes diferentes como Espaços Maker, Fablabs, Oficina de Robótica etc. Vários países desenvolveram sua própria visão sobre esses ambientes, dependendo da cultura tecnológica regional (SANG; SIMPSON, 2019). Como resultado, o número de artigos sobre o papel pedagógico desses novos ambientes também cresceu (WANG *et al.*, 2019). São ambientes de aprendizagem com uma dinâmica diferente das utilizadas nos antigos laboratórios (BECKER; JACOBSEN, 2019). As atividades tendem a ser mais abertas, com um maior deslocamento dos estudantes em todo o ambiente e com uma boa dose de criatividade (BROWN, 2009). Nos laboratórios antigos, havia um maior número de atividades fechadas, conduzidas por roteiros que explicavam os passos que deveriam ser seguidos. Todos os artefatos estavam na bancada e os estudantes interagiam apenas com os colegas de equipe.

Os novos laboratórios não são ambientes estáticos. Quando os estudantes estão trabalhando com projetos, o aprendizado é construído por meio de diversos fluxos de informações que preenchem todo o espaço. Sempre há interações entre estudantes, o professor, dispositivos, kits e ferramentas. Essas interações são fios tecidos, formando uma rede durante o processo de aprendizagem.

Os fluxos de informação podem ter diferentes configurações, dependendo de vários fatores. A arquitetura do ambiente é uma delas (IMMS; BYERS, 2017; CARDELLINO *et al.*, 2018). Os laboratórios tradicionais de ensino de ciências tendem a replicar a arquitetura de uma sala de aula tradicional, com a disposição das carteiras sendo substituídas por bancadas. O professor é o centro do ambiente. Aqueles estudantes que ficam sentados de costas para esse centro, viram-se para assistir à explicação do professor, voltando em seguida à posição ao redor da bancada para trabalhar com suas equipes. As ferramentas ou kits são posicionados em cada bancada evitando a circulação de alunos e o trânsito de pessoas no espaço. A colaboração é focada no grupo de cada bancada, não em todo o ambiente de aprendizagem. Na maioria das atividades, os estudantes ficam o tempo todo em suas posições. As dúvidas são dirigidas ao professor, que é quem circula pelo ambiente.

Esse tipo de configuração é uma cópia do antigo sistema de fábricas. Pessoas trabalhando o tempo todo em uma posição fixa de um setor e executando uma tarefa definida ao longo dos dias, meses e anos. No mundo do trabalho moderno ainda é possível encontrar esse tipo de trabalho. Porém, tem surgido diversas novas funções do mundo do trabalho onde as pessoas executam diferentes tarefas, colaborando com muitos colegas de diferentes setores.

Este artigo faz parte de uma pesquisa sobre a dinâmica dos trabalhos em um ambiente de aprendizagem STEAM durante o desenvolvimento de um projeto de robótica¹. Será utilizado o conceito de rede (BARABÁSI, 2014) na compreensão das interações e alguns elementos da Teoria Ator-Rede (LATOUR, 2012). Durante uma atividade numa aula de robótica, diversos atores, como alunos, professores, dispositivos, ferramentas e características do espaço constroem uma rede onde cada um tem participação ativa na difusão do conhecimento. Neste artigo, iremos nos concentrar apenas no papel do ator espaço na construção dessa rede.

As observações sobre as atividades educacionais foram anotadas no diário de campo para posterior análise. Não houve contato entre os pesquisadores e os alunos durante essa atividade educativa. Nenhum aluno foi identificado.

A questão que enfocaremos será como as características do ambiente, sua arquitetura e disposição do mobiliário, podem moldar o processo de aprendizagem, abrindo caminhos, ou criando barreiras para a difusão do conhecimento nesta rede.

Neste estudo, o professor baseou a atividade nos fundamentos da Aprendizagem Baseada em Projetos (*PbL*) que estava sendo utilizada para o ensino (BELL, 2010; DYM *et al.*, 2005). Os alunos estavam trabalhando no desenvolvimento de um projeto cuja essência do trabalho é a colaboração.

REFERENCIAL TEÓRICO

A construção da análise que pretendemos realizar parte da confluência de diversas teorias e conceitos que, juntos, fornecem um referencial poderoso para a compreensão das dinâmicas ocorrida nos modernos ambientes de aprendizagem STEAM. Procuraremos lançar aqui um olhar resumido sobre cada uma delas, sabendo que o foco estará não em cada uma separadamente, mas em sua junção.

O primeiro fundamento no qual a investigação foi baseada é a Teoria Ator-Rede, cuja visão sobre os trabalhos em novos laboratórios nos levou as interações formadas tanto por atores humanos como não humanos. Esses atores podem ser estudantes e professores, assim como dispositivos, ferramentas, software e até mesmo arquitetura. Ambos têm a capacidade de interagir trocando informações e participando ativamente do processo de aprendizagem.

A Teoria Ator-Rede (TAR) foi desenvolvida inicialmente no Centro de Sociologia da Inovação na *École des Mines de Paris (ParisTech)*. A partir da década de 80, estudiosos de vários países passaram a basear seus estudos nessa teoria para entender o papel das relações sociais em projetos de ciência e tecnologia. No Brasil, ela é identificada fortemente com a obra de Bruno Latour devido as traduções de diversos livros seus para o português. Mas existem diversos outros pesquisadores como Michel Callon, John Law e Madelaine Akrich. Na TAR não apenas os humanos são levados em conta como “atores” das relações sociais. Diversos outros elementos, antes não considerados pela Sociologia tradicional, passaram a ter papel preponderante. Para além dos humanos, os estudos sobre o desenvolvimento de projetos passaram a considerar centrais as interações entre pessoas, dispositivos, ferramentas, softwares além de outros atores que podem ser formados até por outras redes, como centros de pesquisa, fabricantes de equipamentos e software, ou setores de empresas (LATOUR, 1997; CALON, 1986; LAW, 2002; BIJKER, 1995). Cada um deve ser considerado com o mesmo nível de

importância quando as interações forem analisadas. Os estudos tradicionais sempre consideraram apenas as interações entre atores humanos, atribuindo ao artefato um papel secundário, como mediadores entre humanos (LATOIR, 2012).

No entanto, atores não humanos podem desempenhar um papel fundamental nessas interações. Desde então, a TAR foi se tornando uma teoria social de importância que se expandiu dos laboratórios científicos e tecnológicos para diversos outros ambientes.

Um artefato, antes considerado apenas como mediador nas relações sociais, pode mudar a estrutura de uma comunidade e se tornar um ator relevante nas interações sociais. Um dos exemplos utilizados por Verbeek (2005) é a introdução do micro-ondas nas residências americanas. Este artefato mudou os hábitos alimentares de muitas cidades e a estrutura de troca de informações nas comunidades. Quando foi lançado no mercado, muitas pessoas perceberam que encontrariam uma nova forma de preparar alimentos rapidamente. É possível preparar refeições para toda a semana de uma vez, gerando economia de tempo, ou até mesmo comprá-las prontas no mercado. No entanto, ele só permite o preparo de uma refeição de cada vez. É quase impossível a uma família fazer a refeição coletivamente, conversando e trocando ideias sobre o dia a dia. Esse fato provocou nos Estados Unidos da América uma quebra no fluxo de informações entre as famílias, que tinham por hábito jantarem juntas e conversarem sobre como havia sido o dia. De forma mais ampla, impactou a vida comunitária nos bairros ao eliminar um dos momentos importantes de troca de informações sobre os problemas dessas comunidades.

Para a ANT, os atores humanos e não humanos podem se unir para construir híbridos também. Os humanos não voam. Mas é possível construir um híbrido formado por um avião + humano. Este híbrido pode voar e tem o poder de mudar as interações sociais, criando possibilidades de trabalho colaborativo de pessoas de qualquer país em qualquer lugar do mundo ou permitindo o fornecimento de insumos globais para o desenvolvimento de pesquisas e produtos.

A rede de conhecimento pode ser formada a partir de vários fatores, desde a relação entre os estudantes antes da atividade de aprendizagem até o posicionamento das bancadas escolhidas pelos estudantes para sentar-se (BRAGA; GUTTMANN, 2018). Durante as atividades nos ambientes STEAM, os alunos precisam desenvolver projetos e criar diversas interações que envolvam a aprendizagem de conhecimentos e habilidades gerando o desenvolvimento de competências. Essa rede pode ser composta por diversos atores humanos, por não humanos e ainda por outras redes que se comportam naquele momento como atores híbridos (CALON, 1986).

O primeiro nível desta rede é formado apenas por atores humanos que trabalham no laboratório: o professor, todos os estudantes e às vezes um técnico que mantém o laboratório utilizável. É muito comum que a interação entre todas essas pessoas aconteça de forma síncrona durante o desenvolvimento de alguma atividade. Eles podem interagir perguntando algo uns aos outros ou observando alguma ação como a montagem de um kit. É uma rede presencial e todas as interações podem ser observadas pelos pesquisadores presentes no laboratório ou até registradas por uma câmera.

O segundo nível envolve a interação entre os alunos e dispositivos, kits ou ferramentas. Dessa interação, surge um híbrido estudantes-artefatos. Muitos

estudantes quando desejam aprender alguma montagem de um artefato recorrem ao *Youtube*, através de um *smartphone* ou computador. Nesse momento o *smartphone*, que em alguns casos tem a função de ator não humano, assume a função de mediador entre dois atores, o estudante e o aplicativo *Youtube*. Em uma análise mais profunda, pode-se dizer que é uma interação assíncrona entre humanos mediadas pelo *smartphone* + *Youtube*. Nos modernos laboratórios STEAM, o *Youtube* tem exercido um importante papel de repositório de informações. Estudantes sabem disso e o utilizam bastante quando desejam realizar alguma operação que não conhecem.

Com isso, os artefatos podem assumir funções diversas, seja como atores ou como mediadores. Mas mesmo na mediação entre os humanos, o artefato pode ser um ator se moldar essa interação, dependendo das possibilidades que oferece. Para alguns esta mediação poderia se mostrar passiva, mas tem um papel preponderante porque não é estática e está evoluindo, podendo ter a capacidade de moldar a própria interação.

Existe ainda um terceiro nível da rede. Se pensarmos nas redes de pesquisadores e desenvolvedores dos artefatos (processadores, circuitos, telas etc.) e de software que possibilitaram essa ação, a rede acaba sendo percebida como ainda mais complexa (LATOIR, 2012). É o que Calon (1986) chama de rede-mundo. Ao estudar a criação do primeiro carro elétrico na França, denominado VEL, Calon percebeu que a simples união dos diversos atores envolvidos não é o bastante para o surgimento de uma rede. A *Électricité de France (EDF)* convidou diversas empresas para juntas conceber e desenvolver esse carro na década de 70 do século XX. A *Renault* se encarregaria dos chassis, a *CGE (Compagnie Générale d'Électricité)* das baterias e a própria *EDF*, coordenadora do projeto, do sistema de abastecimento de energia. Juntar as expertises de empresas líderes em seus mercados garantiria o sucesso do projeto. Entretanto, logo se percebeu que não seria simples assim. Cada empresa possuía um conhecimento, objetivos e uma linguagem própria, diferente das demais. Cada uma delas se constituía de uma rede em si mesmas. A construção de uma rede que permitisse o fluxo de informação entre essas empresas necessitaria de uma tradução entre os objetivos e expertises. Havia a necessidade de criação de mecanismos de tradução. Calon chamou de porta-voz aos tradutores. Nesse caso, a sinergia não aconteceu. Essa é uma realidade percebida para que uma rede de atores consiga realmente se integrar. O voo de um único avião é fruto da interação de diversas redes, da venda de passagens a fornecedora de combustível, sendo bem maior que a própria companhia aérea.

Um laboratório ou ambiente STEAM é um ponto de convergência (hub) entre diversas redes. São fabricantes de dispositivos, software ou mesmo mobiliário que se encontram naquele ambiente. Em cada um desses artefatos existe uma concepção de ensino. Essas concepções nem sempre se adequam ao projeto pedagógico que se deseja estabelecer. Muitos aplicativos ofertados às escolas passam uma ideia de modernidade por serem tecnológicos, mas partem de uma visão educacional tradicional, onde o professor apresenta o conteúdo e os estudantes aprendem. São pouco interativos ou não permitem colaboração. Para que as redes realmente funcionem e sua missão seja cumprida é necessário criar aquilo que ficou conhecido como Inteligência Coletiva.

INTELIGÊNCIA COLETIVA

As ações que conectam várias redes que estão funcionando ou já trabalharam com o mesmo problema ou com um problema similar exigem um entrosamento. A simples interação não garante que o objetivo será atingido. Em muitos casos é necessária a tradução entre as redes defendida por Callon (1986), pois cada uma delas pode estar enxergando o problema de forma diferente. O projeto do carro elétrico uniu empresas de ramos diferentes num mesmo projeto. Se cada uma cuidar da sua parte sem entender como as demais estão trabalhando, a experiência será um fracasso. Quando se consegue o entrosamento de ações, atinge-se o que ficou conhecido como Inteligência Coletiva. Nesse caso, o todo é maior do que a soma das partes.

Levy (1999) acredita que na Inteligência Coletiva, o conhecimento está espalhado entre várias pessoas e diversos bancos de dados. Inteligência é uma função de trabalho coordenado entre pessoas e entre pessoas e fontes de conhecimento. Por isso, as pessoas devem contar com diferentes formas de conexão e diversas fontes de armazenamento de conhecimento em locais de fácil acesso. Os grandes centros intelectuais da Antiguidade como Bagdá e Alexandria ou Paris e Oxford na Idade Média produziram uma diversificada rede de pensadores, copistas, bibliotecários e grandes acervos de pergaminhos ou livros. Outras redes, construídas ao longo da história, chegaram a ser mais complexas ainda. A Holanda do século XVII viu surgir um movimento em torno de um artefato, a lente, que envolveu filósofos (Descartes) físicos (Huygens), biólogos (Leeuwenhoek) e artistas (Vermeer), que trocavam ideias por meio de cartas (ALCÂNTARA *et al.*, 2019). A partir dela, foram produzidas obras de arte com riqueza de detalhamento a partir do uso da câmara escura, um artefato científico. Dessa rede também foram aperfeiçoados a luneta e o microscópio, bem como correntes filosóficas que buscaram compreender a relação entre o conhecimento abstrato e a observação. Essas redes são estudadas hoje como uma inteligência coletiva onde humanos e artefatos interagem por meio de cartas.

A Inteligência Coletiva não surge naturalmente. É fundamental criar um ambiente adequado onde as pessoas possam trabalhar juntas focando nos objetivos e compartilhando conhecimento. Os elementos da equipe devem ter habilidades e competências complementares e possuírem uma boa plataforma de interação.

Quando os professores criam equipes para a aprendizagem colaborativa, não é fácil prever que tipo de inteligência coletiva surgirá dessa atividade. A inteligência coletiva poderá surgir em diferentes níveis ou até não surgir. A criação de um espaço adequado no ambiente STEAM é a plataforma para essa criação, mas o que vai acontecer a partir desse ponto não pode ser previsto.

METODOLOGIA

O propósito desta pesquisa foi procurar entender como o ambiente (ator não-humano) interagiu com os estudantes e o professor (atores humanos) durante o desenvolvimento de um projeto STEAM, moldando a aprendizagem. Moldar significa dar forma, facilitando ou dificultando o desenvolvimento de uma inteligência coletiva.

Nossa investigação ficará apenas nos dois primeiros níveis da rede, as interações entre humanos e os atores não-humanos, presentes no mobiliário e na arquitetura do ambiente.

Os alunos tiveram liberdade para criar seu próprio processo de trabalho. Podiam formar as equipes e escolher suas posições dentro do espaço. No entanto, o espaço era definido previamente por várias características, como a posição do mobiliário, formado pela posição das bancadas de trabalho das equipes, pela mesa do professor, um quadro e a existência de uma bancada central com muitos materiais. O conjunto desses elementos formavam parte dos atores não humanos que iriam formatar a rede.

Os estudantes puderam construir formas de intercâmbio de conhecimentos durante o desenvolvimento do projeto, interagindo entre si e com os elementos do ambiente de acordo com as necessidades do projeto. Em termos gerais, na linguagem do design, queríamos entender a experiência do usuário (UX) para projetar configurações futuras para os ambientes STEAM.

Os alunos eram do 9^o ano do ensino Fundamental de em uma escola pública, iniciantes em termos de robótica. As atividades eram introdutórias, de aprendizagem básica tanto da codificação como da montagem dos artefatos. Eles realizavam diferentes atividades a cada aula. O objetivo era apresentá-los ao trabalho com a robótica, fazendo-os interagir com as ferramentas e peças por meio de um projeto introdutório. O professor propôs um projeto fechado em que eles foram desafiados a montar um carro pequeno, programando-o para completar uma volta inteira em um circuito. O projeto começou com uma palestra em sala de aula sobre os elementos básicos do projeto. Foram 21 alunos num primeiro momento.

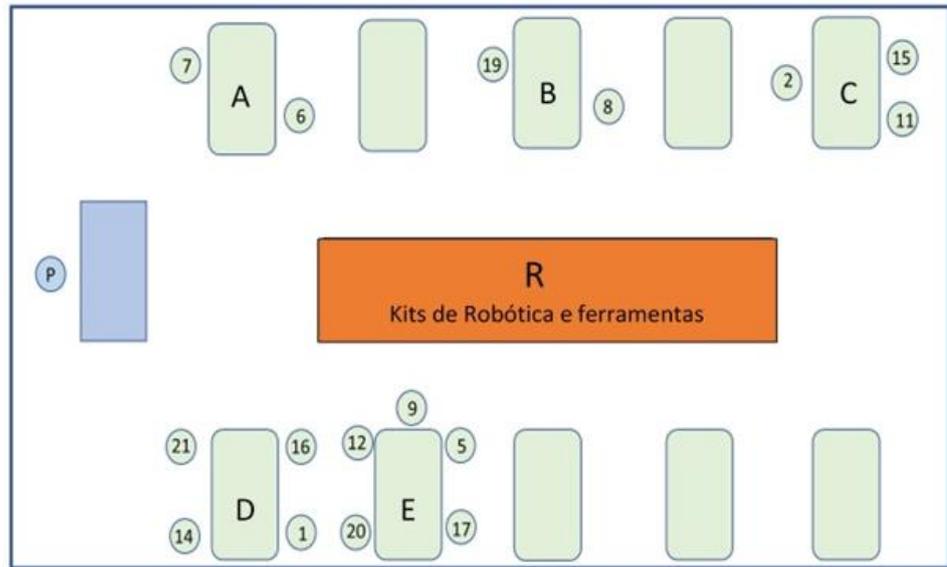
Os pesquisadores não interferiram no processo educacional, utilizando-se somente de observação e anotações num diário de campo. Cada aluno recebeu uma identificação por meio de um número (de 1 a 21), que foi anotada no diário de campo no dia da apresentação do projeto.² Após a apresentação inicial, apenas 16 estudantes continuaram participando da oficina. Dessa forma, foi mantida a numeração estabelecida inicialmente.

Os estudantes podiam escolher sua equipe livremente com um máximo de 5 participantes. Porém, foram criadas 5 equipes, sendo apenas uma com 5 participantes (Equipe E), uma com 4 (Equipe D), uma com 3 (Equipe C) e duas com 2 participantes (Equipe A e B). Essas equipes foram criadas com base na empatia e no conhecimento prévio. O professor não impôs a necessidade de cada equipe ter obrigatoriamente 5 participantes, nem dos estudantes formarem turmas com novos colegas. Eles escolheram livremente seus colegas.

Eles tinham instruções claras para iniciar o processo, mas não para encerrá-lo. Houve necessidade de buscar informações nas fontes de informação.

Os alunos entravam no laboratório e escolhiam suas posições nas bancadas de acordo com suas preferências (Fig. 1). O professor não indicou posições.

Figura 1 – Configuração inicial do laboratório



Fonte: Autores (2020).

O laboratório tinha uma configuração tradicional de bancadas de trabalho. Para ganhar mais espaço no ambiente e poder contar com as tomadas de energia próximas, as bancadas foram encostadas na parede (uma face). Esperava-se que os estudantes se sentassem em torno das outras 3 faces de cada bancada. Essa expectativa se confirmou.

A diferença mais importante entre a configuração tradicional e aquelas que configuramos foi a introdução de uma bancada de trabalho central. Esta bancada tinha um papel importante no desenvolvimento do projeto. Foi o ponto focal de todas as atividades. Todas as ferramentas e kits de robótica permaneceram nesta bancada central. Portanto, os estudantes deveriam deixar a bancada da equipe e caminhar até a bancada central para retirar os materiais necessários ao trabalho. Nesse momento, esperávamos que os estudantes pudessem trocar informações com colegas de outras equipes e ver os outros projetos que estavam sendo desenvolvidos. Em termos de estudos de gestão de conhecimento, a bancada central desempenhou o papel de ponto de encontro informal, onde as pessoas podem se encontrar, conversar sobre seus problemas. Em termos de redes sociais, a bancada central pode ser entendida como um HUB, um ponto de conexão entre todos os atores humanos e não humanos. Portanto, é um local destinado a facilitar o surgimento da Inteligência Coletiva. Quando as pessoas podem trocar ideias e informações, elas melhoram suas capacidades de compreensão dos problemas a partir do compartilhamento de olhares, daí podem surgir novas soluções.

Neste artigo, não analisaremos todas as interações possíveis entre os atores humanos e não humanos. Vamos considerar apenas as relações entre estudantes (atores humanos) e os elementos do espaço como mobiliário (bancadas, cadeiras, quadro) e a arquitetura. Nesse sentido, toda a bancada central pode ser considerada como um único ator não humano independente dos objetos que se encontrem sobre ela. Embora a maior parte do encontro entre atores humanos e não humanos (híbridos) tenha acontecido neste local, o trabalho dos híbridos aconteceu nas bancadas da equipe. Eles merecerão atenção especial em outra oportunidade.

Os pesquisadores observaram toda a atividade e anotaram as posições, iniciais, deslocamentos dos estudantes entre o mobiliário e suas interações a bancada central. A partir daí foi criada uma planilha. Esses dados foram inseridos no *software Gephi*, que gerou o mapa de interações.

Neste artigo, não vamos nos deter no número de interações entre dois atores. Pretendemos criar um mapa de interação procurando identificar os caminhos de interação no ambiente. Comparando o laboratório com uma cidade, queremos criar um mapa de ruas e rodovias a partir da observação dos fluxos de informação. Neste momento, não estudaremos a quantidade de carros e ônibus que circulam nessas ruas ou, em termos dessa pesquisa, a quantidade de informações que fluem por essas vias da rede.

A duração desta atividade foi de 50 minutos, mas todas as demais reuniões de trabalho foram acompanhadas por um pesquisador e registradas em diário de campo.

RESULTADOS E ANÁLISES

A primeira observação realizada foi sobre a posição escolhida pelos alunos para a organização do trabalho. No laboratório havia 10 bancadas com 40 posições. As equipes contavam com um total de apenas 16 alunos para preencher essas vagas. Entretanto, 11 alunos optaram por sentar-se nas bancadas próximas ao professor. Apenas 5 alunos preencheram as bancadas mais distantes em relação à mesa do professor. Apesar de nesse tipo de ambiente nada ser estático, desde a posição do professor que circula entre as bancadas como dos alunos, que também podem circular por todo o espaço sem restrições, ao entrar no laboratório, a imagem da sala de aula continua presente. Dois elementos são fundamentais para esse reconhecimento: a existência de um quadro branco e da mesa maior à sua frente, entendida como “a mesa do professor”. Esses elementos do mobiliário são atores não humanos que hierarquizam e configuram a dinâmica do espaço.

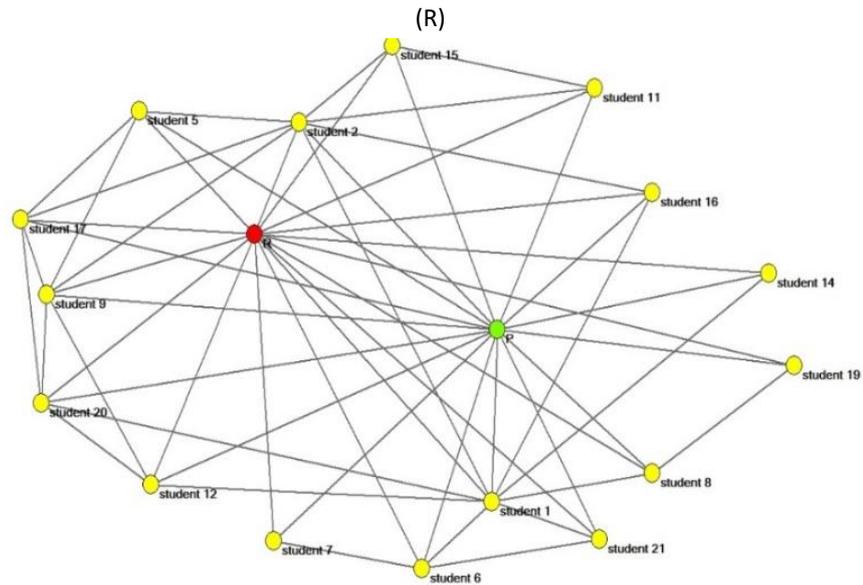
Hoje existem infinitas fontes de informação para além do professor. Mas no jogo da escola é ele quem detém a chave da avaliação. Logo, mais que fonte de informação, o professor detém informação privilegiada por ser aquele que vai produzir a cobrança. Portanto, quase instintivamente, a maior parte dos alunos senta-se perto dele.

Os alunos, quando trabalham num laboratório tradicional, ficam isolados em suas bancadas. A colaboração é permitida entre colegas da mesma equipe. Compartilhamentos externos podem ser entendidos como “cola” entre equipes. A bancada colocada estrategicamente no centro do ambiente, com os materiais que seriam utilizados na atividade, procurou quebrar esse tabu. Era necessário um deslocamento constante da bancada da equipe até a central para pegar peças ou ferramentas. Em alguns casos, era necessário circular a bancada para encontrar aquilo que se desejava. Braga e Guttmann (2019) argumentam que quando há pontos de encontro em ambientes de aprendizagem abertos, a colaboração cresce e há uma maior interação entre todos os alunos aumentando a Inteligência Coletiva do grupo. Esse movimento tenderia a induzir a troca de informações e aumentar a colaboração por todo o ambiente. Em muitos casos alunos pegam algum material e não devolvem à bancada central. Isso obriga os demais a irem de bancada em bancada procurando o que necessitam.

A topologia da rede, estabelecida no laboratório durante a atividade, foi composta por 18 atores. Havia 17 atores humanos, 16 alunos e o professor(P). Consideramos nesta primeira abordagem apenas 1 ator não humano, a bancada de trabalho R.

A primeira topologia extraída da atividade teve duração de 10min no início da atividade. A condição ideal de interação para a construção de uma Inteligência Coletiva deveria ser um conjunto de interações que envolvesse todos os atores, ou seja, cada ator deveria interagir com os outros 17 atores. Entretanto, isso não aconteceu. A totalidade das interações não foi preenchida.

Figura 2 – Mapa de interações entre estudantes (student), professor (P) e bancada central (R)



Fonte: Autores (2020).

Na teoria de redes, existe um cálculo para esta condição, denominado Clustering Coefficient (CC) ou Coeficiente de Agrupamento. O CC é a relação entre as interações reais (RTI), ou seja, as interações que realmente existiram, e o total de interações possíveis (TPI) (BARABASI, 2014).

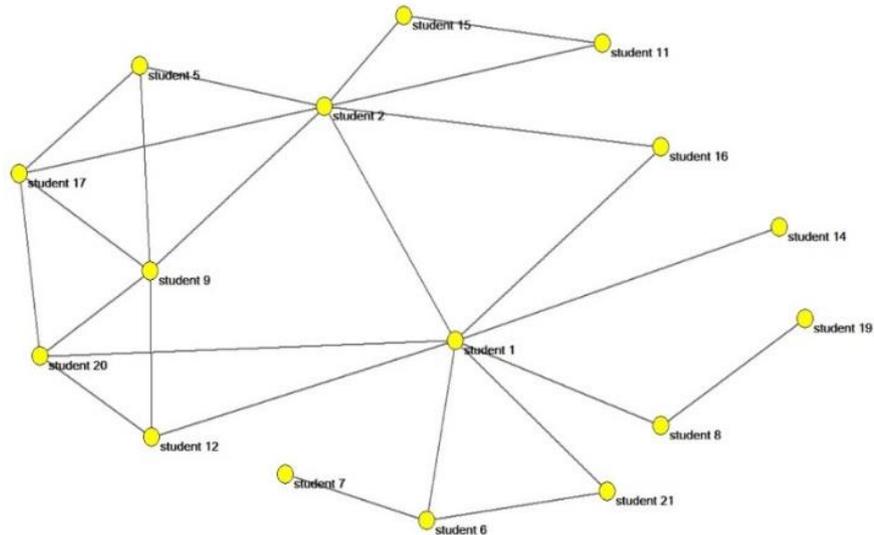
Os dados coletados na rede indicam que apenas 35,8% das possíveis interações aconteceram. Esse número seria um bom CC para uma rede com muitos atores. Mas para uma rede com poucos atores é considerada de baixa interação.

A situação pode ser considerada mais crítica se o professor e a bancada forem excluídos da rede (Fig.3). O CC cai de 35,8% para 20%, mostrando que o professor e a bancada central possuem um enorme poder de conexão na rede. Durante uma aula tradicional, o professor fala para todos os estudantes. Logo, a informação é gerada de forma global, mas não sabemos se é recebida por todos, já que alguns podem estar distraídos. Nas atividades de laboratório, ele tende a transmitir informações para estudantes de forma individualizada ou para grupos de alunos. Mas ainda assim, é uma fonte de recepção de problemas e orientação de soluções por meio da transmissão de informações. Em ambos os casos a inteligência coletiva não se forma ou se forma de maneira precária.

Na realidade, os atores humanos de uma rede de conhecimentos tendem a formar diversos agrupamentos (Clusters), que podem estar na mesma bancada ou

serem de diferentes bancadas. Se cada um desses agrupamentos estiver conectado a outros, haverá uma enorme possibilidade das informações circularem. Portanto, a rede pode ser formada de agrupamentos menores, desde que estejam interconectados.

Figura 3 – Rede formada pelos estudantes (sem considerar as interações com o professor e bancada central)



Fonte: Autores (2020).

ANÁLISE DOS DADOS

Vamos analisar a rede agora a partir de três aspectos estruturantes.

Hub

Os hubs são elementos fundamentais utilizados na gestão de diversos tipos de redes. As redes formadas por companhias aéreas no tráfego internacional são um exemplo disso. Cada empresa possui uma rede própria em seu país. Basta existir um hub nacional conectado aos principais hubs de outros países para que qualquer pessoa de uma cidade pequena do país A possa chegar a outra cidade pequena do país B. Os hubs permitem a otimização desse tráfego. Nos estudos sobre os hubs, pesquisadores perceberam que uma informação para circular por toda a rede não necessita que cada elemento da rede esteja conectado aos outros (índice de agrupamento CC alto). Basta que existam hubs conectados e que a informação seja inserida num deles para que possa chegar ao conjunto dos atores da rede (BARABASI, 2014).

Ambientes STEAM produzem redes com características similares. Basta que um estudante-hub conecte dois agrupamentos (clusters) para que o conhecimento se espalhe em ambos. Devemos, portanto, identificar na rede do laboratório os hubs. Um hub deve ter algumas conexões externas e ser totalmente conectado aos colegas de sua própria equipe. Ele é aquele que procura informações no meio externo e as leva para o interior do grupo. Ao mesmo tempo tem capacidade de levar parte do conhecimento desenvolvido na equipe, espalhando-o pelas outras.

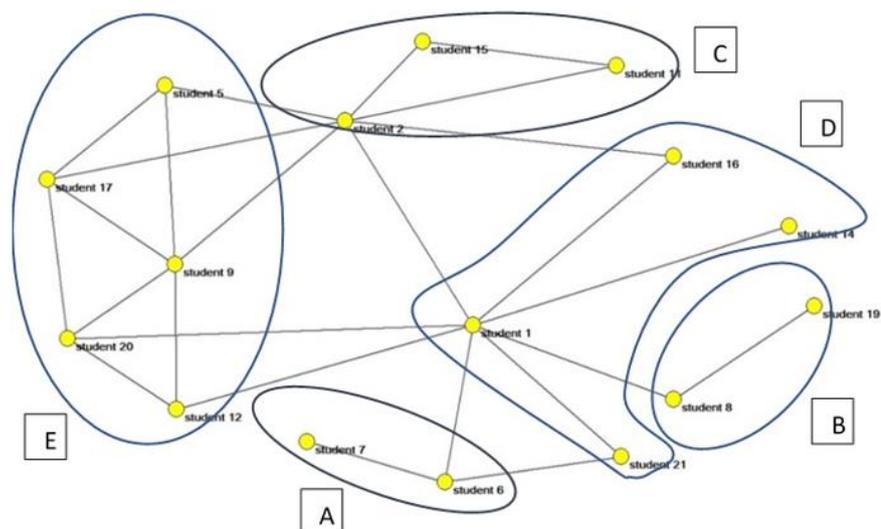
Na rede dessa atividade, pode-se identificar os alunos 1, 2 e 9 com mais ligações internas e externas.

O aluno 9 teve ligações com cinco colegas (5, 17, 20, 12 e 2). Quatro deles estavam na própria equipe (E) e o aluno 2 estava do outro lado do laboratório na equipe C.

O aluno 2 manteve interação com seis colegas (1, 5, 9, 11, 15 e 17). Dois deles eram da própria equipe C e quatro de fora. Portanto, esse aluno teve um conjunto de interações externas mais importante do que o aluno 9, alimentando o trabalho de toda a sua equipe.

O aluno 1 foi o melhor em termos de ligações, mantendo-as com oito colegas (2, 6, 8, 12, 14, 16, 20, 21), sendo três na própria equipe e cinco externos. Há alunos nessas conexões em todas as equipes. Podemos concluir que esse aluno foi o grande Hub de toda a rede nessa atividade. Havia o fato de o aluno 1 estar no centro do agrupamento mais importante do laboratório, formado por 9 alunos das equipes D e E. Entretanto, ele teve a movimentação necessária para manter interações com todas as outras equipes.

Figura 4 – Interação entre equipe via aluno 1 (hub principal)



Fonte: Autores (2020).

O coeficiente de agrupamento (CC) do aluno 1 foi $CC = 0,53$, o que significa que ele tinha conexões com mais da metade dos alunos do laboratório. Mesmo os alunos que se mantiveram com maior grau de isolamento, como 7, 14 e 19, tiveram alguma conexão com o aluno 1, direta ou indiretamente. O aluno 14 estava diretamente vinculado porque trabalhou na mesma equipe. O aluno 7 através da intermediação do aluno 6, e o aluno 19 foi vinculado por meio do aluno 8.

Os hubs são fundamentais para a criação de uma inteligência coletiva. Mesmo que não existam conexões diretas entre todos os estudantes, ela pode ocorrer por meios de estudantes-hub. Eles funcionam como conectores e fazem com que o conhecimento se espalhe por toda a rede.

Isolamento

A primeira observação é de que todos os alunos interagiram com o professor e com a bancada central (Fig. 1). Porém, quando a rede é observada sem o professor e a bancada central, podemos concluir que o desenvolvimento de projetos de trabalho em equipe pode induzir os alunos a trabalhar apenas dentro de suas equipes. O caso extremo foi que os alunos 7, 14 e 19 ficaram fora da interação entre todos os alunos. Muitas hipóteses podem ser propostas.

A primeira hipótese vem de uma característica de todos os projetos colaborativos. Geralmente, podemos encontrar pessoas que assumem o papel de líderes de equipe e se tornam porta-vozes do grupo. Por conveniência ou preguiça, os alunos 7, 14 e 19 poderiam ter transferido a responsabilidade da interação para os líderes de suas equipes. A observação desenvolvida pelos pesquisadores no terreno indicou que esta era uma boa resposta, mas não a única possível.

A segunda hipótese é a posição desses alunos no laboratório. Eles estavam em pontos do laboratório que não permitiam grandes movimentos ou fácil interação com outros colegas. Os alunos de 7 e 19 trabalharam em pequenas equipes com 2 alunos. Eles poderiam transferir a liderança do grupo para os alunos 6 e 8, mas eles estavam em posições distantes dos outros colegas. O aluno 14 estava na mesma posição que o aluno 7, do outro lado da classe; mas esse aluno tinha muitos companheiros de equipe na bancada para interação e ficou isolado. Claramente, esse aluno transferiu a liderança para o número 1. No entanto, o caso dos alunos 7 e 9 é diferente e poderia ser resolvido por outra configuração do laboratório.

A única exceção em termos de interação desses alunos é com o professor, algo natural porque estavam participando das orientações dadas por ele, e da bancada central.

O papel da bancada central

A bancada central teve um papel fundamental porque era um hub natural. Ela se caracterizou como o mais importante ator não humano. Na Fig. 1, é possível observar que todos os alunos estiveram lá durante algum tempo. A maior parte das interações aconteceram em torno dela. Logo, foi o hub mais importante do laboratório.

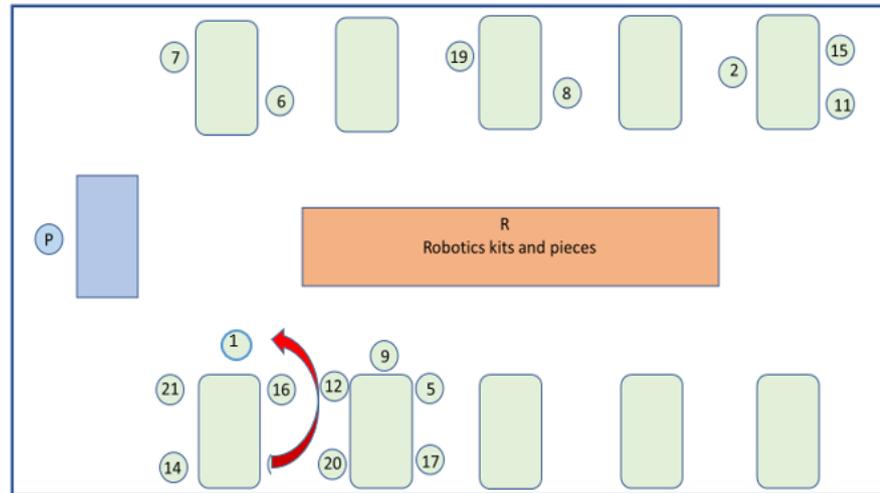
A diferença entre o professor e a bancada central era o fato de que a maior parte da interação do primeiro com os estudantes ser uma interação unidirecional. Muitas informações foram transmitidas dos estudantes ao professor e parte delas retornou aos alunos por meio dele. No entanto, o papel da bancada era o de ponto de encontro para a interação direta entre os estudantes. Alguns deles apenas observaram as ferramentas e os kits e peças robóticas, mas outros puderam trocar informações sobre seus projetos.

Os estudantes 1 e 2 iniciaram o projeto em locais distantes do laboratório. O estudante 1 ficou fechado em sua posição, mas ele tinha habilidades socioemocionais, como liderança, que o impulsionaram para fora de seu isolamento ambiental. Assim, ele mudou de posição na bancada de sua equipe e passou a caminhar por todo o laboratório. O encontro dele com seus colegas ocorreu em torno da bancada central.

Se o aluno 1 permanecesse em sua primeira posição, várias conexões desapareceriam durante a atividade, diminuindo o CC de forma drástica. Portanto,

a mudança de posição foi o fator chave para aprimorar a inteligência coletiva no laboratório.

Figura 5 – Mudança de posição do aluno 1 após o início das atividades



Fonte: Autores (2020).

O aluno 1 teve maior interação do que o aluno 15. Pode-se perceber o segundo foi fechado entre paredes e o aluno 11. Outros alunos fechados (20 e 17) permaneceram em suas bancadas, mas contavam com equipes maiores.

Tabela 1 – Coeficiente de Agrupamento (CC) para alguns estudantes

Estudante	Coeficiente de Agrupamento (CC)
1	0.53
15	0.13
17	0.26
20	0.26

Fonte: Autores (2020).

O coeficiente de agrupamento, por si só, pode não revelar nuances da dinâmica da atividade que a arquitetura do laboratório revela. Os alunos 17 e 20 apresentaram o mesmo coeficiente de agrupamento. Pertenciam a mesma equipe e tiveram ligação com três alunos da própria equipe, sendo que uma delas foi entre eles próprios. Tiveram interações também com 1 aluno de uma equipe externa. Mas o aluno 20 (equipe E) estava em uma posição próxima ao aluno 1 (equipe D) no início da atividade. A interação ocorreu naquele momento, no espaço fechado em que se encontravam e antes do aluno 1 começar a se deslocar. Já o aluno 17 (equipe E), de forma diferente, precisou caminhar até a bancada central para encontrar o aluno 2 (equipe C) que pertencia a uma equipe situada no lado oposto da sala. Era uma interação diferente do ponto de vista da arquitetura.

Por outro lado, o aluno 19 permaneceu isolado, apesar de não ter sido bloqueado espacialmente. Este caso foi diferente porque se tratava de recusa de participação. A escolha de usar uma bancada de trabalho distante foi parte desse

problema. A bancada escolhida possuía outras duas laterais que isolavam esse aluno dos colegas.

Existe uma relação direta entre a arquitetura dos ambientes STEAM e a construção da inteligência coletiva. O projeto pedagógico da atividade em um ambiente voltado para a educação STEAM deve ser considerado na arquitetura do laboratório. Vários elementos são importantes neste relacionamento.

CONCLUSÕES

A construção de uma inteligência coletiva deve ser um processo aberto em todas as dimensões. Em primeiro lugar, os alunos devem estar abertos ao intercâmbio, numa relação psicossocial com os colegas. O sentimento de pertencer a uma equipe é uma construção importante para potencializar a inteligência coletiva. Entretanto, se todos os caminhos não estiverem abertos para que eles possam se encontrar com seus colegas, os níveis máximos de inteligência coletiva não poderão ser atingidos. Por este motivo, o fator arquitetura é um elemento importante a ser considerado.

O fator arquitetura está intimamente relacionado ao tipo de mobiliário utilizado no laboratório. Deve-se ter claro o papel do mobiliário quanto a sua funcionalidade e distribuição dentro do espaço. A criação da bancada central no laboratório e o posicionamento de quase todas as ferramentas e peças a serem utilizadas no trabalho foi de fundamental importância. Nos ambientes STEAM é muito importante criar pontos de encontro para os alunos trocarem informações (Hubs), mesmo estando fora, como zonas de relaxamento ou máquinas de café quando os estudantes são de nível universitário. Esses pontos de encontro desempenham um papel extremamente importante para oferecer oportunidades de troca de ideias ou para conversas genéricas que ampliam o entrosamento da equipe, peça-chave na construção da inteligência coletiva. A bancada central desempenhou esse papel, quase forçando os alunos a saírem de suas estações de trabalho e caminharem até o centro para pegar ferramentas ou peças para seu projeto. Nessa curta caminhada, eles puderam abrir possibilidades de intercâmbio, seja olhando para as outras bancadas ou conversando com colegas. Era importante não colocar todas as ferramentas e materiais na estação de trabalho de cada equipe. Todos os alunos permaneceram em torno da bancada central em algum momento. Mesmo que esse momento não tenha conseguido produzir alguma interação por nenhum motivo, como nossos dados mostraram, é importante criar essa possibilidade. Os hubs são fundamentais na criação da inteligência coletiva, são eles que permitem maior colaboração porque conectam os atores se tornando pontes por onde o conhecimento flui.

O segundo é sobre a posição das estações de trabalho no espaço. No caso apresentado nesta pesquisa, foi utilizada uma configuração tradicional de um laboratório, com bancadas encostadas na parede. Esta é uma situação que existe na maioria dos laboratórios porque permite fácil acesso às tomadas de energia elétrica e à internet, posicionadas nas paredes. Se não for possível criar uma configuração aonde esses pontos cheguem por cima, por meio dutos que desçam sobre a bancada, ou por baixo, através de piso um pouco suspenso, a solução seria trabalhar com uma equipe menor, com três alunos, um para cada face da bancada. No caso do laboratório utilizado nesta pesquisa, o professor contava com cinco

bancadas vazias. Essas bancadas poderiam ser removidas temporariamente, ou as equipes serem distribuídas por todas as bancadas com 3 alunos em cada uma.

A análise aplicada aos ambientes STEAM apresentada neste trabalho não esgota o tema. Poderíamos utilizá-la para outros atores não humanos que servem como fonte de conhecimentos ou simplesmente como polinizadores, por induzirem a movimentação dos alunos por todo o ambiente permitindo que eles interajam mais com colegas e artefatos (BRAGA; GUTTMANN, 2019). No sentido inverso de um vírus, em se busca o isolamento para evitar sua disseminação, o conhecimento necessita de aglomerações (clusters) e espaços que permitam a troca, a colaboração e a criação da inteligência coletiva.

BUILDING KNOWLEDGE NETWORKS IN STEAM TEACHING LABORATORIES

ABSTRACT

STEAM labs (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) are practical and interdisciplinary learning environments. When students are working in these labs, learning is built through multiple streams of information that span the entire environment. There is always a lot of collaboration between students, teachers and between them and devices, kits, and tools. To understand the construction process of this knowledge network, a methodology for mapping information flows was developed. Maps can provide important information for knowledge management in these environments. Our objective was to study how space shapes knowledge flows and how students can redesign these flows according to project needs. The professor presented a closed project on robotics to 16 students. The researchers used an ethnographic methodology, observing students in the environment and writing down their observations in a notebook. These data were entered into a software, which generated the interaction map. The network analysis pointed out 3 elements that should be highlighted: (a) isolation, (b) hubs, and (c) the role of the central bank. Each one was related to a feature of the space that contributed to the dynamics of information exchange in the environment.

KEYWORDS: Educational laboratories. Project-based Learning. STEAM. Robotic Labs. Makerspaces. Actor-Network Theory.

NOTAS

1 Este trabalho contou com apoio do CNPq e CAPES.

2 Como não houve identificação visual ou nominal dos alunos, e a pesquisa foi realizada por meio de observação de uma prática educacional sem registro digital ou contato entre pesquisadores e estudantes, consideramos pelo artigo1, parágrafo único, item VII da Resolução 510 de 07-04-2016 do Conselho Nacional de Saúde não ser necessário a solicitação de aprovação no sistema de Comitês de Ética.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M.; BRAGA, M.; HEUVEL, C. V D. Historical Networks in Science Education. **Science & Education**, v 29, p.101-121, 2020.

BARABÁSI, A.-L. **Linked**. New York: Basic Books, p. 25-30, 2014.

BECKER, S.; JACOBSEN, M. How Can I Build a Model if I Don't Know the Answer to the Question?": Developing Student and Teacher Sky Scientist Ontologies Through Making. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v17, p. 31-48, 2019

BELL, S. **Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future**. The Clearing House, 83, p. 39-43 , 2010.

BIJKER, W. E. **Of bicycles, bakelites, and bulbs: Toward a theory of sociotechnical change**. Cambridge, MA: MIT Press, p.58-65, 1995.

BRAGA, M. **A Nova Paideia**. Rio de Janeiro: e-papers, p.97-133, 2000.

BRAGA, M.; GUTTMANN, G. The Knowledge Networks in a Makerspace: the Topologies of Collaboration. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v 17, p. 1-18, 2019.

BRAGA, M.; PINTO, S. C. Collective Intelligency in Robotic labs: Mapping The Flows of Information. **SEFI Proceedings**, p. 1437-1446). Budapest: European Society for Engineering Education, 2019.

BROWN, T. **Design Thinking: Uma Metodologia Poderosa para Decretar o fim das Velhas Ideias**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, p. 10-20, 2010.

CALLON, M. The sociology of an actor-network: The case of electric vehicle. Em M. Callon, J. Law, & A. Rip, **Mapping the dynamic of science and technology**. London, Palgrave Macmillan, p. 19-34, 1986.

CARDELLINO, P.; ARANEDA, C.; ALVARADO, R. G. Interventions in the classroom – the influence of spatial organization on educational interaction in Uruguay Architectural Engineering and Design Management. **Architectural Engineering and Design Management**, p.413-426, 2018.

DYM, C. L.; AGOGINO, A.; ERIS, O.; FREY, D.; LEIFER, L. Engineering Design Thinking, Teaching, and Learning. **Journal of Engineering Education**, 94, No. 1, p. 103-120, 2005.

IMMS, W.; & BYERS, T. Impact of classroom design on teacher pedagogy and student engagement and performance in mathematics. **Learning Environment Research**, v20, p.139–152, 2017.

LATOUR, B. **Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society**. Cambridge, MA: Harvard University Press, p.10-20, 1988.

LATOUR, B. **Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network Theory**. New York, NY: Oxford University Press, p. 01-50, 2005.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **Laboratory Life: the construction of scientific facts**. Princeton: Princeton University Press, p.30-73, 1992.

LAW, J. **Aircraft stories: decentering the object in technoscience**. Durham, NC: Duke University Press, p.52-57, 2002.

SANG, W.; SIMPSON, A. The Maker Movement: A Global Movement for Educational Change. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v17, p.65–83, 2019.

VERBEEK, P. **What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency, and Design**. University Park: Pennsylvania State University Press, p.6-7, 2005.

WANG, T.; LIM, K.; LAVONEN, J.; CLARK-WILSON, A. Maker-Centred Science and Mathematics Education: Lenses, Scales and Contexts. **International Journal of Science and Mathematics Education**, V17, p.1–11, 2019.

Recebido: 11 mai. 2021.

Aprovado: 16 ago. 2021.

DOI: 10.3895/rbect.v14n3.14231

Como citar: BRAGA, M.; FERREIRA, R. C.; PINTO, C. S. A construção de redes de conhecimento em laboratórios didáticos STEAM. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, Ponta Grossa, v.14, n. 3, p. 83-102, set./dez. 2021. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/14231>>. Acesso em: XXX.

Correspondência: Marco Braga - marcobraga.academic@gmail.com

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

