

CAPÍTULO 1 – A UTILIZAÇÃO DE SENSORES POR CRIANÇAS DO ENSINO BÁSICO NA EXPLORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE DA ESCOLA: ENQUADRAMENTO TECNOLÓGICO E PEDAGÓGICO-DIDÁTICO

Maria João Silva (mjsilva@eselx.ipl.pt)¹ e

Cristina A. Gomes (mcagomes@esev.ipv.pt)²

¹Escola Superior de Educação de Lisboa, Instituto Politécnico de Lisboa, Estrada do Calhariz de Benfica, 1549-003 Lisboa

²Escola Superior de Educação de Viseu, Instituto Politécnico de Viseu, R.Dr. Maximiano Aragão 41, 3500-155 Viseu

RESUMO

Neste capítulo, realizar-se-á um enquadramento do uso de sensores pelas crianças na atual sociedade de conhecimento, quer no seu quotidiano informal, quer em contextos educativos formais e não formais. Este uso será enquadrado no desenvolvimento tecnológico dos sensores, mas também na evolução do uso pedagógico-didático das Tecnologias da Informação e da Comunicação no Ensino Básico. Apresentar-se-á um conjunto de projetos, desenvolvidos nos últimos quinze anos, de uso didático de sensores pelas crianças, para exploração e caracterização do ambiente da escola, analisando-se a evolução dos referidos projetos e o seu enquadramento e agência nas mudanças sociais, científicas e educacionais ocorridas. Uma análise dos resultados, nomeadamente dos sucessos e desafios, dos projetos apresentados permitem informar o projeto Eco-Sensors4Health, no que se refere às opções tecnológicas, como a escolha de hardware e software, mas também às opções pedagógicas e didáticas, como sejam a escolha do contexto de desenvolvimento das atividades, a seleção dos participantes, a definição dos objetivos didáticos, dos conteúdos e das tarefas a concretizar, a criação de registos e as estratégias e técnicas a usar no desenvolvimento das referidas tarefas.

INTRODUÇÃO

Nos últimos dez anos, a utilização de sensores tornou-se quotidiana e ubíqua, fundindo o mundo físico com o mundo digital e mudando a nossa forma de interação com o ambiente (Schneider, Börner, van Rosmalen, and Specht, 2015). Os objetos do quotidiano, quer fixos, como as torneiras, portas ou automóveis, quer móveis, como os dispositivos digitais móveis (por exemplo, *smartphones* e *tablets*), adquiriram sensibilidade a diversos processos e propriedades físicas (Schneider, Börner, van Rosmalen, and Specht, 2015), como a luz, a localização e o movimento, sendo usados de forma pervasiva, formal e informalmente por crianças, jovens e adultos, como extensões dos sentidos humanos (Magnani, 2004; Silva, et al., 2009).

Os dispositivos digitais móveis, como os *smartphones* e os *tablets*, são atualmente acessíveis (custo e facilidade de uso), sem fios, portáteis, (Silva, et al., 2009) e integram dois tipos de tecnologias: os sensores e as tecnologias de apresentação e comunicação (Schneider,

Börner, van Rosmalen, and Specht, 2015). Como sensores, destacam-se os microfones, as câmaras, os acelerómetros, os sensores *GPS*, e em alguns casos os sensores de temperatura e humidade, que permitem a deteção, registo e medição de informação ambiental. Por outro lado, tornou-se possível a ligação a sensores externos, ampliando, assim a possibilidade de gravar imagens, sons e percursos, mas também de outra informação ambiental e corporizada, como o ritmo cardíaco e as concentrações de poluentes, em atividades nas áreas da saúde e do ambiente (Silva, et al., 2009; Klasnja & Pratt, 2012).

Considerando as referidas potencialidades de aquisição e partilha de informação ambiental, e porque a idade de posse do primeiro telemóvel se situa entre os 9 e os 10 anos em Portugal (Simões, Ponte, Ferreira, Doretto, and Azevedo, 2014) e mais de dois terços dos lares com crianças dos 3 aos 8 anos possuem tablets (Ponte, Simões, Baptista, Jorge, and Castro, 2017), pode afirmar-se que os dispositivos digitais móveis podem permitir que as crianças se tornem atores em processos participativos de cidadania formais e não formais.

Os sensores têm vindo a ser usados em diversificadas atividades centradas nas crianças da educação básica formal, desde há mais de 30 anos. O uso de sensores em plataformas de programação, nomeadamente de tangíveis em ambientes de robótica, tem sido desenvolvido em dois eixos, um baseado na teoria, como é o caso do Lego/Logo e Crickets, do Topobo e dos Cubelets, e outro baseado na tecnologia, como é o caso das plataformas Arduino (Blikstein, 2013). Um outro tipo de uso de sensores na educação consiste na aplicação de *kits* didáticos de sensores à exploração do ambiente, ou seja na aquisição de informação sobre o corpo e o ambiente, em atividades cidadãs, significativas, participativas e ubíquas de educação ambiental e para a saúde (Silva, Ferreira, Andrade, Nunes, and Carvalho, 2015; Souza, Alves, Gomes, Rodrigues, and Silva, 2017).

Para que o uso de sensores potencie a agência cidadã e a aprendizagem de processos e conteúdos pelas crianças, torna-se necessária a criação de contextos de aprendizagem, informada por conhecimentos teóricos e práticos, nomeadamente dos domínios da pedagogia e da didática. Neste capítulo, apresenta-se um enquadramento tecnológico e pedagógico-didático do uso de sensores do projeto Eco-Sensor-4Health, a partir da análise de diversos projetos anteriores e relacionados.

Fundamentos pedagógico-didáticos: Das pedagogias centradas nas crianças à ciência e participação cidadã

A criação de contextos de aprendizagem para a utilização de sensores, na exploração do ambiente pelas crianças, pode ser informada por distintas abordagens pedagógico-didáticas.

Nos últimos quinze anos, foram implementados múltiplos projetos de *mobile learning*, em contextos formais e não formais de educação básica, sendo os dispositivos móveis, equipados com *GPS* e outros sensores, usados para recolher, analisar e comunicar informação ambiental multimédia das escolas e dos seus ambientes (Silva et al., 2009; Evans, and Johri, 2008). Nestes projetos, a abordagem pedagógico-didática central é construtivista, com recurso a métodos de “learning by doing” ou “aprender fazendo” (Evans, and Johri, 2008), centrados nas crianças e nas suas ações e experiências, tendo contacto sensorial com o resultado das mesmas (Reese, 2011).

A colaboração entre as crianças e o/a professor/a é também uma componente essencial dos referidos projetos (Silva et al., 2009; Evans, and Johri, 2008), sendo, no entanto, de natureza diversificada, situando-se desde a mediação social da aprendizagem individual até à mediação social como construção participativa do conhecimento (Salomon, and Perkins, 1998). Como diferentes exemplos de mediação social da aprendizagem individual, podem referir-se:

- Os projetos *Ambient Wood* (Rogers et al., 2004), *TEEMS* (Zucker, Tinker, Staudt, Mansfield, and Metcalf, 2007) e *SOS Abstract* (Silva, Lopes, and Silva, 2013), em que os sensores são integrados no currículo (Anggarendra, and Brereton, 2016) para melhorar os processos de pesquisa (*scientific inquiry*) no ambiente e na própria escola, recolhendo, analisando e significando dados ambientais;
- Os projetos *SENSE* (Fraser et al., 2005) e *SchoolSenses@Internet* (Silva et al., 2009), em que as crianças, usando sensores, recolheram dados no ambiente da sua escola, analisaram-nos, comunicaram-nos e compararam-nos com dados de outras crianças e de outras escolas.

Um elevado número de outros projetos centra-se na construção participativa do conhecimento, nomeadamente no contexto da ciência cidadã, que mobiliza o público em parcerias com a comunidade científica para a recolha de dados científicos (Smoláková, Švajda, Koróny, and Činčera, 2016). A ciência cidadã tem objetivos essencialmente científicos, criando novo conhecimento e influenciando decisões sociais, políticas, científicas (Boulos, et al., 2011) e ambientais. No entanto, a

ciência cidadã pode também contribuir para a literacia científica dos/as participantes em contextos formais e informais (Castell et al., 2015; Campbell et al., 2006).

O projeto *Globe* é um projeto pioneiro em ciência e educação (Butler, and MacGregor, 2003), iniciado nos anos 90 e que continua atualmente, constituindo-se como um projeto de ciência cidadã, baseado em atividades de pesquisa realizadas pelos/as estudantes em escolas de todo o mundo (Smoláková, Švajda, Koróny, and Činčera, 2016). Os seus objetivos centram-se: i) na melhor compreensão do ambiente local, regional e global; ii) no melhor desempenho dos/as estudantes em ciências da natureza, matemática, geografia e uso das tecnologias; iii) na aquisição de dados de qualidade para a investigação sobre o Planeta (Butler, and MacGregor, 2003). Estudos de avaliação do programa mostram que o programa *Globe* é uma implementação, numa escala sem precedentes, da aprendizagem científica autêntica e da pedagogia baseada na pesquisa (Butler, and MacGregor, 2003). Esses mesmos estudos referem que, quando as ações foram dinamizadas por docentes que implementaram as abordagens fundamentais do programa, os resultados ilustraram melhorias na capacidade de uso, pelos/as estudantes, de dados científicos em processos de tomada de decisão e também de melhorias na sensibilização, cientificamente informada, dos/as estudantes em relação ao ambiente (Butler, and MacGregor, 2003). No entanto, os referidos estudos também apontaram para falhas no desenvolvimento de capacidades para realizar análises de dados que permitam a concretização de inferências informadas, assim como para significar os dados em contextos concetuais mais alargados (Butler, and MacGregor, 2003).

Nos projetos de ciência cidadã que têm entrado nas escolas, como o Projeto *Globe*, o projeto *NatureWatch* (www.naturewatch.ca/) ou o projeto *eBird* (www.birdsleuth.org/using-ebird-with-students/) que recolhe milhões de observações de aves por mês, pretende-se que a abordagem pedagógica se enquadre na teoria sociocultural da aprendizagem, que se centra nos contextos em alternativa aos indivíduos. Nesta abordagem, a tecnologia é usada pelos/as estudantes de forma contributiva (Anggarendra, and Brereton, 2016), potenciando a sua participação em atividades de aprendizagem autêntica (Lombardi, 2007) e situada, em comunidades de prática (Lave, and Wenger, 1991), nas quais a significação dos dados e a construção do conhecimento é social e resulta da participação socialmente orientada (Simovska, 2005) ou mediada.

Os projetos de ciência cidadã, por definição, não pretendem que a participação inclua a tomada de decisões, a ação e a mudança do am-

biente/contexto. Alguns, no entanto, integram a resolução de problemas e/ou a conservação do ambiente nos seus objetivos, como é o caso do projeto *NatureWatch* ou do projeto *CITI-SENSE* (Aspuru, García, Herranz, and Santander, 2016), enquanto outros incorporam esses objetivos, quando são implementados nas escolas (como o Projeto *GLOBE*). Nestes casos, se a participação socialmente orientada das crianças, ou estudantes, se estabelece a um outro nível, o nível da ação e da mudança, a criação e a gestão dos contextos de aprendizagem são partilhadas (Figueiredo, 2016). Se, nos contextos de ensino e aprendizagem, os/as estudantes melhorarem o ambiente enquanto agentes da sua própria aprendizagem, aplicando o conhecimento na ação dinâmica, tornam-se participantes na sociedade, capazes de lidar com a mudança e de assumir responsabilidades na sua própria vida (Simovska, 2005), desenvolvendo competências socio-emocionais fundamentais para a cidadania ambiental (Carvalho, von Amann, Almeida, Pereira, Ladeiras, Lima, and Lopes, 2016).

Em todos os projetos que têm vindo a ser referidos neste capítulo, para além da mediação social da aprendizagem individual e da mediação social como construção participativa do conhecimento, importa reconhecer uma mediação social dos artefactos culturais (Salomon, and Perkins, 1998), com ênfase para os dispositivos digitais móveis, especificamente no que se refere aos sensores e às redes em que se inserem. Aqueles mesmos autores referem que os artefactos culturais, ou ferramentas, têm o duplo papel de meios para agir no mundo e de facilitadores cognitivos dessa mesma ação. Assim, os sensores, usados em projetos colaborativos de exploração do ambiente, não só representam o papel de mediadores manipuláveis na aprendizagem por internalização (Lopes, Cravino, Silva, & Viegas, 2012), como também constituem mediadores epistémicos que apoiam a ação das crianças nas tarefas autênticas das pesquisas na exploração do ambiente (Fenton, 2008; Heggen, Omokaro, and Payton, 2012; Rogers, Connelly, Hazlewood, and Tedesco, 2010), contribuindo para o desenvolvimento do pensamento abstrato das mesmas (Silva, Lopes, and Silva, 2013).

Os dispositivos digitais móveis, com sensores integrados, facilitam a aquisição e acesso à informação, a produção de representações múltiplas dessa informação e a partilha da mesma em tempo real, criando uma ecologia de aprendizagem e comunicação (Evans, and Johri, 2008), em que as ferramentas apoiam de forma transformativa a construção e comunicação do conhecimento internalizado e partilhado num contexto social em rede. Nos últimos anos, tais construções e partilhas têm, assim, vindo a modificar-se com a crescente ubiquidade dos dispositivos móveis com sensores, integrados em redes sociais, formando

contextos sociais permanentemente ligados virtualmente e transcendendo barreiras físicas e sociais (Evans, and Johri, 2008).

FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS: DAS PLATAFORMAS DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS À APP NAS REDES SOCIAIS

Os projetos de *mobile learning*, com utilização de sensores pelas crianças, começaram a ter maior divulgação a partir de 2004, sendo maioritariamente projetos de exploração de informação ambiental, quantitativa, espacial e multimédia, centrados em atividades *outdoor*, em contextos não formais, ou seja, fora das escolas. São exemplos deste tipo de projetos:

- *Ambient Wood*, o projeto em que as crianças usaram sondas, sensores e GPS para estudar elementos e processos ecológicos, em práticas reflexivas (Rogers et al., 2004);

- O projeto *HyConExplorer*, que permitiu às crianças aceder à informação ambiental ao longo dos seus percursos, criar nova informação ambiental (ligar uma foto a uma dada localização) e revisitar o seu percurso e a informação espacial, temporal e ambiental a ele ligada (Bouvin, 2005).

- *A new sense of place*, um projeto em que as crianças puderam criar, editar e revisitar paisagens sonoras no ambiente, com recurso a dispositivos móveis equipados com *GPS* e auscultadores (Williams, Jones, Fleuriot, and Wood, 2005).

Os três projetos acima referidos foram projetos pioneiros que usaram as potencialidades multimédia dos dispositivos móveis e dos sensores neles integrados, permitindo às crianças produzir informação ambiental e geográfica multissensorial e multimédia, e criando plataformas específicas para o efeito. Em 2005, é disponibilizado, pela Google, o Globo Virtual, ou geobrowser, com maior sucesso: o *Google Earth (GE)*. O *GE* rapidamente ganhou um lugar central em muitos projetos educativos de uso de sensores para exploração do ambiente, devido a diferentes fatores que se verificaram para pessoas das mais diversas idades, de crianças a seniores (Silva et al., 2009): i) facilidade de utilização; ii) criação de motivação e envolvimento, pela rápida resposta às ações de quem utiliza, pela fluidez dos gráficos e pelas sensações criadas pelos vôos sobre um Planta virtual; iii) potencialidades para publicação de informação ambiental, geográfica, multissensorial e multimédia, em representações múltiplas, nomeadamente texto e gráficos em mapas, fotografias e imagens de satélite.

Desta forma, o *GE* veio substituir de uma forma transformadora os recursos anteriormente usados em educação, nomeadamente os ortofotomapas e os mapas digitais criados especificamente para a publicação de informação geográfica nos diversos sites educativos. Surgiram, então, diversos projetos que criaram plataformas que integraram o *GE* e dispositivos móveis com *GPS*, tornando possível às escolas e comunidades criar, editar e explorar informação ambiental, geográfica, multissensorial e multimédia. Considerem-se os dois seguintes exemplos:

- *SchoolSenses@Internet* (Silva et al., 2009; Silva, Pestana, and Lopes, 2008) foi um projeto que criou uma plataforma que permitiu às crianças criar, partilhar e editar mensagens (MMS) de informação multissensorial georreferenciada, publicadas no *Google Earth*. As mensagens integravam texto, som e vídeo e eram produzidas com *smartphones* com *GPS*, para caracterizar os recreios das escolas;
- O projeto *Sound Scavenging* utilizou o *Google Earth* para permitir às crianças a criação de paisagens sonoras na sua comunidade e bairro (Proboscis, Loren Chasse and the Jenny Hammond Primary School, 2006).

Nos últimos dez anos, com a vulgarização dos *smartphones*, com maior número e qualidade de sensores e dos aplicativos móveis (*apps*), a utilização dos sensores integrados em dispositivos móveis em contextos educativos e quotidianos deixou de estar dependente de plataformas ad-hoc. Um largo número de diversificadas *apps* passaram a permitir, de forma gratuita e imediata, a utilização dos sensores na aquisição de informação (georreferenciada, ou não) sobre o corpo e o ambiente e a sua exportação e publicação (partilha) nas redes sociais, no *Google Earth* e no *Google Maps*.

Nos últimos dez anos, também se multiplicaram os projetos de *mobile learning*, com utilização de sensores de informação ambiental em educação em ciência, nos ambientes *indoor* das escolas, com recurso não só a sensores integrados em *smartphones* ou *tablets* ou a *kits* de sensores didáticos comercializados (Le Boniec, Gras-Velázquez, and Joyce, 2012; Silva, Aboim, Teixeira, Pinto, Pereira, 2016), como também a sensores criados especificamente para determinado projeto (Kedzierska, 2017). Embora alguns projetos continuem a produzir plataformas dedicadas, as *apps* nos *smartphones*, ou *tablets*, têm permitido gravar os dados, processá-los, apresentá-los usando representações múltiplas e exportá-los para redes sociais ou globos virtuais, quer os dados sejam adquiridos por sensores integrados ou ligados exteriormente (como é o caso dos sensores de *kits* didáticos) aos dispositivos digitais móveis.

ENQUADRAMENTO PEDAGÓGICO-DIDÁTICO E TECNOLÓGICO DO USO DE SENSORES DO PROJETO *ECO-SENSORS4HEALTH*

O projeto *Eco-Sensors4Health* tem como objetivo central melhorar a saúde ambiental das escolas de 1º ciclo do ensino básico em Portugal, através da participação orientada das crianças, nomeadamente na criação, implementação e monitorização de soluções para os problemas de saúde ambiental das escolas, identificados através da utilização de sensores de informação ambiental (eco-sensores). Trata-se, assim, de um projeto de saúde ambiental em que as crianças desenvolvem, nas suas atividades curriculares nas escolas, não só pesquisas (*scientific inquiry*), mas também propostas, tomadas de decisão, ações de resolução de problemas e monitorização do resultado das mesmas.

Neste projeto, pretende-se que as aprendizagens das crianças sejam desenvolvidas:

- Num contexto de ciência cidadã, em que as crianças recolhem dados para construção de conhecimento científico, mas em que também agem para a solução dos problemas de saúde ambiental do seu contexto de aprendizagem, tendo assim uma responsabilidade partilhada na gestão e controlo do referido contexto;
- Em atividades autênticas de resolução de problemas complexos do mundo real, em que se aprende fazendo, com recurso a sensores e *smartphones* ou *tablets*;
- De forma situada nos contextos de aprendizagem, comunidades de prática/aprendizagem, de cada escola e turma, mas também no contexto de aprendizagem da plataforma de partilha de dados e processos;
- Realizando a significação da informação sobre os problemas ambientais e suas soluções, construindo-se conhecimento, de forma socialmente mediada, com participação orientada em pequeno grupo, em grupo turma, entre turmas e entre escolas;

No projeto *Eco-Sensors4Health*, a mediação das aprendizagens inclui a mediação docente e a mediação dos pequenos e grandes grupos, pretendendo-se que coexistam mediações sociais da aprendizagem individual e mediações sociais como construção participativa do conhecimento, já que os objetivos de aprendizagem se centram em aprendizagens curriculares individuais, mas também em aprendizagens das turmas, comunidades escolares e até do sistema educativo.

Os sensores, *smartphones* e *tablets*, no contexto do presente projeto,

são utilizados como mediadores manipuláveis da aprendizagem e como mediadores epistêmicos no desenvolvimento do pensamento abstrato das crianças, nomeadamente durante as atividades de pesquisa para resolução de problemas.

No que se refere ao enquadramento tecnológico, o projeto *Eco-Sensors4Health* integra o uso de eco-sensores, sensores de aquisição de informação ambiental, nos ambientes *indoor* nas escolas, mas também nos recreios e nos ecossistemas em redor dos mesmos. Os dados adquiridos pelas crianças, com os sensores e dispositivos móveis, são por elas significados, tratados e partilhados. Alguns dos referidos eco-sensores, por exemplo os sensores de nível de som, estão integrados nos *smartphones* ou *tablets*, outros, como os sensores de dióxido de carbono, ligam-se externamente a estes dispositivos, sendo que a gravação, representação e partilha dos dados é realizada por uma *app*.

Na plataforma colaborativa *Eco-Sensors4Health*, é possível publicar (manualmente, para uma melhor apropriação pelas crianças) os dados adquiridos, bem como os relatos iterativos dos processos de identificação, intervenção e monitorização dos problemas ambientais. Qualquer utilizador/a pode pesquisar e consultar os dados e processos publicados por crianças e docentes, em novas significações de diversos dados adquiridos em diferentes contextos locais e regionais.

REFERÊNCIAS

Anggarendra, R., and Brereton, M. (2016). Engaging children with nature through environmental HCI. *Proceedings of the 28th Australian Computer-Human Interaction Conference (OzCHI 2016)*. ACM.

Aspuru, I., García, I., Herranz, K. and Santander, A. (2016). CITI-SENSE: methods and tools for empowering citizens to observe acoustic comfort in outdoor public spaces, *Noise Mapp.*, 3(1), 37–48.

Boulos, M. K., Resch, B., Crowley, D., Breslin, J., Sohn, G., Burtner, R., Pike, W., Jezierski, E., and Chuang, K. (2011). Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: trends, OGC, standards and application examples. *International Journal of Health Geographics*, 10 (67).

Bouvin, N. O., Brodersen, C., Hansen, F. A., Iversen, O. S., Nørregaard, P. (2005). Tools of contextualization: Extending the classroom to the field. *Proceedings of the 2005 Conference on Interaction design and children (IDC)*, ACM Press, pp. 24-31.

- Butler, D. M., and MacGregor I. D. (2003). Globe: Science and Education. *Journal of Geoscience Education*, 51 (1), 9-20.
- Campbell A., Eisenman S., Lane N., Miluzzo E., and Peterson R. (2006) People-centric urban sensing. *Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet, WICON '06* New York, NY, USA: ACM.
- Carvalho, A., von Amann, G. P., Almeida, C. T., Pereira, F., Ladeiras, L., Lima, R., and Lopes, I. C. (2016). *Saúde Mental em Saúde Escolar: Manual para a Promoção de Competências Socioemocionais em Meio Escolar*. Lisboa: Direção-Geral da Saúde.
- Castell, N. Kobernus, M., Liu, H., Schneider, P., Lahoz, W., Berre, A., and Noll, J. (2015). Mobile technologies and services for environmental monitoring: The Citi-Sense-MOB approach. *Urban Climate*, 14 (3), 370-382.
- Evans, M. A., and Johri, A. (2008). Facilitating guided participation through mobile technologies: designing creative learning environments for self and others. *Journal of Computing in Higher Education*, 20, 92–105.
- Fenton, M. (2008). *Authentic learning using mobile sensor technology with reflections on the state of science education in New Zealand: A research project for the New Zealand Ministry of Education*. Taranaki, New Zealand: Nexus Research Group. Available at <http://www.nexusresearchgroup.com/downloads/Michael-Fenton-eLearning-Report.pdf>
- Figueiredo, A. D. (2016). A Pedagogia dos Contextos de Aprendizagem. *e-Curriculum*, 14 (3), 809–836.
- Fraser, D. S., Smith, H., Tallyn, E., Kirk, D., Benford, S., Paxton, M., Price, S., and Fitzpatrick G. (2005). The SENSE Project: A Context-inclusive Approach to Studying Environmental Science Within and Across Schools. *Proceeding of CSCL'05*, pp.155–9. Taiwan: Taipei.
- Heggen, S., Omokaro, O., & Payton, J. (2012). Mad Science: Increasing engagement in STEM education through participatory sensing. *Proceedings of the Sixth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies (UBICOMM 2012)*. New York: ACM.
- Kedzierska, E. (2017). *Primary Science with €Sense: Teacher Guide*. Amsterdam: CMA. Available at <https://cma-science.nl/teaching-resources/teaching-resources-primary>
- Lave, J., and Wenger, E. (1991). *Situated learning. Legitimate peripheral participation*. Cambridge, MA: University of Cambridge Press.

Le Boniec, M., Gras-Velázquez À. and Joyce A. (2012). *Impact of data loggers on science teaching and learning*. Brussels: European Schoolnet. [In collaboration with Fourier and Acer]. http://files.eun.org/netbooks/ACER_Fourier_EUN_Science_pilot_report_2012.pdf

Lombardi, M. M. (2007). Authentic learning for the 21st century: An overview. *Educause learning initiative*, 1(2007), 1-12.

Magnani, L. (2004). Reasoning through doing. Epistemic mediators in scientific discovery. *Journal of Applied Logic*, 2 (4), 439-450.

Ponte, C., Simões, J. A., Baptista, S., Jorge, A., and Castro, T. S. (2017). *Crescendo entre ecrãs: Usos de meios eletrónicos por crianças (3-8 Anos)*. Lisboa: ERC – Entidade Reguladora para a Comunicação Social.

Proboscis, Loren Chasse and the Jenny Hammond Primary School (2006). *Sound Scavenging Report*. Available at http://proboscis.org.uk/topographies/SoundScavenging_Report.pdf

Reese, H. W. (2011). The learning-by-doing principle, *Behavioral Development Bulletin*, 17(1), 1-19.

Rogers, Y., Price, S., Fitzpatrick, G., Fleck, R., Harris, E., Smith, H., ... & Thompson, M. (2004). Ambient wood: designing new forms of digital augmentation for learning outdoors. *Proceedings of the 2004 conference on Interaction design and children: building a community*, pp. 3-10. ACM.

Rogers, Y., Connelly, K. Hazlewood, W., & Tedesco, L. (2010). Enhancing learning: a study of how mobile devices can facilitate sense making. *Personal and Ubiquitous Computing*, 14(2), 111-124.

Sagl, G., and Resch, B. (2015) Mobile Phones as Ubiquitous Social and Environmental Geo-Sensors. In Z. Yan, (ed.) *Encyclopedia of Mobile Phone Behavior* (pp. 1194-1213). Hershey PA, USA: IGI Global.

Salomon, G., and Perkins, D. N. (1998). Individual and social aspects of learning. *Review of Research in Education*, 23, 1-24.

Schneider, J., Börner, D., van Rosmalen, P., and Specht, M. (2015). Augmenting the senses: A review on sensor-based learning support. *Sensors*, 15(2), 4097-133.

Silva, M. J., Pestana, B., and Lopes, J. C. (2008). Using a mobile phone and a geobrowser to create multisensory geographic information. *Proceedings of IDC 2008*, ACM, pp. 153-156.

Silva, M. J., Gomes, C. A., Pestana, B., Lopes, J. C., Marcelino, M. J., Gouveia, C., and Fonseca, A. (2009). Adding space and senses to mobile

world exploration. In A. Druin (Ed.), *Mobile technology for children*, 147-170. Boston: Morgan Kaufmann.

Silva, M. J., Lopes, J. B., and Silva, A. A. (2013). *Using Senses and Sensors in the Environment to Develop Abstract Thinking. Problems of Education in the 21st Century*, 53, 99-119.

Silva, M. J., Ferreira, E., Andrade, V., Nunes, O., and Carvalho, M. L. (2015). Embodied education: Senses, emotions, and technology. *Proceedings of the 2015 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*. Available at <https://ieeexplore.ieee.org/document/7451644/>

Silva, M. J., Aboim, S., Teixeira, S., Pinto, J. A., Pereira, T. (2016). Using Senses and Sensors in the Environment to Develop Abstract Thinking: Evaluating the Utility and Usability of Electronic Sensors. In Marcelino, M. J., Mendes, A. J., Gomes, M. C. A. (eds.). *ICT in Education*, pp. 133-149. Springer International Publishing.

Simões, J. A., Ponte, C., Ferreira, E., Doretto, J., and Azevedo, C. (2014). *Crianças e Meios Digitais Móveis em Portugal: Resultados Nacionais do Projeto Net Children Go Mobile*. Lisboa: CESNOVA.

Simovska, V. (2005). Participation and learning about health. In Clift, S. M., and Jensen, B. B. (eds.) (2005). *The health promoting school: international advances in theory, evaluation and practice*. Copenhagen: Danish University Education Press, pp. 173-192.

Souza, A., Alves, A. R., Gomes, C., Rodrigues, S., and Silva, M. J. (2017). Children using sound sensors to improve school environmental health. *Proceedings of the 2017 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*. Available at <https://ieeexplore.ieee.org/document/8259661/>

Smoláková, N., Švajda, J., Koróny, S., and Činčera, J. (2016). The Benefit of the GLOBE program for the Development of Inquiry Competence in the Czech and Slovak Contexts. *International Journal of Environmental and Science Education*, 11 (16), 9507-9519.

van den Berg, E., Schweickert, F., and van den Berg, R.. Science, Sensors and Graphs in Primary schools *Proceedings of the GIREP Conference 2010*, 2010.

Williams, M., Jones, O., Fleuriot, C., and Wood, L. (2005). Children and emerging wireless technologies: Investigating the potential for spatial practice. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI 2005)*, ACM Press, pp. 819-828.

Zucker, A., Tinker, R., Staudt, C., Mansfield, A., and Metcalf, S. (2007).

Increasing Science Learning in Grades 3-8 Using Computers and Probes: Findings from the TEEMSS II Project. *Proceedings of the NARST 2007 Annual Meeting.*