



Orientações sobre contextos e ferramentas de formação

Projeto n.º 601217-EPP-1-2018-1-BE-EPPKA2-SSA-B



Detalhes do documento

Resultado:	D3.3
Data de entrega:	Junho de 2023
Líder:	CE Nantes
Organizações participantes:	LMS, Lortek, Ansys , EWF, LAK, Polimi
Revisores	Polimi, IMR
Data de revisão	Junho de 2023
Língua(s):	PT
Nível de disseminação:	Público

Conteúdos

Conteúdos.....	3
1 Resumo executivo.....	Error! Bookmark not defined.
2 Introdução	Error! Bookmark not defined.
3 O estado atual do contexto de utilização e das ferramentas de formação no fabrico aditivo... defined.	Error! Bookmark not defined.
3.1 Estado atual dos contextos de aprendizagem no fabrico de aditivos.....	Error! Bookmark not defined.
3.1.1 Introdução	Error! Bookmark not defined.
3.1.2 Oportunidades em tempo de COVID	Error! Bookmark not defined.
3.1.3 Aprendizagem em sala de aula/ Aprendizagem presencial	Error! Bookmark not defined.
3.1.4 Aprendizagem em linha/aprendizagem à distância.....	Error! Bookmark not defined.
3.1.5 Laboratório (actividades práticas)	Error! Bookmark not defined.
3.1.6 Certificações e diplomas da AM	Error! Bookmark not defined.
3.1.7 Formação na empresa/formação no local de trabalho e estágio na empresa defined.	Error! Bookmark not defined.
3.1.8 Aprendizagem mista	Error! Bookmark not defined.
3.1.9 Visão geral dos contextos de aprendizagem apresentados.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Estado atual das ferramentas de formação em fabrico aditivo	Error! Bookmark not defined.
3.2.1 Paradigma da Fábrica de Ensino	Error! Bookmark not defined.
3.2.2 Jogos sérios	Error! Bookmark not defined.
3.2.3 Realidade aumentada	Error! Bookmark not defined.
3.2.4 Aprendizagem baseada em projectos	Error! Bookmark not defined.
3.2.5 Casos de estudo	Error! Bookmark not defined.
3.2.6 Palestras de especialistas em AM	Error! Bookmark not defined.
3.2.7 Software de simulação.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.8 Vídeos e animações educativas	Error! Bookmark not defined.
3.3 Visão geral das ferramentas de aprendizagem apresentadas	Error! Bookmark not defined.
3.4 Actividades dos projectos europeus AM que apoiam a aprendizagem e a formação AM not defined.	Error! Bookmark not defined.
4 SAM Orientação operacional sobre o contexto e os instrumentos de formação.....	33
4.1 Exemplos de contextos e ferramentas de aprendizagem dos parceiros SAM	33
4.1.1 LORTEK.....	34
4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH.....	37

4.1.3	Investigação sobre a indústria transformadora irlandesa (IMR)	38
4.1.4	IDÓNIA	39
4.1.5	Software educativo - Granta EduPack	39
4.2	Meta-análise dos estudos-piloto e inquéritos realizados no âmbito do projeto SAM	41
4.2.1	Estudos-piloto	41
4.2.2	Análise sistemática	43
4.2.3	Inquéritos.....	53
4.2.4	Conclusões da meta-análise	54
5	Conjunto aprovado de recomendações para o contexto e as ferramentas da formação em AM	57
6	Conclusões	60
7	Referências	62
APÊNDICE 1: GLOSSÁRIO DE TERMOS RELATIVOS AO CONTEXTO DE APRENDIZAGEM E AOS INSTRUMENTOS DE APRENDIZAGEM.....		63

1 Resumo Executivo

O projeto SAM (Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing - Estratégia de Competências Sectoriais para o Fabrico Aditivo) tem como objetivo apresentar, em conjunto com todos os parceiros e partes interessadas, uma visão partilhada acerca das competências e soluções de competências colaborativas, capazes de promover e apoiar o crescimento, a inovação e a competitividade no sector do Fabrico Aditivo (FA).

O WP 3 é composto por três resultados (Figura 1) que estabelecem a metodologia para a conceção e revisão de perfis profissionais, qualificações e unidades de resultados de aprendizagem. Este documento relata a terceira parte do trabalho efetuado no WP 3, seguindo a metodologia proposta para a criação e revisão de perfis profissionais (D3.1) e os modelos para aplicar esta metodologia (D3.2).

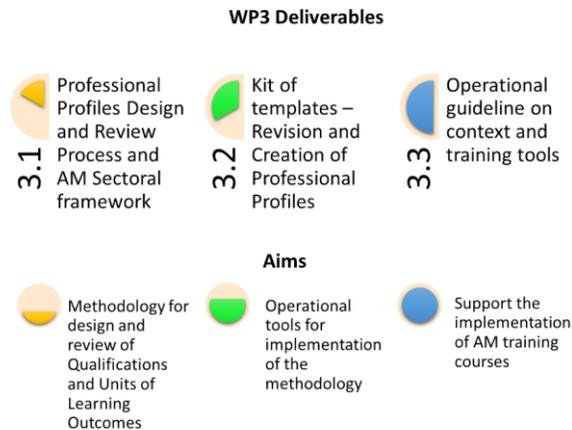


Figura 1: Descrição geral dos resultados do WP3

O principal contributo deste documento é identificar e avaliar os contextos e ferramentas de aprendizagem associados aos resultados de aprendizagem das qualificações em FA.

O contexto de aprendizagem é definido como a situação em que a aprendizagem está a ter lugar. Já as ferramentas de formação são todos os programas, plataformas ou modelos que ajudam os profissionais de ensino durante a formação. Por último, os resultados de aprendizagem definidos em 2008 pelo QNQ, são declarações sobre o que um formando sabe, compreende e é capaz de fazer após a conclusão de um processo de aprendizagem – isto é, os conhecimentos, aptidões e competências que adquire. Isto pode ser particularmente importante para a apreciação e avaliação dos conhecimentos. No caso do projeto SAM, os resultados da aprendizagem serão especificados como aptidões e conhecimentos. Muitas vezes, para descrever os conhecimentos e as competências mobiliza-se a "Taxonomia de Bloom" - um modelo hierárquico que categoriza os objetivos de aprendizagem em vários níveis de complexidade, desde o conhecimento e compreensão básicos até à construção e avaliação avançadas.

O presente documento contém uma lista e descrição dos contextos de aprendizagem e ferramentas de formação em uso na formação em FA. Para cada contexto/ferramenta de formação, há uma descrição das suas "Vantagens", "Desvantagens", e "Recomendações para aplicação na formação em FA", que oferecem uma perceção dos contributos de cada contexto/ferramenta para a formação/ensino em FA. De seguida, privilegiaram-se os dados recolhidos com o inquérito aos centros de formação para dar conta das competências necessárias, - nomeadamente as competências digitais e verdes, - que estão a ser integradas nos cursos de FA existentes. Finalmente, a última secção, apresenta alguns exemplos de ferramentas de formação e aprendizagem dos parceiros SAM que apoiam as conclusões da análise documental discutida nas secções anteriores.

A última revisão deste documento (número 3) inclui resultados adicionais da análise realizada a partir dos estudos-piloto e dos inquéritos realizados pelos parceiros ao longo dos três anos iniciais do projeto. Inclui ainda um retrato holístico dos contextos e ferramentas utilizados em formação de FA, bem como a identificação das ferramentas de formação mais utilizadas por competência. A última secção deste documento apresenta um conjunto de recomendações para contextos e ferramentas de formação em Fabrico Aditivo que foram discutidas com especialistas e partes interessadas da indústria, num workshop organizado a 21 de abril de 2022, e validadas noutra sessão especial durante a 8ª reunião técnica do projeto SAM, realizada em maio de 2022.

2 Introdução

O mercado global de FA foi avaliado em 9,3 mil milhões de dólares em 2018 (com um crescimento de cerca de 18% face ao ano anterior), segundo dados da SmarTech Publishing, uma empresa líder em análise de impressão 3D (1) (a 3DR Holdings, proprietária da 3DPrint.com, adquiriu uma participação na SmarTech Markets Publishing, a principal empresa de análise industrial no sector do fabrico aditivo. A SmarTech Publishing é a única empresa que oferece uma análise financeira do mercado para o sector da impressão 3D/fabrico aditivo). Num estudo mais recente, a Deloitte indica que a indústria do FA está a crescer a um ritmo ainda mais rápido e que se espera que o mercado global de FA ultrapasse os 21 mil milhões de dólares em receitas até 2020 (2)^[60]. Paralelamente, a Sociedade de Engenheiros de Manufatura (SME) alertou para o facto de nove em cada dez produtores encontrarem dificuldades em recrutar funcionários com as competências necessárias em FA (3) ^[61]. Por conseguinte, a educação e a formação profissional em FA são essenciais para acompanhar o crescimento da indústria.

À semelhança dos esforços desenvolvidos nas tarefas anteriores deste WP, - que incluíram a definição de uma metodologia para desenhar e rever os perfis profissionais em Fabrico Aditivo (FA)-, este documento tem como objetivo fornecer uma visão geral dos contextos e ferramentas de formação que permitirão, às partes interessadas, adaptar os perfis profissionais a cenários reais. O foco do documento prende-se com os contextos específicos de ensino/aprendizagem adequados aos programas de educação/formação em FA, bem como as ferramentas de formação que apoiam os formandos/alunos na persecução dos resultados de aprendizagem.

Este documento, juntamente com os resultados do projeto D3.1 e D3.2, oferece um conjunto de ferramentas que incluem a metodologia para a criação e revisão do perfil profissional de FA, um conjunto de modelos de aplicação da metodologia e um mapa do contexto/ferramentas de formação que permitirão dar um passo em frente durante os WP5 e WP6 com a implementação de cursos-piloto.

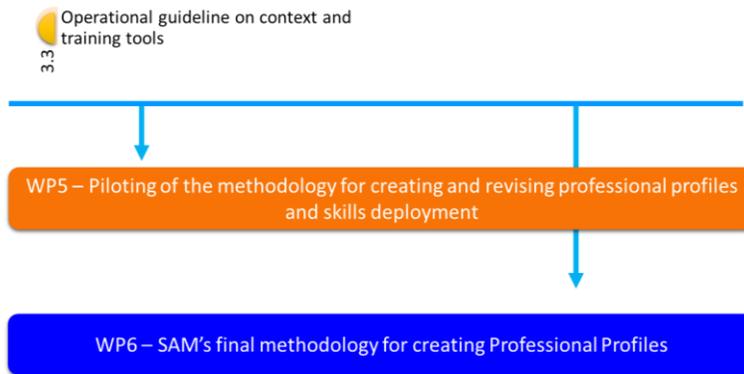


Figura 2: Fluxo de interação entre a D3.3 e os restantes resultados do projeto

Para explorar plenamente os contextos específicos do ensino em FA, este documento visa estudar o paradigma atual dos contextos de aprendizagem e das ferramentas de formação desta área. Assim, a revisão está dividida em duas secções principais – a primeira, centrada nos contextos de aprendizagem (Secção 3), a segunda centrada nas ferramentas de aprendizagem (Secção 4). No final de cada secção, é apresentada uma visão geral dos aspetos positivos e negativos de cada contexto ou ferramenta. Na secção 5, é apresentada uma visão geral das diferentes iniciativas europeias relevantes em matéria de educação em FA. Finalmente, é apresentada na Secção 6, a experiência dos parceiros SAM, organizações líderes no contexto europeu do FA.

3 Paradigma dos Contextos e Ferramentas de Aprendizagem em Fabrico Aditivo

A fim de clarificar o significado do conteúdo das secções seguintes (3.1 e 3.2), foi incluído um glossário de termos relativos ao contexto e às ferramentas de aprendizagem no Anexo 1 (página 63).

3.1 Paradigma dos contextos de aprendizagem no fabrico aditivo

3.1.1 Introdução

O FA é um dos domínios mais promissores e de rápido crescimento na engenharia e indústria transformadora. Nesta e noutras áreas, as qualificações estão a evoluir para além das competências técnicas e incluem outros tipos de aptidões, já discutidas e classificadas com maior detalhe no WP2. Além disso, a análise dos programas de educação/formação existentes, em particular no domínio do FA, revela que a maioria destes não se centra num contexto de aprendizagem exclusivo, mas numa combinação de diferentes contextos de aprendizagem. O setor do Fabrico Aditivo está agora a ser expandido para várias áreas, sendo considerado um domínio multidisciplinar. Por conseguinte, deve ser tratado também multidisciplinarmente pelos programas de ensino e formação, sem descartar as raízes que o mantêm próximo da engenharia mecânica e de materiais.

Apesar do forte crescimento industrial, o ensino da FA está sub-representado no meio académico, sendo considerado uma disciplina menor nos currículos de engenharia. A maioria das universidades aborda o FA com aulas introdutórias e workshops limitados ao objetivo de demonstrar as capacidades da FA para conceção e produção.

Um exemplo de um curso bem desenvolvido de FA é o do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) para estudantes de engenharia (que difere da formação direcionada à indústria). Para os estudantes de licenciatura e de pós-graduação do MIT, a formação em FA é realizada num contexto pedagógico triangular (a partir das três ferramentas básicas de aprendizagem) consistindo em sessões em sala de aula, práticas laboratoriais e projetos baseados em casos reais. O curso inicia-se com as aulas teóricas com o objetivo de construir uma base de conhecimento em FA e processo associados. Após esta introdução, as aulas teóricas e as sessões de laboratório permitem que os alunos experimentem quer a aprendizagem anterior, quer a sua aplicação. Por exemplo, a Modelagem por Deposição Fundida (MDF) é introduzida em sala de aula e depois os alunos são encarregados das práticas relacionadas com os processos de FA, como o pré-processamento (trabalhar com software para o design de peças), a impressão (aplicar e observar a funcionalidade da impressora), e o pós-processamento e inspeção. O passo seguinte é a atribuição de um projeto individual. Cada aluno é encarregado de projetar e/ou montar uma peça, para que tenha uma experiência prática de como lidar com as vantagens e dificuldades do processo de FA. Este método centrado-no-problema permite que os alunos se tornem proativos e aprendam a identificar as competências necessárias à resolução de problemas. Depois, com base nos conhecimentos adquiridos e nos recursos disponíveis, os alunos estarão capazes de selecionar o processo de AM adequado à concretização da tarefa que tenham em mãos. Este método de confronto com problemas reais elimina ainda algumas das lacunas dos métodos convencionais centrados em dar aos alunos informações específicas e pedir-lhes um trabalho com base nessas informações. Consequentemente, é um método que beneficia o aprofundamento dos conhecimentos e competências dos estudantes.

Outro exemplo pode ser encontrado no Departamento de Engenharia Mecânica do Politécnico de Milão, onde são oferecidos cursos de nível de Mestrado (MSc) e cursos de formação profissional. Dois exemplos de cursos de mestrado em FA incluem um curso de Fabrico Aditivo oferecido em diversas áreas (Engenharia Mecânica, Engenharia de Automação, Engenharia de Gestão, Design) (4) e o curso de Fabrico Aditivo Espacial e Aeroespacial direcionado aos estudantes de Engenharia Mecânica e de Gestão (e aberto a estudantes de doutoramento) (5). Estes cursos baseiam-se numa combinação de aulas teóricas, discussão de casos de estudo, testemunhos da indústria, exercícios em sala de aula, atividades laboratoriais, assim como formação em computador, conceção, e programas dedicados ao FA, etc. As atividades laboratoriais são orientadas para permitir que os estudantes desenvolvam conhecimentos práticos sobre problemas específicos do FA e a sua representação virtual.

Os investigadores e as faculdades do Politécnico de Milão estão também envolvidos em diferentes programas de formação em FA dirigidos a profissionais. Alguns exemplos incluem: 1) Mestrado em Fabrico Aditivo, organizado pela MIP Graduate School of Business - Management Academy, Politecnico di Milano, 2) Fabrico Aditivo de Metal- Investigação de Cenários e Experiência Industrial, organizado pelo International Centre for Mechanical Sciences, Università di Udine, 3) Mestrado Bosch Industry 4.0, organizado pelo Cefriel, Politécnico de Milão para a Bosch Itália, 4) Mestrado em Projeto Avançado de Fabrico Aditivo, organizado pela Confindustria Firenze Formazione para a Baker Hughes, uma empresa GE, 5) Mestrado em Fabrico Aditivo, organizado pela Rina Consulting. Estes cursos baseiam-se na combinação de aulas teóricas, visitas a laboratórios e atividades laboratoriais, em função da experiência e do nível de especialização dos estudantes. Os contextos de aprendizagem e ferramentas de formação relacionados com estes cursos são discutidos nas secções seguintes.

No contexto do projeto SAM, estão a ser desenvolvidos cursos-piloto de qualificação certificada oferecidos pela EWF (um dos principais parceiros do projeto SAM) concebidos a partir de cenários reais. A qualificação a desenvolver será selecionada a partir dos vários inquéritos bianuais enviados à indústria, aos centros de formação e aos profissionais. Essas qualificações serão depois testadas pelos diferentes parceiros em cenários reais. Por isso, os parceiros são aconselhados a seguir o mais possível a estrutura, as unidades de competência e os conhecimentos a abordar.

Para testar a aplicabilidade e a concretização destes cenários-piloto "em situação real", foram realizadas várias sessões ao longo do projeto, centradas em diferentes UCs.

A primeira fase deste cursos-piloto teve lugar no final de 2020/início de 2021 e centrou-se nas seguintes UCs:

Unidade de Competência	Horas /Modo	Parceiro
00 Introdução ao Fabrico Aditivo	5 /Presencial	Lortek
01 Processo de Deposição Direta de Energia por Arco Elétrico (DED-Arc)	42 /Presencial	AITIIP
08 Processo de Deposição Direta de Energia a Laser (DED-LB)	15 / Online	FA
15 Processo PBF-LB	27/ Online	IMR
25 Métodos de pós-processamento para peças em FA	Online	LMS
26 Introdução aos materiais	Online	UBRUN Ansys
27 Fabrico Aditivo em aço	Online	EPMA
30 Fabrico aditivo em níquel	7/ Online	EPMA
31 Fabrico Aditivo em titânio	11/Presencial	Lortek
34 Seleção de Processos	20 / Online	CE Nantes
35 Integração do processo de Fabrico Aditivo	21/Presencial	AITIIP
36 Coordenação do Fabrico aditivo	7/ Online	MTC
43 Produção de peças PBF-LB	18/Online	POLIMI
44 Conformidade das peças PBF-LB	20/Online	POLIMI
45 Conformidade das instalações com o PBF-LB	14/ Online	ISQ
61 Análise da Simulação do Processo de FA	20 /Online	IDÓNIA
62 Execução da Simulação do Processo de FA	44/ Online	Ansys

A segunda fase dos cursos-piloto teve lugar no verão de 2021 e centrou-se nas seguintes Ucs:

Unidade de Competência	Horas /Modo	Parceiro
63 Certificação, Qualificação e Normalização no Fabrico Aditivo (CQS)	7/Online	IMR E MTC
63 Certificação, Qualificação e Normalização no Fabrico Aditivo (CQS)	7 /Online	LORTEK
64 Empresas para Fabrico Aditivo	17 / Online	CE Nantes
65 - Visão geral sobre os polímeros e suas propriedades para o FA	Online	ISQ
65 - Visão geral sobre os polímeros e suas propriedades para o FA	Online	UBRUN e Ansys
66 – Design para processos de Fabrico aditivo de polímeros	Online	MTC &AITIIP
67 - Pós-processamento de polímeros	7 /Presencial	LAK
68 – Design para processos de fabrico por extrusão	Online	FA
68 - Design para extrusão de materiais	Online	LMS
69 - Design de polímero PBF	Online	LMS E AITTIP

Os projectos-piloto culminaram com o projeto de qualificação do coordenador da Metal AM (outubro de 2022-maio de 2023)

Unidade de Competência	Horas /Modo	Parceiro
00 - Visão geral do processo de fabrico aditivo	3.5 / Online	ISQ
01: Processo DED-Arc	35 / Online	MTC E LORTEK
08- Processo DED-LB	28/ Online	MTC
15- Processo PBF-LB	28/ Online	IMR
25- Pós-processamento	10,5/ Online	LMS
34- Seleção do processo	24,5/ Online	CE NANTES
35- Integração de fabrico aditivo metálico	17,5/ Online	IDÓNIA
36- Atividades de coordenação	7/ Online	MTC
72- Processo "Metal Binder Jetting"	21/ Online	POLIMI & MTC

3.1.2 Oportunidades em tempo de COVID

A pandemia do coronavírus (Covid-19) teve grande impacto na área da educação, principalmente com a suspensão generalizada das operações presenciais nas instituições de ensino em mais de 190 países com vista a limitar a propagação do vírus. No entanto, a indústria e as entidades educativas não puderam fazer uma pausa no desenvolvimento de competências, pelo que foi necessário encontrar soluções rapidamente. Assim, das dificuldades causadas pela pandemia, surgiram oportunidades.

Antes da Covid-19, os programas de aprendizagem digital e virtual estavam em crescimento, e estamos agora a assistir a um aumento significativo desses programas de aprendizagem, cada vez mais valorizados pelos formandos mais jovens. Pode dizer-se que a melhoria das capacidades de ensino resultantes da pandemia pode resultar em benefícios a longo prazo. Estas boas práticas, desde as urgentes e táticas até às estratégicas, podem ajudar os programas de aprendizagem no local de trabalho a manter os seus benefícios e as suas dinâmicas, enquanto que estabelecem uma nova e eficaz base para uma aprendizagem virtual e mista, paralela ao ensino presencial convencional. A criação de uma equipa de resposta à aprendizagem, salvaguardando as formações de ensino presencial, o apoio à aprendizagem digital, a experiência com ferramentas digitais alternativas e a prática e preparação para resultados diversos é um exemplo disso mesmo.

A COVID-19 criou desafios de inovação (e, consequentemente, oportunidades) tanto para os estudantes como para os formadores, que tiveram de se adaptar a práticas de formação à distância. Os formadores estão agora, e cada vez mais, a utilizar a aprendizagem virtual e a adotar novas tecnologias, como os ambientes de realidade aumentada e virtual, para resolver este problema. A formação em fabrico aditivo, ainda mais eficaz quando prática, terá de fazer um esforço de adaptação vital a formas inovadoras de manter o mesmo nível de ensino, mesmo perante a crise. A indústria de produção, é um exemplo de boas práticas, já que se tem tornado cada vez mais sofisticada e digital, com as organizações a adotarem novas tecnologias, procurando manter-se atualizadas (ver Virtual Reality Market Share & Trends Report, 2021-2028 ([grandviewresearch.com](https://www.grandviewresearch.com)) e The Impact and Potential of Virtual Reality Training in High-Consequence Industries ([trainingmag.com](https://www.trainingmag.com)). Evidência disso, é o surgimento da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas Industrial, ou IoT.

Fruto deste contexto podem notar-se ainda algumas tendências. Para lá dos programas académicos, educativos e da avaliação, manter a motivação dos formandos afirmou-se uma necessidade crucial durante o período pandémico. Em paralelo, a requalificação e a melhoria das competências dos profissionais tornou-se essencial para que as empresas estejam na melhor posição possível para evoluir. Como resposta a estas necessidades, os sistemas de

gestão da aprendizagem (LMS), que facilitam a ligação com os formandos à distância e em qualquer altura, disponibilizando os conteúdos de aprendizagem online, poderiam tornar-se uma opção privilegiada. No entanto, estes nem sempre oferecem uma forma de avaliação. Por exemplo, o Moodle é uma plataforma de aprendizagem online onde podem ser realizados e avaliados exames de escolha múltipla. Podem ser utilizados questionários e classificações automáticas, mas estas são insuficientes no que diz respeito à avaliação das aptidões e competências. Assim, as ferramentas de aprendizagem combinadas parecem ser a melhor opção para abordar estas tendências. Como anteriormente referido, estas ferramentas não são novas, mas a pandemia de COVID-19 trouxe-as para a linha da frente do ensino. Este contexto, em conjunto com a requalificação e a atualização de competências, que se tornaram fundamentais para quem tinha perdido o emprego, contribuíram para um crescimento na procura de cursos flexíveis, facilmente consumíveis e relevantes para a indústria.

Adicionalmente, as micro-credenciais tornaram-se também uma escolha popular. Estes pequenos cursos conhecidos como micro aprendizagens, podem ser construídos através da decomposição de uma unidade de competência reconhecida por uma organização profissional. Esta abordagem de aprendizagem é atrativa para os estudantes porque lhes permite adquirir competências específicas, permite-os atualizar as suas competências e a manter-se atualizados num sector em rápida mudança. São estes fatores que fazem prever que a micro aprendizagem continue a ser muito procurada.

Concluindo, os futuros estudantes procuram uma maior flexibilidade no acesso à formação. Esta pode ser apoiada pelos empregadores através de formações formais e certificadas em contexto de trabalho ou opções de formação independentes que não constituam um desafio do ponto de vista financeiro e do tempo despendido (por exemplo, 81% dos 4,2 milhões de estudantes de EFP da Austrália estudavam a tempo parcial). As expectativas dos alunos dos mudaram e as suas preferências incluem agora a aprendizagem online, presencial ou mista (uma abordagem combinada da oferta de ensino que utiliza sessões de acesso remoto ou à distância com horas de contacto convencionais e presenciais). A liberdade concedida pelo ensino online permite que a avaliação seja acessível, portátil, flexível e facilmente adaptável. Em geral, os formandos/estudantes podem estar localizados em qualquer local onde a tecnologia esteja disponível, como a sala de aula, a biblioteca, o local de trabalho ou mesmo o domicílio. Finalmente, é importante mencionar que existem oportunidades de financiamento com vista ad apoiar a digitalização das organizações e empresas, a atualização das tecnologias e a incentivar o acesso ao ensino superior - disponíveis a nível nacional e internacional.

3.1.3 Aprendizagem em sala de aula/ Aprendizagem presencial

A aprendizagem em sala de aula é uma aprendizagem presencial. O ambiente de aprendizagem é criado dentro das paredes físicas de uma sala de aula, onde os alunos e o professor estão fisicamente presentes. Para além disso, estas aulas podem ser classificadas como:

- **Aula expositiva:** um tipo de aula presencial em que o professor fala sobre um assunto durante um longo período. É um método unidirecional¹, caracterizado pela pouca interação entre o professor e os alunos.
- **Seminários:** um tipo de aula presencial em que os alunos se revezam para dar a sua opinião sobre determinado assunto. Os alunos discutem o que aprenderam com a aula².
- **Workshop:** um tipo de aula presencial semelhante a seminários em que os alunos debatem e o professor modera a discussão sobre um assunto específico. O workshop envolve exercícios mais interativos para incentivar a comunicação entre os participantes e pode durar um dia inteiro ou vários dias¹.

¹ <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

² <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

Num inquérito realizado no âmbito do projeto SAM WP 4.3, 5.7, 58% dos participantes afirmaram que a educação em FA tem lugar num centro educativo. Atualmente, muitas universidades oferecem mestrados em FA a tempo parcial e a tempo inteiro durante dois semestres. Estes incluem frequentemente projetos de grupo, projetos individuais e uma tese final. O mestrado em FA dura, na sua maioria, dois semestres e pode ser realizado a tempo inteiro ou a tempo parcial. Os estudos dividem-se principalmente em módulos lecionados, projetos de grupo, projetos individuais e/ou a tese final.

Os tópicos dos **módulos** são lecionados em sala de aula, sob a forma de tutoriais e palestras. O número de horas de trabalho depende em grande medida do tema do módulo e varia consoante as universidades. As orientações relativas às horas de trabalho podem ser consultadas nos documentos fornecidos pelo EWF ou pelo CLLAIM (ver secção 4). A avaliação dos resultados de aprendizagem será efetuada sob a forma de exame escrito, estudos de casos, ensaios, apresentações e testes. A maioria das universidades que oferecem licenciaturas ou mestrados tem máquinas de FA nos seus laboratórios de ensino.

Nos **projetos de grupo**, os estudantes trabalham em conjunto para resolver problemas propostos pelo professor. O projeto aplica conhecimentos técnicos e proporciona formação em trabalho de equipa e a oportunidade de desenvolver aspetos não técnicos do curso. Os projetos são frequentemente apoiados por organizações externas e expõem cenários reais.

Os **projetos individuais** serão também selecionados com o diretor do curso. O aluno pode demonstrar pensamento e investigação autónomos.

Os aspetos multidisciplinares envolvidos no FA direcionam a formação para uma conjugação de aspetos teóricos e atividades práticas/manuais. A formação em sala de aula para os estudantes de mestrado tem como objetivo introduzir os processos de FA e as suas aplicações, discutindo as suas implicações técnicas e comerciais para os designers, engenheiros, "produtores" e outros possíveis utilizadores desta tecnologia de fabrico avançada.

A título de exemplo, os tópicos abordados na formação em sala de aula do curso de Mestrado em Fabrico Aditivo realizado no Politécnico de Milão são

- **Introdução.** Princípios de camada por camada. Vantagens e limitações do FA. Histórico do desenvolvimento da tecnologia FA. Cadeia de processos de FA. Materiais e aplicações industriais: prototipagem rápida, ferramentas rápidas, fabrico digital direto. Seleção de processos, disponibilidade e tendências do mercado, oportunidades de negócio.
- **Tecnologia FA: Polímeros.** Descrição e modelação dos principais processos de AM para polímeros. Máquinas, questões de software, pós-processamento, conceção para FA de polímeros.
- **Tecnologia FA: Metais.** Descrição e modelação dos principais processos de AM para metais. Máquinas, questões de software, pós-processamento, design para FA de metais.
- **Verificação de produtos FA.** A necessidade de metrologia de precisão. Metrologia dimensional e geométrica para FA: limites dos sistemas de medição tátil e ótica; sistemas de medição baseados em volume: Tomografia computadorizada de raios X 3D. Medição da topografia da superfície (tátil, ótica ou outra e métodos de análise).
- **Monitorização do processo FA.** A necessidade de um processamento de precisão. Monitorização em linha para FA: medição das variáveis do processo, abordagens de monitorização, sensor e fusão de dados.

Outro exemplo de ensino em sala de aula pode ser encontrado no curso de Fabrico Aditivo Espacial e Aeroespacial realizado no Politécnico de Milão. A formação em sala de aula tem como objetivo proporcionar uma compreensão

profunda de todas as tecnologias de FA utilizadas nos sectores industriais de ponta. Os processos de fabrico para metais (convencionais e não convencionais), polímeros, materiais compósitos, cerâmica e vidro, células vivas/órgãos humanos são descritos em pormenor. Cada processo é analisado em relação às suas principais aplicações, bem como as suas vantagens e desvantagens.

O curso aborda subsequentemente todos os desafios técnicos em aberto. Por exemplo, os aspetos de conceção e as regras de conceção, como desafios de fabrico que começam com a aquisição e o controlo das matérias-primas (métodos de seleção de pós, especificações de aquisição e requisitos de verificação). Aspetos do processo de fabrico propriamente dito, como a estabilidade do processo e a sua monitorização/controlo (a maioria das universidades que oferecem cursos de licenciatura ou de mestrado têm máquinas de AM nos seus estabelecimentos de ensino). O produto desempenha o papel principal. As vias de qualificação e validação são também abordadas. E, por último, é apresentada a standardização do fabrico aditivo, que facilita a introdução da impressão 3D no mercado e promove o seu potencial de inovação na competitividade industrial. Por último, o curso fornece uma perspetiva sobre os futuros desenvolvimentos relacionados com o FA, incluindo a impressão 4D, e em geral, os desenvolvimentos da indústria 4.0.

As **aulas virtuais** tornaram-se recentemente uma necessidade devido às limitações impostas pelo coronavírus. Isto obrigou a que os cursos existentes fossem temporariamente oferecidos remotamente. Prevê-se que a Covid-19 venha a ter um enorme impacto na formação futura. Embora os métodos de formação tenham sido parcialmente adaptados para plataformas de ensino à distância, os conteúdos não foram adaptados. Ainda assim, é interessante salientar que este contexto abriu também a discussão acerca do papel das tecnologias de Fabrico Aditivo em situações de emergência, particularmente a respeito da rápida necessidade e procura por produtos normalmente produzidos por outros métodos. A inclusão destas discussões nos cursos de formação em FA pode ter o potencial de aumentar a consciencialização dos formandos acerca do papel estratégico do FA a nível nacional e internacional.

O ensino do fabrico aditivo está a ser lentamente implementado nas salas de aula dos alunos do ensino secundário e dos estudantes de engenharia. Ao nível dos cursos de engenharia, o ensino do FA é introduzido como parte de um programa curricular mais alargado. Por exemplo, a Granta Design desenvolveu recursos para o ensino pré e pós-graduado dos cursos tradicionais de engenharia de materiais, mas inclui o FA como uma área em crescimento dentro dos novos recursos. Os 'PowerPoint ready-made' e os folhetos de exercícios preparados estão disponíveis no [HUB de Recursos Didáticos](#). Entre estes recursos, salientam-se, a título de exemplo os gráficos personalizados das propriedades de materiais, em que é possível copiá-los para o PowerPoint, salvá-los como um arquivo de projeto, sendo depois possível realizar anotações em tempo real. O software GRANTA EduPack também é usado como base para exercícios curtos e práticos durante as sessões em sala de aula, ou como 'trabalho de casa'. Os recursos de ensino do EduPack disponibilizam esses exercícios. Os alunos podem investigar materiais e criar relatórios ou posters para demonstrar o que aprenderam. O software EduPack está disponível na maioria das universidades da Europa que ensinam engenharia de materiais através de licenças universitárias. A Tabela 2 apresenta uma visão geral do conteúdo das unidades didáticas integradas no EduPack.

Tabela 1. Síntese dos conteúdos das unidades que auxiliam a aprendizagem dos princípios das tecnologias de FA.

Princípio AM	Unidade
Princípios genéricos das tecnologias FA	Natureza das camadas
	Processos de conformação (por exemplo, fusão, sinterização)
	Pós-processamento
Design para FA	Descrição da natureza da FA Freeform vs. fabrico subtrativo convencional vs. outro fabrico por conformação
	FA Restrições de edificabilidade
	FA Possibilidade de fabrico e alterações de conceção
	Otimização da topologia e conceção generativa possibilitada pelo FA
FA em produção em série	Economias de escala vs personalização em massa
	FA - valor acrescentado para a produção
	Fabrico aditivo para as fases de desenvolvimento do produto e de produção final

Uma pesquisa sobre cursos de formação em FA e cursos de formação industrial (mestrado e licenciatura) em diferentes organizações em toda a Europa, revelou que são abordados os seguintes tópicos, dependendo das áreas de incidência:

- Processos FA para metais
- Processos FA para polímeros
- Princípios científicos e de engenharia do FA
- FA Materiais (Plástico/Metal)
- Estratégias de construção
- Qualidade de fabrico (defeitos, normas, procedimentos, controlo estatístico)
- Inspeção das características de qualidade
- Metalurgia de FA (características metalúrgicas / fabrico de formas quase líquidas)
- Pós-processamento em FA - Princípios de tratamento térmico
- Desenho para FA /CAD (Computer Aided-Design)
- Análise de elementos finitos
- Simulação de processos / Modelação em FA
- Software em FA
- Sistemas de dados em FA
- Implementação em fábrica (Indústria 4.0)
- Design Sistemas de FA
- Automação e Robótica
- Pensamento crítico e resolução de problemas
- Trabalho em equipa multifuncional e técnicas de ideação para fomentar a criatividade

3.1.4 Aprendizagem Virtual /aprendizagem à distância

Um inquérito realizado no âmbito do WP 4.3 do projeto SAM revelou que a educação online representava à data 27,4 % da formação. No entanto, tal como mencionado na secção 2.2, devido à disseminação do CoVid-19 e à digitalização da educação e da formação, espera-se que estes números continuem a crescer.

A aprendizagem online é geralmente designada por aprendizagem melhorada por computador, aprendizagem baseada em computador, tecnologia interativa ou aprendizagem à distância. No entanto, de acordo com a bibliografia, existe uma ligeira diferença entre a aprendizagem online e a aprendizagem à distância. A aprendizagem online é considerada um ensino não presencial. Não se espera que os alunos estejam disponíveis em determinado dia ou hora para receberem instruções do professor na sala de aula³. Os estudantes têm acesso a um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), como o Moodle ou o Dokeos. O AVA funciona como um meio de comunicação e uma ferramenta de aprendizagem interativa. Algumas entidades fornecem apoio tutorial aos estudantes que frequentam o programa. Estes tutores podem ser contactados por email ou Skype sempre que necessário^{4,5,6}. Por outro lado, o ensino à distância implica que os estudantes utilizem material didático (tanto impresso como eletrónico) e recebam instruções do formador em diferentes momentos. Pode ser em tempo real, utilizando o Microsoft Teams, o Blackboard Collaborate, o Zoom e/ou alternativas semelhantes, ou com flexibilidade de horários. Assim, espera-se que os alunos estejam disponíveis para receber instruções de forma síncrona. O trabalho efetuado pelos alunos é verificado digitalmente pelo professor^{7,8,9}. Este ensino inclui também frequentemente workshops presenciais, escolas de verão ou "residências" como parte do programa de estudos¹⁰.

Um tipo de aprendizagem online é efetuado através de um workshop virtual. De acordo com a Engineering Education Australia¹¹, a definição de Workshop Virtual é um método estruturado de formação e desenvolvimento profissional online, ao estilo de uma sala de aula em direto. Os seminários virtuais são interativos, utilizando ferramentas como salas de discussão, atividades baseadas em estudos de casos práticos e comunicação bidirecional. Os Workshops Virtuais incluem também uma gama de materiais de referência para ajudar os participantes a aplicar as aprendizagens após a formação, podendo estes ser intercalados com elementos de pré-leitura ou de estudo autónomo para maximizar o conteúdo abrangido pelo curso.

O ensino online e o ensino à distância podem ser divididos em diferentes áreas: cursos universitários online para estudantes de mestrado, cursos online de acesso livre, plataformas online como os MOOC e cursos de curta duração para a indústria. Os cursos gratuitos fornecem um nível de informação mais baixo e são, em geral, direcionados para o público geral. Os cursos de mestrado com propinas proporcionam um conhecimento mais aprofundado. A maioria das universidades que oferecem cursos de mestrado em FA, oferecem também programas concebidos para serem

³ <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

⁴ <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

⁵ <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

⁶ Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

⁷ <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

⁸ Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

⁹ <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

¹⁰ <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

¹¹ <https://eea.org.au/insights-articles/what-virtual-workshop>

realizados online. No entanto, os cursos que serão efetuados online podem ainda exigir formação presencial em laboratórios. Os cursos estão divididos em diferentes módulos e são abordados os mesmos temas que os do ensino presencial. Dependendo do tipo de aprendizagem online, serão aplicadas diferentes abordagens de aprendizagem. A aprendizagem baseada em factos está sobretudo relacionada com cursos introdutórios e gratuitos, ao passo que a aprendizagem baseada em projetos, inquéritos ou problemas está maioritariamente associada ao nível de mestrado.

Como referido anteriormente, o MIT destaca-se entre as instituições que oferecem formação online: disponibiliza aulas em vídeo e os alunos aprendem com especialistas em educação e na indústria através de entrevistas. As peças fabricadas são avaliadas online e a utilização de software de tecnologia avançada está previsto num futuro próximo. Para assegurar a comunicação, utiliza-se uma plataforma edX 'browser-based' que inclui multimédia, apresentações, dados tridimensionais de peças e ferramentas interativas e quantitativas. Os designs CAD podem ser guardados na 'cloud' e os modelos de custos facilmente acessíveis. Além disso, a acessibilidade online permite uma base de conhecimentos online com conteúdo suplementar em FA, alargando o leque de tópicos abordados. A comunicação entre os alunos pode ser efetuada através de um fórum de discussão online. Para além da plataforma de formação online da Universidade do MIT, várias outras plataformas de formação online associadas a universidades de renome, como a UDEMY, a Alison, a Coursera e a EDX, oferecem uma vasta gama de cursos de formação especializados e não especializados. Além disso, a União Europeia oferece cursos online gratuitos que abrangem os tópicos básicos do conhecimento em FA (ver capítulo 5 - Atividades Europeias). As pessoas interessadas no FA também podem aceder a manuais online, webinars (muitas vezes fornecidos por fornecedores de FA) e publicações em blogues.

3.1.4.1 Plataformas de aprendizagem virtual

3.1.4.1.1 3DExperience, Dassault Systems

A 3DExperience é uma plataforma comercial global orientada para a base de dados e que permite a colaboração entre diferentes acionistas. A plataforma está centrada para vários usos profissionais em diferentes sectores tecnológicos e, consoante as funções selecionadas e/ou adquiridas, as aplicações guiam o utilizador ao longo de um processo.

No caso do FA, esta plataforma abrange todo o processo em cadeia, e pode ser utilizada ao longo do processo de aprendizagem. A plataforma destina-se principalmente a engenheiros e projetistas, mas também a estudantes, disponibilizando uma plataforma prática que apresenta um guia passo a passo dos processos de FA. A plataforma está acessível a privados, empresas ou o público em geral. Assim, um fornecedor, como uma universidade, pode conceder acesso a diferentes estudantes para trabalharem individualmente ou em equipa em projetos de FA. Teoricamente, um grupo de estudantes pode aplicar um estudo de caso da vida real, considerando diferentes funções numa empresa. A plataforma é baseada num PLM (Enovia), pelo que a gestão de utilizadores, permissões e controlo de versões é bastante simples. A configuração inicial é semelhante à criação de uma equipa no Teams.

Podem ser selecionadas quatro aplicações diferentes: CATIA para criar um design funcional generativo, Delmia para simular o processo de planeamento da construção durante a Powder Bed Fusion, Simulia para realizar simulações de fabrico FA e CATIA2 para transformar morfologias virtuais em reais. Dependendo das necessidades dos alunos, estes escolhem uma aplicação ou percorrem passo a passo a cadeia de processos. Percorrer todos os passos do processo ajuda o aluno a trabalhar sobre o FA numa abordagem global. No CATIA, o design e a otimização das peças AM podem ser estudados, enquanto o Delmia é uma ferramenta mais orientada para o processo, centrado-se no conhecimento do processo de construção. O Simulia e o CATIA 2 centram-se nas variáveis do processo e na sua influência na peça dentro do processo, mas também na influência das estratégias de pós-processamento. As

aplicações individuais simulam uma cadeia de processos reais e o software de experiência 3D permite que os alunos trabalhem num ambiente adaptado à vida real, um método atualmente utilizado na indústria. A plataforma é utilizada para implementar a metodologia de aprendizagem baseada em projetos (PBL). As pessoas podem utilizar diferentes ferramentas e metodologias dentro da plataforma para desenvolver novos produtos de FA e familiarizar-se com diferentes programas de software.

3.1.4.1.2 Centro de aprendizagem Ansys

A Ansys oferece um centro de aprendizagem online com recursos de formação para lidar com projetos atuais e desenvolver oportunidades para melhorar as competências em FA, particularmente para o engenheiro de design e simulação de FA. É um serviço de subscrição, com acesso a uma grande variedade de recursos, incluindo cursos em sala de aula de acesso global, cursos virtuais em todos os fusos horários, cursos em vídeo de ritmo próprio, percursos de aprendizagem para orientar a seleção de cursos, salas de aprendizagem dedicadas a perguntas e discussão, assim como materiais de formação detalhados. Especificamente, os módulos existentes para o desenvolvimento de competências de FA através do software Ansys são:

- **Introdução ao Ansys Additive Prep.** O público-alvo são engenheiros, projetistas e operadores de máquinas que trabalham com máquinas de impressão em metal. O método de ensino consiste em aulas teóricas e sessões práticas em computador para validar os conhecimentos adquiridos. O curso "Ansys Additive Prep" ensina o fluxo de trabalho dentro do software Additive Prep, desde a importação de peças até à exportação de ficheiros de construção contendo toda a informação necessária para a máquina de impressão e/ou para a simulação de impressão. Neste curso, o formando aprende a encontrar a orientação otimizada para imprimir uma peça, a detetar automaticamente as regiões que necessitam de suporte; e a forma de criar e definir os parâmetros dos suportes. Os formandos aprendem a introduzir os parâmetros da máquina de impressão para gerar um ficheiro de construção. Finalmente, o curso apresenta ainda o passo seguinte da simulação do fabrico aditivo: exportar o ficheiro de construção e utilizá-lo no Workbench Additive ou nos produtos Additive Print. Este curso ensina a definir os parâmetros de suporte e a definir os parâmetros da máquina. Disponibiliza um certificado de formação a todos os participantes que concluíam o curso.
- **Introdução ao Ansys Additive Print:** Neste curso, os formandos aprendem sobre: o processo DMLS, o processo de calibração, a resolução de problemas avançados de análise térmica, a previsão de distorção, a diferenciar as opções de modo de deformação, a criar o suporte consoante a geometria, a escolher a posição e construção das peças, a escolher o padrão de digitalização e a visualizar e avaliar os resultados da impressão. O público-alvo são engenheiros, projetistas e operadores de máquinas que trabalham com máquinas de impressão em metal. O método de ensino inclui aulas teóricas e sessões práticas em computador para validar os conhecimentos adquiridos. Um certificado de formação é entregue a todos os que concluíam o curso.

3.1.4.1.3 Centro de Aprendizagem Granta

A Granta Design desenvolve recursos para professores e estudantes, bem como bases de dados de materiais e software educativo, utilizando ferramentas sofisticadas para apoiar o ensino da seleção de materiais, design e sustentabilidade. Os cerca de 350 recursos para professores e alunos são disponibilizados gratuitamente através do sítio Web Granta Education Hub em <https://grantadesign.com/education/teachingresources>.

Os tipos de recursos incluem apresentações, exercícios, estudos de caso, documentos, tutoriais em vídeo. A unidade de ensino "Produção" aborda os fundamentos da ciência dos materiais e os processos relacionados que devem

constituir a base de qualquer formação em FA. As unidades de ensino incluem: Materiais e Forma, Seleção de Materiais, Processo de Fabrico e Custos, etc. Os recursos didáticos estão traduzidos para 8 línguas.

3.1.5 Atividades práticas

Um aspeto importante da formação em FA está relacionado com atividades práticas e visitas a laboratórios. As primeiras podem ser organizadas e implementadas de diferentes formas. A título de exemplo, no âmbito do Mestrado Bosch Indústria 4.0, organizado pelo Cefriel e pelo Politécnico de Milão para a Bosch Itália, os formandos têm a possibilidade de experimentar todas as etapas desde a conceção da peça até ao corte, preparação do código e impressão final. Isto sensibiliza os formandos para as questões práticas relacionadas com a impressão 3D e o seu potencial industrial. Permite-lhes também pôr em prática os princípios e conceitos aprendidos durante o curso. No Politécnico de Milão está disponível, no Departamento de Engenharia Mecânica, uma sala de aula equipada com várias impressoras 3D para polímeros que podem ser utilizadas diretamente pelos estudantes.

As visitas aos laboratórios também são importantes, uma vez que permitem aos formandos ver e tocar em peças reais, sistemas industriais e protótipos de investigação. Os estudantes podem informar-se sobre os projetos de investigação e desenvolvimento em curso para terem uma melhor noção do estado atual da arte, mas também lidar com questões em aberto e soluções inovadoras que ainda não estão no mercado.

No mundo educativo e académico, o FA tem uma forte presença nas áreas laboratorial e oficial. Com o aparecimento das impressoras 3D comerciais, o equipamento de FA tornou-se acessível a pequenas entidades que o possuem e o consigam operar. Isto representa duas grandes vantagens para o ensino do FA.

Em primeiro lugar, os laboratórios com outras atividades que não a investigação em FA, podem aproveitar a capacidade de fabrico das suas impressoras de secretária e imprimir peças para as suas atividades de investigação. Em segundo lugar, as demonstrações em tempo real de como as peças impressas em 3D são produzidas, são a forma mais eficaz de introduzir o FA como uma nova tecnologia. Esta introdução, fora da sala de aula, visa incentivar os estudantes a envolverem-se ativamente e a empenharem-se nos esforços de aprendizagem das tecnologias de FA. As atividades laboratoriais de AM têm normalmente como objetivo, através da demonstração, educar em:

- Fabrico de peças em FA;
- Operar de máquinas de FA;
- Processos de pós-processamento de FA.

3.1.6 Qualificações e diplomas em FA

Uma Qualificação em FA é atualmente a validação oficial de competências bastante popular na indústria europeia. As instituições que oferecem Qualificações em FA são centros de formação de FA (autorizados ou não autorizados - por exemplo, EWF) que oferecem formação relevante em FA ou centros de avaliação que validam os conhecimentos e competências em FA.

No mundo académico, a formação em FA não tem uma certificação distinta. Surge como uma especialização ou um curso secundário no âmbito das principais disciplinas e diplomas de engenharia. O estudante de engenharia pode selecionar alguns cursos de FA disponíveis na sua faculdade, para enriquecer os seus conhecimentos sobre os processos de FA ou continuar os seus estudos de pós-graduação em FA. Outras certificações em FA que são oferecidas pelas universidades são os mestrados profissionais em engenharia ou os certificados de crédito de pós-graduação. Este tipo de formação e certificação em FA é breve (um ano) e tem normalmente um carácter digital, como os cursos online.

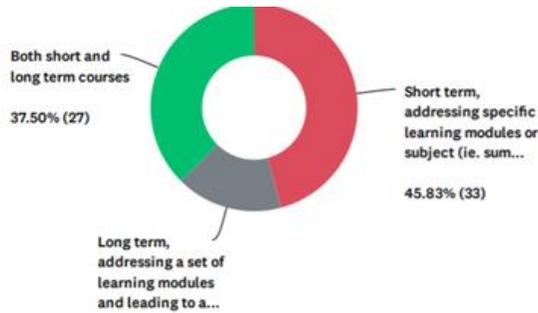


Figura 3: Duração dos cursos de FA

O conteúdo de todas as qualificações em FA tende a ser altamente especializado e direcionado para eixos temáticos que vão desde o design em FA de metais até às operações de máquinas de FA e manuseamento de pós FA.

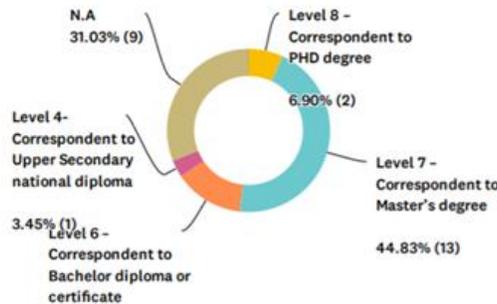


Figura 4: Nível do QEQ

3.1.7 Formação na empresa/formação no local de trabalho e estágio na empresa

A formação na empresa ou formação no local de trabalho refere-se a uma abordagem prática ou a um curso de formação, prestado pela empresa a um trabalhador-alvo, para que este adquira as competências e aptidões necessárias a determinado emprego¹². Por outro lado, o estágio numa empresa é definido como uma experiência de trabalho de curta duração oferecida pelas empresas aos estudantes, para que estes desenvolvam competências técnicas e pessoais e adquiram experiência de iniciação em determinado sector ou domínio,¹³.

¹² <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

¹³ <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

Muitas empresas nesta área oferecem cursos de curta duração sobre temáticas de FA. Uma vez que os cursos de curta duração se destinam normalmente a um público mais vasto, os tópicos incluem frequentemente:

- Viabilidade dos projetos de peças
- Implementar FA
- Processos de FA
- Materiais de FA
- Cálculo do custo das peças de FA
- Qualidade da peça (propriedades e resistência).

Os cursos de curta duração são frequentemente lecionados pelos fornecedores dos serviços ou da tecnologia. Além disso, os engenheiros recebem formação especial para validação de processos, manutenção, resolução de problemas, software, estimativa de custos, saúde e segurança, bem como planeamento e execução de digitalização e impressão 3D. Um exemplo destes cursos provida pela TUV Sud pode ser visto [aqui](#).

A Federação Europeia de Soldadura desenvolveu também um [curso de formação](#), no qual são ensinados diferentes conteúdos em função dos diferentes perfis profissionais. Estes perfis são classificados da seguinte forma:

- Operador de Deposição de Energia Direta - DED (fio e arco)
- Operador DED (laser)
- Operador de Fusão de Camadas de Pó
- Engenheiro de DED (fio e arco)
- Engenheiro de DED (laser)
- Engenheiro LPBF (Laser Powder Bed Fusion)
- Designer
- Inspetor

Outro dos cursos de formação existentes em FA é o [PM Life](#) que foi desenvolvido pela Associação Europeia de Metalurgia do Pó. O programa tem como objetivo desenvolver o futuro da Metalurgia do Pó (EPMA). As pessoas podem escolher e seleccionar diferentes módulos ou podem frequentar um programa completo. Os cursos têm a duração de uma semana e realizam-se em diferentes locais da Europa. No final, é proposto um estágio numa fábrica ou numa universidade (três semanas). Por fim, é atribuído um certificado. Os temas abordados são os seguintes.

- Pressão e sinterização
- Fabrico Aditivo
- Pó e materiais duros

No que diz respeito aos cursos para profissionais, é efetuada formação interna e externa. A maioria dos exemplos acima mencionados (como o Mestrado em FA (Milão); Università di Udine; Mestrado in FA (Rina Consulting) e formação em Engenharia de Fabrico aditivo (MTC)) estão envolvidos na formação externa dos profissionais em universidades ou organizações de formação (como a EWF). Por outro lado, algumas organizações externas oferecem cursos internos à indústria (como o Progetto Formativo AM Advanced (Confindustria Firenze Formazione para Baker Hughes, uma empresa GE). No âmbito do Master Bosch Industry 4.0, organizado pelo Cefriel, Politecnico di Milano

para a Bosch Itália, alguns módulos de formação sobre FA foram realizados na empresa, enquanto outros módulos foram realizados na universidade. Em particular, a realização parcial do curso externamente facilita a inclusão de visitas a laboratórios, sessões práticas e experiência direta com a investigação realizada pelo Instituto. A formação interna, por outro lado, tem o potencial de personalizar o conteúdo da formação de acordo com as necessidades da própria empresa. A formação interna pode ser ministrada pelos fornecedores de máquinas que oferecem formação específica no local.

3.1.8 Aprendizagem Mista

A definição de aprendizagem mista, que é a combinação de diferentes técnicas de aprendizagem, tem sido investigada ao longo dos anos, verificando-se que, em geral, todos os contextos de aprendizagem acima mencionados podem ser (de uma forma ou de outra) considerados como técnicas de aprendizagem mista. A aprendizagem mista é a interação entre o ensino presencial e o ensino virtual. Assim, o ensino virtual (3.1.4) pode ser combinado com atividades práticas (3.1.5.). O professor tem a liberdade de escolher o método, a combinação e o rácio entre os métodos de aprendizagem que melhor se adequam às necessidades do grupo de alunos. Além disso, a aprendizagem mista permite uma rápida adaptação às tendências em termos de estilos de aprendizagem e uma rápida integração de novas ferramentas de aprendizagem virtual. Isto é considerado uma vantagem, especialmente numa época de rápida progressão da digitalização em que o professor precisa de se manter a par dos desenvolvimentos.

Existem vários métodos de ensino que podem ser utilizados no ensino misto:

- Presencial (estudante-professor tradicional)
- Rotação (os alunos passam de uma estação/atividade para a seguinte)
- Flexível (os alunos controlam o seu percurso de aprendizagem - o professor atua como mentor)
- Gamificação (incluindo elementos de jogo: por exemplo, os alunos competem e saltam de nível para nível)
- Laboratório online (aprendizagem inteiramente online para aprofundar os conhecimentos)
- Auto-construção (envolver os alunos interessados em livros brancos, blogues, tutoriais em vídeo, etc.)
- Aprendizagem online (aprendizagem autónoma enquanto o professor, formador ou professor atua, por exemplo, através de videoconferência).

3.1.9 Visão geral dos contextos de aprendizagem apresentados

Como foi demonstrado nas subsecções 3.1.1 a 3.1.9, existem atualmente diferentes contextos de aprendizagem para a formação em FA. O tipo de contexto de aprendizagem depende dos pormenores específicos do curso. A Tabela 2 apresenta uma síntese da aplicação de diferentes contextos de aprendizagem na formação em Fabrico Aditivo.

Tabela 2: Síntese das recomendações para a aplicação de contextos de aprendizagem na formação em FA.

Contextos de aprendizagem	Vantagens	Desvantagens	Recomendações para aplicação na formação	Avaliação
Aprendizagem virtual /aprendizagem à distância	Facilmente acessível	Tudo virtual - sem contacto direto Poderá ser necessário equipamento	Para o futuro, combinada com uma abordagem na empresa ou num estabelecimento de ensino.	Testes online; escolha múltipla; ensaio. Exercícios de feedback

		adicional (por exemplo, Oculus Rift para RV)		
Aprendizagem em sala de aula/ Aprendizagem presencial (Conferências/Seminários/Workshop)	Método estabelecido	Aprendizagem baseada em factos, a eficácia da aula perde-se ao fim de 15-30 minutos.	Deve ser combinada com uma experiência de ensino prática. Devem ser incluídas atividades de desencadeamento (sondagens, brainstorming, resumos, etc.)	Escolha múltipla; ensaio; problemas.
Laboratório (atividades práticas)	Aprendizagem prática; deve ser combinada com a sala de aula	Equipamento no laboratório	Necessita de ser combinada com uma atividade de conferência, etc.	Realização de estudos laboratoriais; baseados em problemas; trabalhos de grupo; práticos.
Estágios em empresas para estudantes ou formação na empresa/formação no local de trabalho para trabalhadores	Aprendizagem prática, formação num ambiente de investigação ou industrial	Frequentemente centrados num único sector ou processo, o que limita uma abordagem global da AM.	Deve ser realizada com uma atividade online ou na sala de aula para dar uma visão completa dos tópicos.	Prático;
Aprendizagem combinada (combinação de aprendizagem presencial e online/distância)	Pode chegar a todos; permite uma adaptação rápida a novas ferramentas e tendências de aprendizagem; baixo custo; adaptação às necessidades dos alunos.	As características dos formandos devem ser analisadas previamente para responder às suas necessidades. Os resultados da aprendizagem devem ser definidos previamente.	É uma boa oportunidade para lidar com conteúdos teóricos e abordagens práticas (tutoriais /máquinas).	Testes online; estudos de laboratório; trabalho de grupo; escolha múltipla; dependendo da forma como a aprendizagem mista é integrada. (Sala de aula invertida)

3.2 Paradigma das ferramentas de formação em fabrico aditivo

3.2.1 Paradigma da Fábrica de Aprendizagem

As *learning factories* (Fabricas de Aprendizagem) permitem a educação e a formação a partir das necessidades individuais tanto do meio académico como da indústria. Este método estabelece a comunicação direta entre os

engenheiros e as partes interessadas da indústria para tarefas colaborativas (6). Estas duas partes abordam um problema comum, mas têm objetivos finais distintos, conforme apresentado no Quadro 3.

Tabela 3: Objetivos da Fábrica de Aprendizagem

Objetivos da Academia	Objetivos dos parceiros industriais
Conhecimentos técnicos especializados	Novas soluções
Praticar o conhecimento	Apoio à decisão
Problemas reais	Abordagens inovadoras
Prova de conceito	Externalização de recursos

Os diferentes objetivos podem ser alcançados através de uma relação simbiótica entre o meio académico e a indústria, em que Fábrica de Aprendizagem atua como canal de comunicação e catalisador. Tal como explicado por G. Chryssolouris et al¹³, a Fábrica de Aprendizagem segue um canal de transferência bidirecional de conhecimentos, em que os tópicos de fabrico são a base para novos modelos de sinergia entre o meio académico e a indústria. As novas ideias e soluções são trocadas entre o meio académico e a indústria para equilibrar o tempo e o custo necessários para aprender e testar soluções para problemas de fabrico e aprofundar o conhecimento da indústria e do meio académico através da inovação na produção ou da resolução de problemas 'quase reais' (Figura 5esquerda). Existem dois esquemas operacionais: "da fábrica para a sala de aula" e "do meio académico para a indústria". O conceito "da fábrica para a sala de aula" visa transferir o ambiente real de fabrico para a sala de aula, enquanto o conceito "do meio académico para a indústria" visa transferir os conhecimentos do meio académico para a indústria (Figura 5direita).

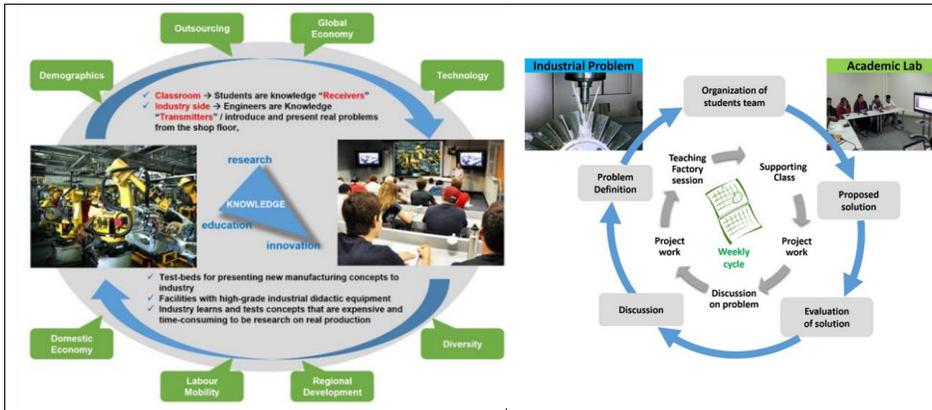


Figura 5(Esquerda) O conceito de Fábrica de Aprendizagem; (Direita) Ciclo da Fábrica de Aprendizagem para a transferência de conhecimentos¹⁴

Uma vez que as ferramentas da Fábrica de Aprendizagem são maioritariamente digitais, as barreiras da distância são eliminadas. Este modelo pode ser aplicado a nível global, sem uma separação rígida entre a universidade e as fábricas industriais.

Para tal, a abordagem da Fábrica de Aprendizagem atua como um canal bidirecional: pode ser implementada da fábrica para a sala de aula e do laboratório para a produção. As três principais aplicações da *Teaching Factory* são:

1. Aprendizagem académica
2. Aprendizagem profissional
3. Aprendizagem social

A Fábrica de Aprendizagem do Fabrico Aditivo deve ser utilizada como uma ferramenta de formação com o objetivo de trocar conhecimentos especializados da indústria para o meio académico e vice-versa (7). Mais especificamente, os objetivos são:

- a. Fornecer conhecimentos técnicos e formação especializada a estudantes de engenharia para melhor educar e reforçar as competências dos futuros profissionais do FA.
- b. Melhorar a preparação tecnológica das novas tecnologias relacionadas com o FA e acelerar a adoção da produção em Fabrico Aditivo nos sectores industriais.

O processo de implementação da Fábrica de Aprendizagem do Fabrico Aditivo requer duas partes. A primeira advém do setor industrial. Esta parte do modelo consiste na resolução de problema de produção da vida real ou a conceção de um novo desenvolvimento. A parte industrial também fica responsável pelos equipamentos em Fabrico Aditivo e a pela produção efetiva dos componentes em fabrico aditivo.

¹⁴ G. Chryssolouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Páginas 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

A segunda parte é constituída por membros da comunidade académica. Este lado do grupo oferece soluções analíticas para os problemas a resolver ou a investigação para os desenvolvimentos necessários.

Com a conclusão da Fábrica de Aprendizagem de Fabrico Aditivo, ambas as partes são beneficiárias, já que o setor industrial terá avançado com a sua produção e o meio académico terá adquirido conhecimentos e experiência.

3.2.2 Jogos sérios

Jogos sérios, ou seja, jogos (digitais) utilizados para outros fins que não apenas o entretenimento. O ponto de partida é o próprio conceito de jogos sérios e o seu verdadeiro significado. Além disso, os jogos sérios permitem que os alunos experienciem situações impossíveis no mundo real - por razões de segurança, custo, tempo, etc., - potenciando o desenvolvimento de uma série de competências diferentes. De seguida, são discutidos alguns possíveis impactos positivos (e negativos) dos *serious games*. São ainda considerados alguns dos mercados em que estes jogos são utilizados, incluindo jogos militares, jogos governamentais, jogos educativos, jogos empresariais e jogos de cuidados de saúde (ver *Serious Games: Uma visão geral* (diva-portal.org)). Os *serious games* utilizam os mecanismos dos jogos para aplicações não relacionadas com jogos. Ou seja, os jogos serão utilizados para formação, publicidade, simulação e educação. O poder dos jogos para cativar o utilizador é utilizado para adquirir novos conhecimentos e competências. Um número crescente de escolas está a oferecer cursos para o desenvolvimento de jogos, como a licenciatura e o mestrado em Belas Artes e/ou a licenciatura e o mestrado em Ciências, dependendo dos tópicos escolhidos. Susi et al. (8) descreve os jogos sérios como uma forma divertida de aprender sobre questões sérias na indústria. Por exemplo, as instruções áudio e visuais podem ser facilmente aplicadas para guiar um utilizador na montagem de um novo produto ou na manutenção ou mesmo na reparação de emergência. Por exemplo, muitas aplicações já em utilização para ambiente médico envolvem simulações de rotinas pré-procedimentos, simulações para gestão fobias e resolução de problemas matemáticos. Está provado que o entretenimento é uma forma eficaz de partilhar e transferir conhecimentos.

Em termos de ensino em Fabrico Aditivo, poderia ser desenvolvido um modo multijogador para permitir que diferentes grupos de aprendizagem assumam diferentes papéis no processo de FA, através por exemplo, de plataformas interativas. Outro exemplo da aplicação dos jogos sérios é a utilização de uma aplicação criada a partir de dados CAD, reformatando-os e reduzindo-os (9). A visualização em tempo real pode ajudar, por exemplo, um engenheiro de processos a compreender melhor as máquinas e o ambiente do Fabrico Aditivo.

Como exemplo recente de um jogo "sério" aplicado ao Fabrico Aditivo pode nomear-se um videojogo dedicado à descoberta do fabrico aditivo de metais. Chama-se "AddUp Adventure" e foi lançado em 2019 pela AddUp. O jogo funciona como o "SIMS" e está situado num ambiente 3D e explora diálogos com não-jogadores, narração ambiental, fases de exploração não-lineares, recolha de objetos, minijogos e aprendizagem baseada em factos. Parte-se do princípio de que o AddUp Adventure contribui para o envolvimento do aluno e ajuda a formar pessoas com um perfil não técnico. Além disso, existem alguns questionários relacionados com o FA ([em https://mcqpoint.com/mcq/additive-manufacturing/](https://mcqpoint.com/mcq/additive-manufacturing/), <https://aaq.auburn.edu/node/1549>, por exemplo).

3.2.3 Realidade aumentada

A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que permite a sobreposição de elementos virtuais à nossa visão da realidade. Isto é conseguido através da utilização de elementos visuais digitais, som ou outros estímulos sensoriais¹⁵. Esta tecnologia permite que os professores mostrem exemplos virtuais de conceitos e acrescentem elementos de

¹⁵ <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

jogos para apoiar o material dos manuais escolares. Deste modo, os alunos podem aprender mais rapidamente e memorizar a informação.

Os programas que combinam realidade aumentada/realidade virtual (AR/VR) e o fabrico aditivo encontram-se apenas nos Estados Unidos da América. A Universidade do Arizona oferece um programa de certificação, on-line ou em sala de aula, que resulta num *minor* em FA (<https://ami.arizona.edu/courses>). Os tópicos incluem:

- Simulação de processos em fabrico aditivo
- Modelação física utilizando o jogo Unity3D
- Avaliação dos estudantes no tempo, na precisão e fatores humanos
- Perceção cognitiva apoiada por uma experiência imersiva utilizando equipamento de RV/RA
- Visualização e feedback háptico
- 'Digital Twins' e aprendizagem automática para modelização e controlo de processos
- Segurança ciber-física e infra-estruturas

A [3D Bear](#) desenvolveu um recurso de aprendizagem para a realidade aumentada e impressão 3D. Esta empresa trabalha com recursos de aprendizagem à distância que combinam tecnologias imersivas e conteúdos pedagógicos para obter melhores resultados de aprendizagem. Esta empresa trabalha com realidade aumentada ("AR"), realidade virtual ("VR"), fotografias de 360°, digitalização e impressão, desenvolvimento profissional, implementação e workshops.

O artigo "Interfaces de realidade aumentada para fabrico aditivo" (10) explora potenciais casos de utilização da realidade aumentada (RA) como uma ferramenta para operar máquinas industriais. Como base, utiliza-se um sistema de fabrico aditivo, mais conhecido como impressora 3D. Depois, implementam-se novas interfaces e controlos aumentados utilizando estruturas de código aberto facilmente disponíveis e de hardware de baixo custo. Os seus resultados mostram que a tecnologia permite um controlo da impressora e uma monitorização do desempenho mais profícuo e intuitivos do que os atualmente disponíveis no mercado. Por conseguinte, existe um grande potencial para este tipo de tecnologias nas futuras fábricas digitais.

Outras experiências relacionadas com a realidade virtual são mencionadas em "A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training" (2015). Este documento apresenta uma aplicação de software extensível que simula um processo de FA num ambiente de Realidade Virtual (RV). A aplicação analisa os movimentos dos componentes da máquina e os atributos do segmento impresso a partir de ficheiros de código G exportados do software MakerBot® Computer Aided Manufacturing (CAM). A posição, a velocidade e o tipo de movimento são utilizados para simular os movimentos físicos da máquina. Um "segmento" de impressão é criado nas posições de início e fim de um movimento de impressão. A codificação por cor dos atributos do segmento e a modificação do seu tamanho e forma estabelecem uma relação visual entre a terminologia de uma configuração de impressão e a sua representação em ambiente virtual. Esta relação visual entre os segmentos impressos e as definições de impressão facilita a aprendizagem do processo de impressão 3D e da terminologia associada. Os utilizadores principiantes e experientes podem modificar as definições de impressão no ambiente virtual antes e depois da impressão de um protótipo. A identificação e correção de um erro em ambiente virtual reduz o tempo e o custo de impressão de uma peça.

3.2.4 Aprendizagem baseada em projectos

Os métodos de ensino indutivos incluem a aprendizagem baseada em inquéritos, a aprendizagem baseada em problemas (ABP), a aprendizagem baseada em projetos (ABP), a aprendizagem baseada em casos e o ensino sob medida (just-in-time teaching).

Os problemas/projetos são concebidos para serem representativos de problemas autênticos, que demonstraram motivar os alunos, manter o seu interesse e envolvê-los ativamente na aprendizagem. Verificou-se que as abordagens de aprendizagem ABP melhoram o desenvolvimento do pensamento crítico e a resolução de problemas e aumentam a compreensão de conceitos críticos de engenharia.

O princípio central da abordagem ABP é que o cumprimento dos objetivos de aprendizagem pelos alunos é conseguido através da solução de problemas, e não através de uma apresentação dedutiva da informação. O problema, que é cuidadosamente concebido para ser autêntico e refletir a prática profissional, serve de motivação para a aprendizagem do conteúdo. Os alunos trabalham em pequenos grupos para resolver o problema, identificando primeiro o que já sabem, depois o que precisam de saber e como e onde aceder à informação que os ajudará a resolver o problema. Os problemas são utilizados como uma oportunidade para os alunos adquirirem os conhecimentos desejados e, simultaneamente, melhorarem as suas capacidades de resolução de problemas e a sua competência para a aprendizagem autónoma. O simples facto de apresentar aos alunos um problema não é considerado uma verdadeira ABP - o instrutor deve guiar o processo de aprendizagem e, ao mesmo tempo, conduzir os alunos através da reflexão e do *debriefing* no final da experiência. Um exemplo para um curso de FA poderia incluir:

- Explicar as capacidades, limitações e princípios básicos das tecnologias alternativas de FA.
- Avaliar e selecionar as tecnologias FA adequadas para aplicações específicas de conceção e fabrico.
- Explicar as causas fundamentais dos erros e irregularidades nas peças FA.
- Aplicar técnicas de FA a uma aplicação de conceção e fabrico que constitua um desafio.
- Identificar, explicar e dar prioridade a alguns dos desafios importantes da investigação em FA.

Um aspeto importante da formação no domínio do FA diz respeito às atividades práticas. Neste campo, os projetos de trabalho em equipa têm vários benefícios possíveis. Por um lado, permitem que os formandos experimentem diretamente os vários potenciais das tecnologias FA. Além disso, consolidam os resultados de aprendizagem esperados através de sessões práticas e do trabalho com dados e produtos reais. Além disso, fomentam as competências de trabalho em equipa em ambientes multiculturais e multidisciplinares, uma vez que os cursos de FA incluem normalmente formandos com diferentes formações.

O exemplo seguinte diz respeito a uma atividade laboratorial e de trabalho de equipa no âmbito do curso de Fabrico Aditivo Espacial e Aeroespacial realizado no Politécnico de Milão. Os alunos do curso foram convidados a redesenhar em FA um componente espacial, o suporte que liga as rodas de reação para o controlo de atitude do ION Cubesat Carrier, - uma nova versão de uma pequena nave espacial originalmente concebida pela [D-Orbit](#), uma start-up italiana para a entrega e posicionamento de satélites CubeSat. (Para esta versão da nave espacial, a D-Orbit está a trabalhar diretamente com a ESA, e a sua tecnologia será também utilizada para a iniciativa Clean Space da ESA sobre manutenção em órbita e remoção ativa de detritos).

A todas as equipas foi pedido que diminuíssem o peso do seu suporte redesenhado, cumprissem os requisitos mecânicos da estrutura (avaliação estática e análise modal) e otimizassem a capacidade de fabrico. A equipa

vencedora, composta por quatro estudantes, ganhou o concurso com um projeto que lhes permitiu obter a maior redução de peso da peça (-65% em relação ao peso original do componente) cumprindo todos os requisitos mecânicos e de "imprimibilidade". No final do projeto, os participantes realizaram uma apresentação final de todos os projetos.

Como outro exemplo, no âmbito do curso de Mestrado em Fabrico Aditivo realizado no Politécnico de Milão, os estudantes realizam um projeto de trabalho de equipa em que lhes é pedido que concebam para FA e imprimam, através de Modelagem por Deposição Fundida, peças que cumpram determinados requisitos funcionais e maximizem determinada função. Dois exemplos dos projetos realizados incluíram a produção de carros-brinquedo e a construção de pontes - os projetos foram depois testados durante uma competição (os carros tinham de percorrer a maior distância e as pontes tinham de suportar o maior peso).

Estas atividades de projeto permitem aos estudantes aprender novas ferramentas de Software para otimização topológica, preparação de construção, processos, simulação, e ainda utilizar impressoras 3D, aplicar a maior parte dos conceitos aprendidos na prática e experimentar as potencialidades e limitações dos métodos AM. O concurso tem a vantagem de reforçar o empenhamento dos estudantes e de fomentar o seu interesse por temas de formação.

O software GRANTA EduPack é um recurso adequado para estudantes que realizam projetos e aprendizagem baseada em problemas, uma vez que oferece tanto um recurso de informação abrangente como ferramentas de software, tais como seleção de materiais, Eco Audit e outras ferramentas de modelação para resolver problemas relacionados com materiais. Estes projetos podem ser qualquer coisa, desde exercícios curtos num curso introdutório (acessíveis nos recursos de aprendizagem do GRANTA EduPack) até projetos de design extensos ou mesmo projetos de investigação de nível de mestrado (mobilizando os dados disponíveis na base de dados EduPack Nível 3).

3.2.5 Estudos de casos

Um estudo de caso é uma atividade, de um acontecimento ou de um problema que contém uma situação real ou hipotética e inclui as complexidades com que nos deparamos no local de trabalho. Os estudos de caso são utilizados para ajudar os alunos a ter uma perspetivas das complexidades da vida real e da sua influência nas decisões. A análise de um estudo de caso exige que os alunos pratiquem a aplicação dos seus conhecimentos e das suas capacidades de raciocínio a uma situação real¹⁶. Na análise de um estudo de caso, os alunos estarão a "analisar, aplicar conhecimentos, raciocinar e tirar conclusões" (Kardos & Smith 1979).

A inclusão de estudos de caso na formação tem sido de grande importância tanto para os cursos de nível universitário como para os cursos para profissionais. Por exemplo, no âmbito do curso de Fabrico Aditivo Espacial e a Aeroespacial realizado no Politécnico de Milão, são apresentados estudos de casos reais (principalmente do domínio espacial e aeroespacial) para que o aluno tenha conhecimento das tecnologias disponíveis, das suas vantagens e desvantagens, e dos principais desafios em aberto. O objetivo do curso é fornecer ao aluno uma abordagem atual de implementação industrial da AM em produtos de alta qualidade. São apresentados processos de conceção/fabrico de ponta a ponta de naves espaciais, satélites, foguetões ou peças de aeronaves. Inicia-se com a otimização do design/topologia (design biónico), a seleção da tecnologia FA ideal, a otimização dos parâmetros do processo, a caracterização mecânica (estática, fadiga, microestrutura, NDI, tomografia computadorizada, correntes parasitas, etc.) e, por fim, a produção de uma placa de ensaio para ser testada à escala real e depois colocada em órbita. Além disso, o curso oferece estudos de casos e exemplos de investigações de falhas em componentes reais.

¹⁶ <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

3.2.6 Palestras de especialistas em FA

Os aspetos multidisciplinares envolvidos no FA impõem normalmente a participação de especialistas em diferentes domínios que dão palestras sobre tópicos específicos. Esta abordagem tem sido seguida tanto nos cursos de mestrado como nos cursos para profissionais. A título de exemplo, o curso de Mestrado em Fabrico Aditivo do Politécnico de Milão tem previstas palestras de especialistas em diferentes domínios (processos de fabrico, engenharia da qualidade e análise de dados, metrologia e medições, etc.), e seminários com peritos convidados da indústria ou de outros grupos de investigação. Os seminários são muito valorizados pelos estudantes, pois permitem que entrem em contacto com os especialistas, e com as experiências reais de aplicação, desafios e oportunidades do Fabrico Aditivo. Os seminários de peritos são também eficazes para mostrar o estado da arte da adoção das tecnologias FA na indústria atual e o seu impacto nos aspetos sociais e de crescimento económico.

O curso de Fabrico Aditivo Espacial e Aeroespacial do Politécnico de Milão, representa um exemplo diferente, uma vez que o curso é inteiramente leccionado por Tommaso Ghidini, Diretor da Divisão de Estruturas, Mecanismos e Materiais da Agência Espacial Europeia (ESA). Neste caso, os estudantes de mestrado têm a oportunidade de entrar em contacto com um dos maiores especialistas da UE neste domínio, que transmite aos formandos a sua abordagem aplicada e prática dos temas e questões relacionados com o FA. A título de exemplo, após a conclusão bem-sucedida deste curso, o estudante deverá ser capaz de

- Identificar tendências, tecnologias e metodologias fundamentais relacionadas com o fabrico digital e aditivo para produtos de elevado valor acrescentado (Aplicação de conhecimentos).
- Desenvolver novas ideias e soluções em atividades industriais emergentes. De facto, o fabrico aditivo é um dos campos de jogos mais ativos para novas soluções, ideias inovadoras e empresas em fase inicial (Aplicar conhecimentos e fazer juízos de valor).
- Interagir de forma profissional, responsável, eficaz e construtiva num ambiente de trabalho. O trabalho de projeto permitirá a todos os estudantes interagir num ambiente multidisciplinar. De facto, a equipa do projeto irá incluir estudantes de engenharia de gestão, mecânica, conceção, automação e física (capacidades de trabalho em equipa e de comunicação).

Adicionalmente, no âmbito dos cursos sobre FA para profissionais (pelo menos para engenheiros e gestores), as palestras são normalmente realizadas por diferentes especialistas nas suas áreas específicas, desde a ciência dos materiais até aos processos baseados em feixes de laser e eletrões, design para FA, controlo de qualidade e testes de materiais, metrologia, simulação, análise de dados, custo do ciclo de vida, etc. Como exemplo, podemos mencionar o projeto LILIAM - [Lifelong Learning in Additive Manufacturing](#) -, uma equipa de oito parceiros internacionais de diferentes países da UE foi reunida para desenvolver um programa de formação ao longo da vida para profissionais (engenheiros de produto e de processo e gestores) combinando vários conhecimentos diferentes para fornecer um percurso de aprendizagem abrangente e multidisciplinar. O LILIAM tem como objetivo incluir palestras sobre os seguintes tópicos: 1) Materiais para fabrico aditivo, 2) Processos de fabrico aditivo, 3) Conceção e otimização de produtos, 4) Modelação e simulação, 5) Monitorização e controlo de processos, 6) Pós-processamento / processos híbridos, 7) Controlo, qualificação e certificação, normas e DPI, 8) Avaliação do ciclo de vida, cálculo dos custos do ciclo de vida, 9) Fim de vida e reciclagem de materiais.

3.2.7 Software de simulação

O software de simulação permite conceber o fabrico aditivo de uma forma mais previsível para reduzir a abordagem de tentativa e erro, poupar custos e tempo e permitir produtos mais inovadores. Existem vários produtos de software para melhorar a conceção e o processamento no FA. Figura 6 mostra os produtos de software mais

populares utilizados na AM. Estes produtos de software podem ser aplicados para simular o processo de impressão, prever distorções e compensá-las ou melhorar a estratégia de previsão da exatidão da peça¹⁷.

Additive Works	Amphyon	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Adobe	Photoshop CC	3D design tools and color management
Altair Engineering	Inspire	Topology optimization
Altair Engineering	SIMSOLID	Meshless topology optimization
Altair Engineering	Inspire Print3D	Simulation-based process preparation software for metal powder bed fusion
Autodesk	Project Shapeshifter	Browser-based tool for generating geometric shapes and exporting them for 3D printing
Autodesk	Within Medical	Lattice structures for orthopedic industry, porous coatings for implants
Dassault Systèmes	Tosca Structure	Topology optimization for FEA packages including Abaqus, ANSYS, and MSC Nastran
Desktop Metal	Live Parts	Generative design and topology optimization software
DTU	TopOpt	Topology optimization
e-Xstream	Digimat	Material simulation tool
GeonX	Virfac	Material and process simulation
GravitySketch	GravitySketch	VR-based modeling
MSC	Simufact	Metal AM build simulation
ParaMatters Inc.	CogniCAD 2.0	Topology optimization
PTC	GENERATE	Topology optimization
Siemens	NX	High-end CAD that integrates topology optimization, lattice structures, and support generation

Figura 6 (esquerda) Empresa, (centro) Nome (direita) Descrição dos produtos de software mais utilizados (Relatório Wohlers 2021).

3.2.8 Vídeos e animações educativas

Os vídeos e as animações educativas são ferramentas utilizadas como auxílio visual para facilitar a aprendizagem. São utilizados pelos educadores para tornar os conteúdos mais apelativos, fáceis de compreender e emocionalmente acessíveis a todos os alunos. Estes recursos permitem explicar ideias complexas de uma forma simples. Mantêm os alunos concentrados no conteúdo e criam uma experiência distinta para melhor assimilação^{18,19}.

Existem vários exemplos de vídeos e animações educativos na Internet que explicam os processos de fabrico de aditivos num nível diferente de complexidade, tais como vídeos introdutórios (<https://www.youtube.com/watch?v=EHvO-MlzAIM>) da GE Additive, (<https://www.youtube.com/watch?v=qoBU0r7pT84>) da Bracken Media, (<https://www.youtube.com/watch?v=t4S0mKjXtT4>) da Additive Manufacturing Media) ou vídeos e animações mais específicos relacionados com um determinado processo, como a Fusão de Camadas de Pó a laser (<https://www.youtube.com/watch?v=VqjtuFxGjo4>) da SLM Solutions NA, Inc) ou o processo de fusão multijacto (<https://www.youtube.com/watch?v=sUjyKOilhwg>) da Protolabs).

3.3 Síntese das ferramentas de aprendizagem

Como abordado na subsecção 3.2.1. até 3.2.6., diferentes ferramentas de aprendizagem podem ser aplicadas para a formação em FA. A ferramenta de aprendizagem depende das características específicas do curso. Na tabela 4, é apresentado uma síntese vantagens e desvantagens das ferramentas, assim como das potenciais avaliações a utilizar.

¹⁷ <https://fluidcodes.com/software/additive-manufacturing-simulation/>

¹⁸ <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>

¹⁹ <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>

Tabela 4 -Recomendações sobre a aplicação de ferramentas de aprendizagem na formação em AM

Tipo de ferramenta de formação	Vantagens	Restrições	Recomendações para aplicação na formação	Avaliação
Fábrica de Aprendizagem	Experiências de aprendizagem prática. Aproxima a indústria do mundo académico.	Dependende de infraestruturas.	Deve ser utilizado em conjunto com atividades de aprendizagem "tradicionais".	Atividade baseada em problemas; trabalho de grupo.
Jogos sérios	Resolução de problemas, Diversão, Em linha com a digitalização	Sem experiência prática.	Complementar com outras atividades de ensino, como a sala de aula e o laboratório.	Prático, entrevista
Realidade aumentada	Aprendizagem de processos online.	Atualmente apenas disponível para alguns processos e variáveis. Sem experiência prática. Exclusivamente virtual.	Deve ser utilizado em conjunto com outras atividades de aprendizagem "tradicionais" ou com a fábrica de ensino.	Prático, entrevista
Projeto (Aprendizagem baseada em projectos (ABP))	Pode ser efetuado juntamente com a formação. Os alunos têm a oportunidade de ver toda a cadeia do processo. Igualmente valioso para todas as pessoas. Dimensão dos projetos facilmente ajustável.	Terá de ser desenvolvido para todo o curso.	Recomendável, uma vez que as pessoas podem aprender através da prática e da aplicação de processos de impressão 3D.	Individual; entrevista
Estudo de caso	Permite aplicar os conhecimentos obtidos.	Dependendo do estudo de caso - pode faltar a experiência prática.		Ensaio: baseado em problemas.
Palestras	Fácil de obter uma visão geral dos conhecimentos de todos os alunos. Presencial. De fácil acesso.	Sem experiência prática. Destina-se sobretudo a estudantes ou alunos.	A documentação dos materiais de trabalho está disponível.	Escolha múltipla, ensaio, entrevista.
Software de simulação	Utilizado em simulações AM, os alunos obtêm experiência prática na execução de exercícios de simulação e recebem orientação dos formadores	Os alunos têm de atingir o mesmo nível para poderem praticar simulações e ter acesso a ferramentas		Perguntas e respostas, exercícios práticos

Atividades práticas	Experiências de aprendizagem prática. Necessita de ser combinada com a sala de aula	Necessita de equipamento, software ou materiais	Necessita de ser combinada com uma atividade de conferência, etc.	Baseada em problemas; trabalho de grupo; prática.
Trabalho de grupo	Através da aprendizagem cooperativa, os alunos desenvolvem competências como a resolução de problemas, a negociação, a resolução de conflitos, a liderança, o pensamento crítico e a gestão do tempo.	Demora muito tempo	Adequado para expor os alunos a diversas ideias e abordagens	Avaliação baseada em problemas, prática ou teórica
Vídeos e animações educativas	Excelente para explicar conteúdos complexos. A aprendizagem emocional capta a atenção dos alunos e aumenta a retenção de conhecimentos.	As animações personalizadas são dispendiosas	Complementar a outras atividades de ensino como a sala de aula e o laboratório.	Prático, entrevista.

3.4 Atividades de projetos de europeus de AM de suporte ao ensino e aprendizagem de AM

Vários projetos europeus foram aproveitados para ajudar no desenvolvimento de competências para o setor da manufatura aditiva (AM), tanto no contexto de base como de orientação. Esta secção abrange uma lista de projetos que representam um grande esforço e abrange vários projetos, mas não é exaustiva no âmbito. Uma lista adicional pode ser financiada no Observatório AM, desde 2019 (https://skills4am.eu/amobservatory_projects.html).

Admire (Alliance for aDditive Manufacturing between Industry and univeRsitiEs): A Admire foi uma aliança estabelecida entre empresas de AM, universidades e estudantes que respondeu a uma necessidade da indústria: *a qualificação da mão de obra de AM*. Foi desenvolvido um mestrado europeu em AM de metais que está de acordo com o nível 7 do Quadro Europeu de Qualificações.

<https://admireproject.eu/summary.html>

3D Prism: A 3D Prism desenvolveu um "Massive Open Online Course (MOOC)" que está disponível para utilização pública. O curso abrange aspetos básicos e diferentes tecnologias AM, materiais, parâmetros de processo, ferramentas CAD/CAM e tópicos de manutenção. O curso está disponível para todos online e os conhecimentos serão avaliados através de questionários.

<https://versal.com/c/jppgww/3dprism-mooc>

Metais - MachinE Tool Alliance for Skills. The metal project incidiu sobre a preparação das competências necessárias para um operador de AM no nível 5 do QEQ. Foi desenvolvido um curso online que fornece um currículo para 3 sectores diferentes. Em primeiro lugar, unidades de AM - abrangendo todos os aspetos do processamento de AM, desde o design até ao pós-processamento. Em segundo lugar, unidades orientadas para o processo de trabalho, nas quais serão fornecidas competências desde contratação até manutenção. Em terceiro lugar, unidades de

empreendedorismo em que são abordadas questões de marketing, liderança entre outros. A avaliação das competências é efetuado através de um teste online em que 80% das respostas têm de estar corretas.

3DP - Formação em impressão 3D para promover a inovação e a criatividade na UE

Esta iniciativa europeia forneceu diretrizes escritas sobre tópicos de cursos de curta duração, diretrizes para formadores, material didático e casos de estudo, a fim de melhorar as competências dos estudantes. Além disso, foi desenvolvida uma plataforma de e-learning sobre impressão 3D que está disponível em 6 línguas.

<https://3d-p.eu/>

CLLAIM - Criar conhecimentos e competências na AM - atualmente em curso

O CLLAIM tem como objetivo desenvolver um sistema de qualificação de AM através da criação de um organismo de qualificação, de diferentes qualificações para diferentes funções, de pacotes de trabalho inovadores, de modelos de Reconhecimento de Aprendizagem Prévia (Recognition of Prior Learning, RPL) e de um kit pedagógico para formadores centrado em metodologias de aprendizagem em contexto de trabalho.

<http://cllaimprojectam.eu/>

PAM2 - Fabrico Aditivo de Metal de Precisão - atualmente em curso

O PAM 2 tem como objetivo melhorar drasticamente a precisão dos processos de AM de metal, abordando os três princípios de robustez, previsibilidade e metrologia, e desenvolvendo métodos CAE que potenciem ao invés de limitar o design de AM. O projeto forneceu uma grande quantidade de documentos de investigação, uma vez que analisa 15 projetos de investigação interligados para investigadores em início de carreira. Além disso, foi desenvolvida uma série de vídeos no YouTube para guiar as pessoas interessadas através do processo de modelação da otimização da topologia no AM.

<https://pam2.eu/>

Projectos de fabrico do IET:

EIT-AddManu: O EIT-AddManu desenvolverá uma "AM Teaching Factory" em linha, na qual serão disponibilizadas módulos de aprendizagem do ensino de AM no ensino superior académico e industrial. A plataforma conterá ferramentas de design, seleção de sistemas AM adequados e seleção do material certo para um produto.

<https://eitmanufacturing.eu/additive-manufacturing-teaching-factory/>

LILIAM: lifelong learning in Additive Manufacturing - atualmente em curso. O LILIAM tem como objetivo desenvolver uma qualificação europeia de formação para diferentes perfis profissionais, incluindo especialistas, engenheiros e gestores no domínio do Fabrico Aditivo. Os módulos de formação, que combinarão abordagens pedagógicas tradicionais e inovadoras, são concebidos por uma rede internacional de parceiros de 8 países europeus, coordenada pelo Departamento de Engenharia Mecânica do Politécnico de Milão. <https://www.liliam-project.polimi.it/>

4 SAM Diretriz operacional sobre contexto e instrumentos de formação

4.1 Exemplos de contextos e ferramentas de aprendizagem dos parceiros SAM

Para demonstrar como os contextos e as ferramentas de aprendizagem são integrados na formação educacional, serão apresentados dois exemplos.

4.1.1 LORTEK

4.1.1.1 Introdução

Desde 2018, a Lortek e a Goierri Eskola oferecem um Mestrado em AM. A Lortek é um centro tecnológico privado e um membro da Aliança Basca de Investigação e Tecnologia (BRTA). O centro é especializado em tecnologias de união de materiais. Goierri Eskola é um centro de ensino pluralista e participativo que se destina a estudantes que tenham concluído o ensino obrigatório em Espanha. O mestrado destina-se a licenciados em engenharia mecânica e engenheiros técnicos. Também se destina a licenciados em física e engenharia química com licença. Além disso, os técnicos com uma experiência de trabalho de três anos ou mais serão admitidos após uma verificação cuidadosa dos conhecimentos (Reconhecimento de Aprendizagem Prévia (RPL)). O curso tem a duração de 1165 horas, está dividido em doze módulos e dura um semestre inteiro. Além disso, é oferecido um curso de curta duração, no qual não é necessário redigir uma tese. Sítio Web: <https://www.mondragon.edu/cursos/es/tematicas/ingenieria-mecanica-procesos-fabricacion/master-en-fabricacion-aditiva-industrial>.

4.1.1.2 Lecionar

O ensino realiza-se sob a forma de atividades de ensino e formação presenciais. Cada módulo será dividido em laboratórios e atividades de ensino para promover também as capacidades de aprendizagem prática. Nos diferentes módulos, serão ensinados diferentes aspetos da AM com um forte enfoque em AM metálica na prática. Todos os diferentes módulos podem ser vistos como unidades de competência que também podem ser ensinadas individualmente. A fase presencial tem a duração de 265 horas.

- M1 - Introdução à AM e aspetos económicos (PDF)
- M2 - Diferentes tecnologias em AM (PDF e demonstração)
- M3 - Considerações, elementos e ferramentas de design (Software)
- M4 - Desenvolvimento de produtos em AM de metais: tipos de materiais, processamento e otimização (PDF)
- M5 - Desenvolvimento de produtos em AM de polímeros: tipos de materiais, técnicas de processamento e otimização (PDF)
- M6 - Fabrico de produtos AM metálicos - defeitos e pós-processamento (PDF e prática)
- M7 - Fabrico de produtos AM de polímeros - defeitos e pós-processamento (PDF e prática)
- M8 - Outros materiais (PDF)
- M9 - Industrialização da cadeia de processos de AM (PDF)
- M10 - Atividades práticas (Práticas Goierri e Lortek)
- M11 - Tese de mestrado

Estão igualmente disponíveis cursos de curta duração ou unidades de competência que visam melhorar os conhecimentos numa determinada área da AM. Estão disponíveis os seguintes cursos de curta duração:

- AM para processos de fundição 12 horas
- AM de plásticos e compósitos para profissionais 12 horas
- AM de metais para profissionais 18 horas
- Design AM para profissionais 30 horas

4.1.1.3 Casos de estudo

Durante o semestre, os estudantes têm seis meses para desenvolver um produto para o qual serão dados requisitos básicos como o produto e a descrição das características (aprendizagem baseada em projetos). O resultado deste projeto é o redesenho de um produto que foi analisado ao longo de toda a cadeia de processos para a industrialização. Os alunos analisarão os aspetos económicos, bem como os aspetos de design e de produção e, além disso, escolherão a tecnologia e o material. O resultado é um relatório de 70/80 páginas no qual se explica a razão e as etapas do desenvolvimento do produto. Todos os anos, é escolhida uma nova peça. O estudo de caso tem uma duração de 400 horas.



Figura 7: Braços originais do drone a serem redesenhados



Figura 8: Drone redesenhado por alunos do curso AM Master

O curso completo inclui a redação de uma tese de mestrado para a qual foram previstas 500 horas e que terá a duração de três meses. O projeto de mestrado deve, idealmente, ser desenvolvido pelo estudante de mestrado em

conjunto com a empresa em que trabalha atualmente (o foco está numa RTO ou numa empresa industrial). Desta forma, garante-se a proximidade com um ambiente de trabalho real. A tese deve ser realizada a fim de desenvolver as peças para a abordagem de aprendizagem baseada em projetos e a tese de mestrado, os estudantes são incentivados a utilizar não só software de ponta, mas também software facilmente disponível, a fim de se familiarizarem com o software. Os recursos de software incluem os seguintes (2020):

- GRANTA EduPack material selection SW da GRANTA
- Plataforma 3DExperience
- Software específico para a modelação C(SOLIDWORKS, CATIA)
- Otimização da topologia (Altair INSPIRE)
- Simulação FEM (Dassault Systemes ABAQUS)
- Edição (Markforged EIGER, Materialise Magics)

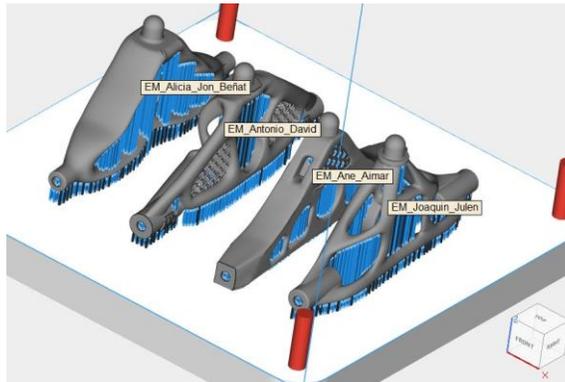


Figura 9: Diferentes modelos de eixos de skate

4.1.1.4 Jogos sérios

Como o curso se destina a estudantes do ensino superior, os jogos sérios não fazem parte do ambiente de ensino. No entanto, os alunos são encorajados a descarregar a aplicação AM-Motion para testar os seus conhecimentos em AM.

4.1.1.5 Fábrica de Ensino

A Lortek ou a Goierri Eskola não são consideradas fábricas de ensino. No entanto, a rede entre os parceiros industriais, a investigação (Lortek) e a Goierri (Universidade) e a concentração em projetos industriais podem ser consideradas uma fábrica de ensino.

4.1.1.6 Realidade aumentada

A Realidade Aumentada não é atualmente aplicada durante o curso de mestrado em AM. Está prevista a implementação de simuladores de soldadura, mas atualmente todas as práticas de soldadura são realizadas em tempo real.

4.1.2 LZH Laser Akademie GmbH

4.1.2.1 Curso de formação: Especialista em processos de fabrico aditivo - Metal

A LZH Laser Akademie GmbH é um dos principais centros de formação em tecnologia laser aplicada na Alemanha.

Juntamente com a SLV Hannover, a LZH Laser Akademie foi a primeira instituição na Alemanha a oferecer um novo curso certificado de formação avançada para "Especialista em fabrico aditivo - Metal" desde 2016. A duração do curso é de uma semana e termina com um exame.

A formação avançada para se tornar um *Especialista em Processos de Fabrico Aditivo - Metal* aborda um nível de proficiência de engenheiro e operador. Destina-se a trabalhadores qualificados, mestres artesãos e técnicos que são ou serão responsáveis pela operação de sistemas de fusão de cama de pó a laser e é também recomendada a engenheiros, designers e gestores de produção que pretendam obter um conhecimento básico e abrangente das possíveis aplicações na produção.

O curso transmite um conhecimento abrangente dos princípios e parâmetros do processo e das etapas individuais na produção de componentes ao longo da cadeia do processo.

Para mais informações, consultar o website alemão da LZH Laser Akademie: <https://www.lzh-laser-akademie.de/de/seminare/lasermaterialbearbeitung/fachkraft-fuer-additive-fertigungsverfahren-metall/>

Estrutura do curso:

Os cursos têm uma duração de 40 horas de contacto, incluindo a avaliação, e são realizados a tempo inteiro em cinco dias.

O curso realiza-se sob a forma de formação presencial em *sala de aula* e em *laboratório*. As aulas são explicadas por especialistas e estão divididas em unidades teóricas e práticas.

As metodologias utilizadas em *sala de aula* são uma combinação de *palestras* apoiadas por apresentações e *casos de estudo* para ensinar a base teórica e aprofundar o que foi aprendido. A *formação prática* ocupa cerca de metade da duração do curso (~17,6 horas) e é efectuada através de uma combinação de *demonstrações na fábrica* e *unidades práticas*, que se baseiam e aprofundam as unidades teóricas. Este procedimento permite que os participantes experimentem os conhecimentos teóricos adquiridos diretamente na prática, sob orientação.

A combinação de palestras, casos de estudo, formação prática e teórica é ideal para a transmissão de conhecimentos em: manuseamento de software para a preparação de peças e operações, preparação de máquinas, início e monitorização de operações de construção, remoção e pós-processamento de peças após a operação de construção, garantia de qualificação/inspeção de peças.

Conhecimentos e competências-alvo:

- Conhecimentos gerais sobre processos e materiais de AM (todos os materiais)
- Conhecimento pormenorizado dos processos de AM de metais
- Conhecimento pormenorizado dos processos FCP-FL e -DDE-FL(materiais, sistemas de máquinas, software, pós-processamento, realização de operações de construção com toda a cadeia de processos pelos participantes)
Aquando do seminário do operador, conhecimento profundo sobre tecnologias de AM baseadas em metais é adquirida. A formação para engenheiros e operadores avançados tem como objetivo fornecer conhecimentos

básicos sobre os processos de AM, conhecimento profundo sobre tecnologias de AM baseadas em metais e experiência na realização de processos de FCP-FL (o que é que se tem que fazer, quais são os erros que podem ocorrer e o que se tem que fazer para os corrigir), no nosso ponto de vista, os métodos são bem sucedidos no alcance dos objetivos dos seminários.

Avaliação

A avaliação é efetuada no 5º dia de formação. Através de exames escritos e orais, são confirmados os conhecimentos adquiridos em todos os contextos de aprendizagem. Com uma participação bem-sucedida, obtém-se o certificado de "Especialista em processos de fabrico aditivo - Metal".

Avaliação:

Para encerrar o seminário, a avaliação da formação é feita através de um questionário anónimo.

4.1.3 Investigação sobre a indústria transformadora irlandesa (IMR)

4.1.3.1 Realidade aumentada

O IMR desenvolveu, juntamente com outras 9 empresas, uma ferramenta de realidade aumentada denominada XR-adopt. Esta ferramenta pode ser utilizada para a formação de funcionários.



Foram feitos grandes avanços nos ecrãs digitais, no processamento de imagens, na deteção de movimentos, na visão artificial e no seguimento de objetos. Todos estes avanços técnicos combinados resultaram no desenvolvimento de múltiplas configurações, amplamente capazes e precisas, a uma fração do custo historicamente muito elevado.

A comunidade XR de criadores digitais e potenciais utilizadores também cresceu a um ritmo exponencial. O resultado é a criação de vários fornecedores de software e hardware, um mercado muito maior, novos investimentos e redes de desenvolvimento de software bastante simplificadas.

Commented [JC1]: Training staff?

Uma empresa enfrenta vários desafios para adotar a tecnologia XR. Num mercado em rápida mudança, com fornecedores a entrar e a sair do mercado, iterações constantes de hardware e software e vendedores não comprovados a nível empresarial ou corporativo, as empresas não têm os recursos necessários para avaliar muitas destas opções nem ganhar experiência para tomar decisões informadas.

Apesar disso, a tecnologia XR provou oferecer um enorme valor numa vasta gama de aplicações. A XR-Adopt é uma colaboração de 9 empresas, onde cada uma delas partilha aplicações desafiantes para os quais a XR oferece uma solução rentável. Os resultados são aplicáveis a uma parte significativa da indústria irlandesa.

4.1.4 IDÓNIA

4.1.4.1 Jogos sérios

A Idonial desenvolve a aplicação AM-Motion que envolve um questionário que permite testar os conhecimentos dos utilizadores em AM. Figura 10 apresenta algumas capturas de ecrã da aplicação, mostrando a informação que inclui e um exemplo do questionário.



Figura 10: Capturas de ecrã da aplicação AM-Motion desenvolvida pela Idonial.

4.1.5 Software Educativo - Granta EduPack

O GRANTA EduPack é um conjunto único de recursos de ensino e software que apoia a Educação de Materiais em Engenharia, Design, Ciência, Desenvolvimento Sustentável e AM. Fornece uma base de dados abrangente de sobre materiais e processos, incluindo AM, processamento e análise de dados (gráficos de Ashby), uma gama de recursos de apoio: por exemplo, palestras, projetos e exercícios. O GRANTA EduPack está dividido em três níveis para que os estudantes acessem a um nível adequado de informação sobre materiais à medida que progredem nos seus estudos, ou seja, desde a pré-universidade até aos cursos de pós-graduação. É utilizado em diversas circunstâncias para materiais de ensino relacionados com a AM: por vezes em laboratórios de informática bem equipados, outras vezes em estudos autónomos utilizando o portátil do próprio aluno. Pode estar fundamentalmente integrada nos currículos e ser uma ferramenta essencial para os alunos de cada ano; ou pode simplesmente ser utilizada como um recurso de dados e uma forma de criar aulas interessantes com gráficos claros e cativantes para ilustrar conceitos.

No software, há conceitos sobre como utilizar a base de dados de elementos para ilustrar tendências e relações entre as propriedades dos elementos da tabela periódica; como simples gráficos de bolhas do Módulo de Young versus Densidade podem ser utilizados para ajudar os alunos a compreender as diferentes famílias de materiais e o que afeta as suas propriedades (por exemplo, ligação e estrutura cristalina). Os alunos podem aceder a "Science Notes", onde podem reforçar os seus conhecimentos teóricos e incluem referências a textos padrão. Tópicos como Diagramas de Fase e Cristalografia podem ser abordados através de ferramentas interativas na nova Edição MS&E do GRANTA EduPack. O tratamento térmico e outras formas de manipular as propriedades dos materiais também são facilmente ilustradas. Os alunos podem então seleccionar materiais para projeto com base nessas propriedades, desenvolvendo uma perspetiva de como a ciência fundamental se traduz em aplicações reais de engenharia.

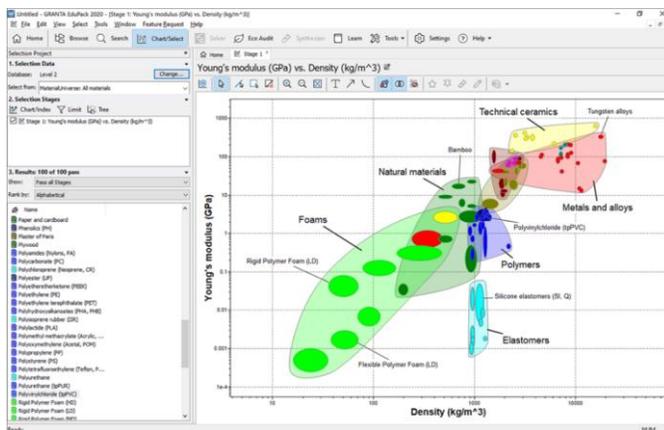


Figura 11: Uma imagem de ecrã do Granta EduPack

Várias abordagens pedagógicas são aplicáveis quando se utiliza o software Granta EduPack para o ensino e aprendizagem de materiais, com um número crescente de recursos dedicados a materiais e processos específicos para AM:

Uma abordagem orientada para o design: Nesta abordagem, o aluno começa com um desafio de design. O software permite-o identificar as famílias de materiais que melhor satisfazem os seus requisitos. Em seguida, podem explorar a razão pela qual os diferentes materiais têm um desempenho diferente, "explorando" os recursos informativos do EduPack para saber mais sobre a ciência subjacente.

Ensino em sala de aula: São disponibilizadas unidades de aprendizagem em PowerPoint prontas a utilizar e folhetos de exercícios associados. Podem ser criados gráficos de propriedades de materiais personalizados para ilustrar um determinado ponto. Posteriormente, podem ser copiados para o PowerPoint, ou guardados como um ficheiro de projeto e abertos no próprio software, para que se possa anotar o gráfico em tempo real durante a aula. O software é também utilizado como base para exercícios curtos e práticos para os alunos durante as aulas ou como "trabalho de casa". Os recursos didáticos do EduPack fornecem esses exercícios. Os alunos podem investigar materiais e criar relatórios ou cartazes para comprovar a sua aprendizagem.

Aprendizagem baseada em projetos: apoio a projetos de estudantes, quer como recurso de informação abrangente, quer utilizando a sua seleção de materiais, Eco Audit e outras ferramentas de modelação para resolver problemas relacionados com materiais. Estes projetos podem ser de diversas complexidades, desde simples exercícios num

Commented [JC2]: +-

curso introdutório (são fornecidos exemplos nos recursos de ensino do EduPack GRANTA) até complexos projetos de design de último ano ou mesmo projetos de investigação de nível de mestrado (usando os dados aprofundados na base de dados de nível 3 do EduPack).

Aprendizagem baseada em problemas: À medida que os alunos utilizam o software para resolver problemas relacionados com design ou materiais, podem facilmente "aprofundar" a informação que explica os princípios científicos e de engenharia subjacentes às propriedades e aos materiais que estão a investigar. Esta funcionalidade é adequada para abordagens baseadas em problemas, em que os alunos são incentivados a alargar os seus conhecimentos sobre a matéria, explorando questões e conceitos que surgem à medida que resolvem um problema específico.

Auto-ensino: As licenças de inscrição e de campus do GRANTA EduPack em toda a Europa permitem que cada aluno do curso participante instale o software no seu próprio portátil ou PC. Isto significa que o GRANTA EduPack pode ser uma ajuda poderosa para o ensino à distância e para outros cursos que exijam que os alunos façam uma parte substancial da sua aprendizagem remotamente ou no seu próprio tempo. São fornecidos recursos alargado para os alunos, incluindo folhetos 'Ensina-te a ti mesmo', glossários e casos de estudo.

4.2 Meta-análise de estudos-piloto e inquéritos realizados no âmbito do projeto SAM

4.2.1 Estudos-piloto

Como mencionado na introdução, diferentes cursos-piloto para profissionais foram reformulados ou introduzidos durante o projeto SAM. Esta secção analisa a integração dos contextos e ferramentas de aprendizagem acima mencionados e ajuda a compreender qual deles foi utilizado com maior sucesso. Como a pandemia COVID-19 incidiu no início da fase-piloto, a maioria dos cursos-piloto foi ministrada online. Os membros afirmaram que estes cursos teriam, em circunstâncias "normais", sido ministrados com uma parte teórica e uma parte prática. Durante as 1ª e 2ª fase dos pilotos, foram realizados 29 cursos-piloto, correspondendo a 17 na primeira e 12 na segunda fase. Na primeira fase, as 12 UCs que completam o Perfil Profissional do Engenheiro de Processos foram implementadas pelos parceiros do SAM. Verificou-se uma distribuição equitativa entre os parceiros das diferentes UCs. Adicionalmente, foram lecionadas 3 UCs de materiais e 2 UCs correspondentes ao perfil profissional de designer de AM de metais. Os seguintes parceiros organizaram e implementaram estas 17 atividades piloto na primeira fase: LORTEK, ANSYS GRANTA, AITIIP, FA, IMR, LMD, EC Nantes, MTC, POLIMI, ISQ, UBRUN, EPMA, IDONIAL. Um total de 732 estudantes participaram nesta primeira fase piloto. A partir destas atividades de implementação piloto, foram registadas informações pormenorizadas em termos de contexto de formação e de ferramentas utilizadas. É de salientar que muitas destas atividades-piloto foram realizadas no primeiro semestre de 2020, altura em que se verificou um confinamento geral nos países europeus.

A análise em termos de ferramentas e contextos de aprendizagem utilizados foi repetida para a segunda ronda de estudos-piloto. Neste caso, foram realizadas 10 atividades piloto por diferentes parceiros, incluindo UBRUN, ISQ, MTC, LAK, LMS, FA, AITIIP, IDONIAL, ECNANTES, POLIMI, LORTEK e IMR. No total, 261 alunos foram envolvidos nesta segunda fase. Neste caso, foram selecionadas as novas UCs criadas para o Perfil Profissional de Designer de Polímeros, bem como duas novas unidades de competência relativas à certificação e normalização e a negócios.

Competence Unit	Organizer
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support: Granta)
CU 01: DED-Arc Process	AITIP
CU 08: DED-LB Process	FA
CU 15: PBF-LB Process	MM
CU 25: Post Processing	LMS
CU 34: Process selection	EC Nantes
CU 35: Metal AM integration	AITIP
CU 36: Coordination activities	MTC
CU 43: Production of PBF-LB parts	POLMI
CU 44: Conformity of PBF-LB parts	POLMI
CU 45: Conformity of facilities featuring PBF-LB	PSQ
CU 26: Introduction to materials (optional)	IRBORN/Granta
CU 27: AM with steels feedstock (excluding Stainless Steel/FMA)	FMA
CU 30: AM with Nickel feedstock	FMA
CU 33: AM with Titanium feedstock	Lortek
CU63 (should be done if possible): Simulation Analysis	Idonigal
CU62: Simulation Execution	Granta

Competence Unit	Organizer	Mode of training
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	IRBORN (support: Granta)	
CU 65 - Overview on polymer materials and properties	PSQ	
CU 66: Designing Polymers AM Parts	MTC (support: AITIP)	
CU 67 - Post Processing for Polymers	LAK	
CU 68: Design for Material Extrusion	LMS	
CU 68: Design for Material Extrusion	FA	
CU 69 - Design for PBF Polymer	LMS (support: AITIP & IDONIGAL)	
CU 64: Business for Additive Manufacturing	EC Nantes (support: POLMI)	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	ORTEK	
CU 63 - Certification, Qualification and Standardisation in	IRBORN (support: MTC)	

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Organizer	Mode of training	Participants (including number of attendances, age range, profession, etc)	Training tool kits			
				Training context (Description of the context used in training (e.g. classroom, lab, etc))	Training tools (Description of the training tools (e.g. lecturing, projects, case study, etc))	Practical exercises (If it is used)	Restrictions & Difficulties (Description of any limitation preventing to use specific training tool technologies. It is very difficult to provide practical tools as most companies have made only a few in-house)
CU 00: Additive manufacturing Process Overview	Lortek (support: Granta)	presential	16 Participants, 20-35 age range, 3 Women, 13 Men	Classroom teaching over a few days	The pilot was carried out by several experts in their areas of expertise. The presentations were given in form of lecturing	Practical exercises were only performed in terms of showing parts manufactured in the different (if applicable) technologies	
CU 01: DED-Arc Process	AITIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13 Men	Classroom teaching over 5 days	Presentations, peer instruction, BRAKEN example (AITIP development) and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training	This CU is very long and was complicated for students to maintain focused all the training
CU 08: DED-LB Process	FA	online	13 Participants, five < 28 age range, three: 26-35 age range, 2 Women, 6 Men, at Portugal, at	3 days online course	Lecturing	No	the duration of the course per day and some changes that were performed due to COVID-19
CU 15: PBF-LB Process	MM	online	60 Participants 95% of participants were male, 53% were between the ages of 26 and 35, 50% of all attendees were working in the Health Industry, 95% of attendees had a Bachelor's or Master's degree	4 days online course	Lecturing	No	Due to COVID 19 The course was too theory heavy and this is not relevant to industry where expertise in practice is vital. Contact was also limited because of current restrictions preventing face-to-face. Online content should be reviewed multiple times to reinforce theory.
CU 25: Post Processing	LMS	on line	21 participants, 30-35 age range, students and professionals, 1 at Belgium, 4 at Greece, 3 at Portugal, 3 at India, 1 at Turkey, and 1 at Nigeria.	On line course separated in 2 days	Lecturing	No	No practical exercise was done due to on line mode of the course
CU 34: Process selection	EC Nantes	on line	13 Master students in industrial engineering (gender: 92% male & 8% female age range: all < 30 years old Origin: France, Italy, China, Iran, India	On line classroom	Lecturing - Providing some case studies hands on experience	Perform cost estimation to compare a traditional manufacturing route (injection molding) with laser manufacturing processes (stereolithography SL, fused deposition modelling FDM and Laser sintering LS) in terms of the unit cost for parts made in various geometries. Students were given necessary information to solve a case study including: Assumptions (e.g. AM machines specifications, etc.), the cost model equations, and Requirements for the cost preparation for different AM process including SL, FDM and LS	Restriction on the use of team working and group discussion activities prevented practicing decision-making skills, mostly for case study analysis. impossibility to use some practical learning tools required to demonstrate the AM technologies and processes
CU 35: Metal AM integration	AITIP	presential	18 Participants, 26-40 age range, 5 Women, 13 Men	Classroom teaching over 3 days	Presentations, peer instruction and real cases discussion (LBP) were used	Videos and practical explanations were used to increase the involvement of the students in the training	The students suggested to use more practical cases and to do shorter sessions
CU 36: Coordination activities	MTC	on line	35 participants, 87% male, 13% female, 20%<25 yrs old, 43% 26-35, 33% 36-55, 3%>55	10 lecture sessions undertaken in one	Powerpoint presentations supported by		(requested) less material to be used or more time as the course was too intensive. More case studies and practical/discussive elements preferred. Clarification to the assessment questions

Figure 12: Dados recolhidos dos estudos-piloto concluídos na primeira fase. No topo, a lista de UCs pilotadas por diferentes parceiros

Em geral, o ensino teórico consistiu numa revisão geral dos processos aplicados e em informações pormenorizadas sobre o processo AM, as suas vantagens e desvantagens.

Na parte prática dos projetos-piloto, os participantes tiveram de criar um produto utilizando técnicas de AM. Nos pilotos CU 68 - **Design para extrusão de material** e CU 69 - **Design para FCP de polímeros**, os participantes foram convidados a criar um suporte para telemóvel utilizando processos de AM.

Durante a formação e para aumentar a interação e o envolvimento dos formandos, foram realizadas sondagens em direto utilizando Slido, Kahoot! e outras plataformas para melhorar o envolvimento dos alunos online, dando aos participantes a oportunidade de aprender mais e aumentar a comunicação com os formadores e melhorar a tomada de decisões sobre o design e o acabamento dos produtos que estão a ser criados. As sondagens podem ser utilizadas em fóruns de aprendizagem presenciais ou online.

4.2.2 Análise sistemática

Foi realizada uma análise sistemática baseada na metodologia desenvolvida no WP3 para apoiar a implementação dos cursos de formação AM, a fim de monitorizar a qualidade das atividades piloto, tirar conclusões e detetar potenciais áreas de melhoria. Todos os parceiros que lideraram a implementação de cada atividade-piloto foram convidados a preencher o próximo questionário modelo para completar esta análise sistemática. A análise foi realizada com base nas quatro categorias de competências abordadas no projeto SAM, nomeadamente: tecnológicas, ecológicas, digitais e empresariais.

As "Competências Tecnológicas" são definidas como: "Capacidade de aplicar conhecimentos e de utilizar o saber-fazer para realizar tarefas e resolver problemas" [no âmbito de atividades específicas]" (Adaptado do CEDEFOP 2008)

<https://www.cedefop.europa.eu/en/projects/validation-non-formal-and-informal-learning/european-inventory/european-inventory-glossary#S>

Exemplos de competências relacionadas com o fabrico aditivo: *Processos AM; Modelação numérica; Simulação; CAPP (Planeamento de processos assistidos por computador) para AM; Otimização topológica; Design para AM; Integridade estrutural; Análise e caracterização de materiais; Pré-processamento e manuseamento de materiais; Pós-processamento, etc.*

*Fonte: Os peritos da AM foram consultados para identificar a lista de competências tecnológicas na AM. A lista não está fechada e necessitar-se-ia de uma exploração mais aprofundada para detetar as competências específicas do sector e/ou do perfil.

As "competências digitais" são definidas como "um conjunto de capacidades para utilizar dispositivos digitais, aplicações de comunicação e redes para aceder e gerir informação. Permitem às pessoas criar e partilhar conteúdos digitais, comunicar e colaborar, e resolver problemas para uma autorrealização eficaz e criativa na vida, na aprendizagem, no trabalho e nas atividades sociais em geral" (UNESCO, 2022)

<https://www.unesco.org/en/articles/digital-skills-critical-jobs-and-social-inclusion>

Exemplos de competências relacionadas com o fabrico de aditivos: *Análise de dados digitais (inteligência artificial, Machine Learning); gestão de dados digitais (grandes volumes de dados, estatísticas...); capacidade de pensar em 3D; cibersegurança; Programação.*

*Fonte: Os peritos da AM foram consultados para identificar a lista de competências digitais na AM. Mais tarde, o DiGComp foi utilizado para uma maior exploração em alinhamento com os sectores específicos da AM.

As "competências verdes" são definidas como "conhecimentos, capacidades, valores e atitudes necessários para viver, desenvolver e apoiar uma sociedade sustentável e eficiente em termos de recursos (CEDEFOP, 2015)

<https://www.unido.org/stories/what-are-green-skills>

Exemplos de competências relacionadas com o fabrico aditivo: *eficiência dos recursos, consciência ecológica, avaliação do ciclo de vida (ACV), design ecológico, economia circular, recursos ecológicos e produtos ecológicos.*

*Fonte: A categorização em competências verdes AM baseou-se na publicação do CEDEFOP "Competências verdes e inovação para um crescimento inclusivo" [<https://www.cedefop.europa.eu/en/publications/3069>, "

O "empreendedorismo ou as competências empresariais" são definidos como "uma competência-chave transversal aplicável por indivíduos e grupos, incluindo organizações existentes, em todas as esferas da vida" **ou** "quando se atua sobre oportunidades e ideias e as transforma em valor para os outros". O valor criado pode ser financeiro, cultural ou social". (ENTRECOMP, 2016)

https://joint-research-centre.ec.europa.eu/entrecomp-entrepreneurship-competence-framework_en

Exemplos de competências relacionadas com o fabrico de aditivos: *comunicação; trabalho em equipa, gestão de clientes, resolução de problemas, aprendizagem, planeamento e organização; identificação de oportunidades; criatividade; valorização de ideias; autoconsciência e autoeficácia; etc.*

*Fonte: o quadro EntreCOMP foi utilizado como referência em combinação com a referência das competências transversais na ferramenta Skills Intelligence.

A fim de completar a análise sistemática, foi pedido aos parceiros que identificassem as competências tecnológicas, empresariais, digitais e ecológicas que foram adotadas nas suas atividades de pilotagem durante a 1ª fase do piloto, incluindo UC completas e temas, e relacionando-as com as ferramentas de formação e os métodos de avaliação que utilizaram. Por conseguinte, a meta-análise foi efetuada basicamente do ponto de vista das competências. O primeiro passo foi completar a tabela seguinte.

Tabela 5 Análise sistemática dos estudos-piloto efetuados pela Universidade de Brunel e Ansys Granta.

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU 26 (Brunel / Ansys): Visão geral do processo de fabrico aditivo	Introdução aos materiais (facultativo)	8 sessões online através do Microsoft Teams	Apresentações online, demonstrações, inquéritos do tipo "Mentimeter", casos de estudo do Granta EduPack	Questionário online (escolha múltipla)	Não houve sessões práticas ou laboratoriais, uma vez que o curso foi ministrado à distância
	CU 61 (Ansys): Execução da simulação	Simulação de AM de metal	4 sessões de formação online através do Teams; curso sob demanda através do Ansys Learning HUB. O software Ansys foi fornecido.	Casos de estudo, Questionário, Vídeos, Chat/Fórum	Questionário online (escolha múltipla)	O acesso ao software para tarefas de formação requer uma licença. Os conhecimentos específicos sobre manufatura aditiva requerem conhecimentos prévios de ferramentas de simulação FEA/Ansys, que alguns participantes não possuíam.
Empreendedorismo	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	CU 61 (Ansys): Execução da simulação	Simulação de construções AM de metal	Competências práticas de software	Suíte Ansys AM	Avaliação online	O acesso ao software para tarefas de formação requer a licença que foi fornecida.

	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabela 6 Análise sistemática dos estudos-piloto efetuados pela Lortek (apoio Granta em CU00 e CQSAM em CU63).

Tecnológico	CU 00 (Lortek): Visão geral do processo de fabrico aditivo	Visão geral da tecnologia Visita de laboratório, equipamento, componentes e peças Normas de processo	Ensino em sala de aula durante alguns dias	Realizado por vários especialistas nas suas áreas de mestria. Palestras, demonstrações e visitas a laboratórios	Exame escrito (virtual)	Uma vez que esta UC fornece uma visão geral de todas as tecnologias, é muito difícil fornecer ferramentas práticas, uma vez que a maioria das empresas tem talvez apenas algumas internamente.				
	CU 31 (Lortek): AM com titânio como matéria-prima	Visão geral da AM de metais AM Design e material Requisitos do sector industrial e pós-processamento					Ensino em sala de aula durante alguns dias	Vídeos, Visita ao laboratório, Estudos macrográficos, Análise de artigos, Casos de estudo	Perguntas de escolha múltipla Perguntas de escolha múltipla Exame prático, mini projetos	Como a empresa está a trabalhar com WAAM e possui esta tecnologia internamente, não houve limitações ou restrições.
		CU 63 (Lortek): Certificação, Qualificação e Normalização no Fabrico Aditivo							Certificação e qualificação em AM Normalização na AM Aplicabilidade dos mesmos na cadeia de processos com AM disponível	
Empreendedorismo	CU 31 (Lortek): AM com titânio como matéria-prima	Economia e produtividade	Ensino em sala de aula durante alguns dias	Estudo de caso, prático	Perguntas de escolha múltipla Exame prático, mini projetos	Como a empresa está a trabalhar com WAAM e possui esta tecnologia internamente, não houve limitações ou restrições.				
Competências digitais	-	-	-	-	-	-				
	-	-	-	-	-	-				
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-				
	-	-	-	-	-	-				

Tabela 7 Análise sistemática dos estudos-piloto efectuados pela AITIIP.

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU 01 (AITIIP): Processo DDE-Arco	Hardware e funcionamento	Ensino em sala de aula durante 5 dias.	Foram utilizadas apresentações, instrução entre pares, por exemplo KRAKEN (desenvolvimento AITIIP) e discussão de casos reais (LBP)	Exame escrito (questionário)	Foram utilizados vídeos e explicações práticas para aumentar o envolvimento dos alunos na formação
		Matérias-primas e consumíveis				
	CU 35 (AITIIP): Integração de AM de metais	Gestão da produção	Ensino em sala de aula durante 3 dias.	Foram utilizadas apresentações, instrução entre pares e discussão de casos reais (LBP)	Exame escrito (questionário)	Os alunos sugeriram a utilização de mais casos práticos e a realização de sessões mais curtas.
Empreendedorismo	CU 01 (AITIIP): Processo DDE-Arco	Estratégia de fabrico do DDE-Arco	Ensino em sala de aula durante 5 dias.	Apresentação, vídeos, explicações práticas	Exame escrito (questionário)	Esta UC é muito longa e foi complicado para os alunos manterem-se concentrados durante toda a formação
	CU 35 (AITIIP): Integração de AM de metais	Intergração comercial da AM	Ensino em sala de aula durante 3 dias.	Foram utilizadas apresentações, instrução entre pares e discussão de casos reais (LBP)	Exame escrito (questionário)	Os alunos sugeriram a utilização de mais casos práticos e a realização de sessões mais curtas.
	Casos de estudo	Exame oral				
Competências digitais	CU 01 (AITIIP): Processo DDE-Arco	Software, programação com CURA, CAM	Ensino em sala de aula durante 5 dias.	Apresentação, vídeos, explicações práticas	Exame escrito (questionário)	Esta UC é muito longa e foi complicado para os alunos manterem-se concentrados durante toda a formação
	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Mesa 8 Análise sistemática dos estudos-piloto efetuados pelo LMS (apoio: AITIP & IDONIAL em CU69).

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU 25 (LMS): Pós-Processamento	Tratamento térmico	Curso online separado em 2 dias	Lecionar online	Perguntas de escolha múltipla online	Não foram efetuados exercícios práticos devido ao facto de o curso ser online
		Deformação plástica e fabrico subtrativo				
		Operações de acabamento				
	CU 68 (LMS): Projeto para extrusão de material	Noções básicas de AM e EXM	Curso online separado em 2 dias	Aulas teóricas, sondagens, estudo de caso online	Exame online	É claro que o estudo de caso prático é preferível, mas devido ao modo online não foi possível. Aumento do número de participantes.
		Materiais para EXM				
	CU 69 (LMS): Design do polímero FCP	Considerações sobre o design	Curso online separado em 2 dias	Lecionar online	Exame online	É claro que o estudo de caso prático é preferível, mas devido ao modo online não foi possível. Aumento do número de participantes.
Noções básicas de AM e PBF						
Empreendedorismo	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabela 9 Análise sistemática dos estudos-piloto efetuados pelo POLIMI.

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU 43 (POLIMI): Produção de peças FCP-FL	Design para AM	Aulas à distância, online + laboratórios	Aulas teóricas, laboratório com trabalho de projeto e aprendizagem prática, aulas virtuais conjuntas com outras duas universidades (TUM e MIT)	Exame online	Restrição nas visitas ao laboratório devido à COVID
	CU 44 (POLIMI): Conformidade das peças FCP-FL	Garantia de qualidade Normas do processo AM Materiais e ensaios	Aulas online	Leccionação, aula virtual conjunta com outras duas universidades (TUM e MIT)	Exame online	Restrição nas visitas ao laboratório devido à COVID
Empreendedorismo	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	CU 43 (POLIMI): Produção de peças FCP-FL	Software para AM, otimização de topologia, CAD-STL-g - code	Aulas à distância, online + laboratórios	Aulas teóricas, laboratório com trabalho de projeto e aprendizagem prática, aulas virtuais conjuntas com outras duas universidades (TUM e MIT)	Exame online	
	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Mesa 10 Análise sistemática dos estudos-piloto efetuados pela EPMA.

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU 27 (EPMA): AM com aço como matéria-prima (exceto aço inoxidável)	Ciência dos materiais do aço	10 sessões online através do Microsoft Teams	Slides de palestras, publicações EPMA	Exame online	Não há sessões práticas
	CU 30 (EPMA): AM com níquel como matéria-prima	Ciência dos materiais de ligas à base de níquel	3 sessões online através do Microsoft Teams	Slides de palestras, publicações EPMA	Exame online	Não há sessões práticas
Empreendedorismo	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-

Mesa 11 Análise sistemática dos estudos-piloto efectuados pela MTC.

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU36 (MTC): Atividades de coordenação	Considerações operacionais e de gestão da AM	10 sessões de palestras realizadas num dia (o curso foi realizado duas vezes para grupos diferentes - 12/1/21 e 15/1/21)	Apresentações em Powerpoint apoiadas por vídeos, debates e sessões de mentimeter	Exame online (escolha múltipla)	Não houve problemas com a realização do curso, mas os alunos pediram menos material ou mais tempo, uma vez que o curso era demasiado intensivo. Seriam preferíveis mais casos de estudo e elementos práticos. Foi necessário clarificar as questões de avaliação, o que consta de um relatório separado.
	-	-	-	-	-	-
Empreendedorismo	-	-	-	-	-	-

	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Mesa 12 Análise sistemática dos estudos-piloto efectuados pela Idonial.

Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU61 (Idonial): Análise de Simulação	Simulação e análise de elementos finitos	4 sessões de formação que decorreram remotamente através do Microsoft Teams	Palestras Casos de estudo	Exame online	O curso decorreu inteiramente de forma remota, devido às restrições impostas pela COVID 19. Este facto constituiu uma dificuldade acrescida na tentativa de propor cenários para os participantes resolverem (exercícios práticos), bem como a própria complexidade da UC em termos da relação entre conteúdos e tempo disponível.
	-	-	-	-	-	-
Empreendedorismo	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	CU61 (Idonial): Análise de Simulação	Otimização da topologia, software Ansys	4 sessões de formação que decorreram remotamente através do Microsoft Teams	Palestras Casos de estudo	Exame online	O curso decorreu inteiramente de forma remota, devido às restrições impostas pela COVID 19. Este facto constituiu uma dificuldade acrescida na tentativa de propor cenários para os participantes resolverem (exercícios práticos), bem como a própria complexidade da UC em termos da relação entre conteúdos e tempo disponível.
	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Mesa 13 Análise sistemática dos estudos-piloto efectuados pela ECNantes.

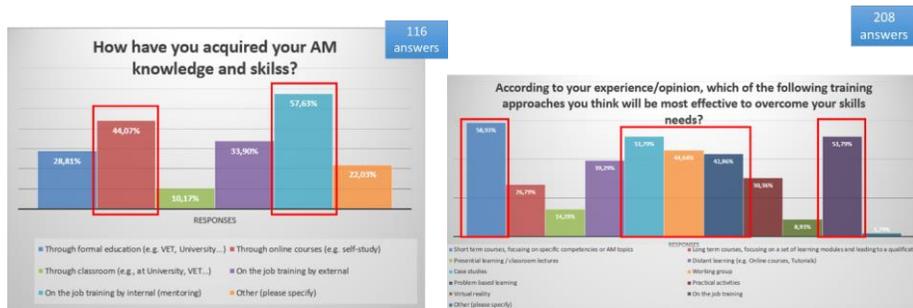
Grupo de Competências /Categorias de Competências	Unidades	Temas	Contexto de formação	Ferramenta de formação	Métodos/ferramentas de avaliação	Restrições
Tecnológico	CU 34 (ECNantes): Seleção de processos	Análise de trabalho de AM (Visão geral do processo AM)	Sala de aula online	Palestra - Vídeo	Exame escrito (MCQ)	Impossibilidade de utilizar algumas ferramentas de formação baseadas em laboratórios físicos (por exemplo, fábrica de ensino) que apoiam a aprendizagem pela prática - menor possibilidade de trabalho em equipa e de discussão em grupo - dificuldades em compreender os níveis de envolvimento dos alunos
		Análise de trabalho de AM (design, material, especificação técnica)		Palestra - Vídeo - Estudo de caso		
		AM Análise do trabalho (pós-processamento, requisitos do sector industrial)		Palestra - Vídeo		
Empreendedorismo	CU 64 (ECNantes): Negócios para o fabrico aditivo	Estratégias e modelos empresariais	Sala de aula online	Lecionar - estudo de caso	Exame escrito (MCQ)	Menor possibilidade de pôr em prática o business case real/fictício nos contextos de trabalho em equipa e de discussão em grupo - impossibilidade de demonstrar no local exemplos do processo de AM
		Política e governação		Lecionar		
		Gestão, planeamento e controlo da qualidade		Lecionar - Vídeo		
		Gestão do fluxo de trabalho AM		Lecionar		
	Orçamentação e custos	Aulas teóricas - Exercício prático				
CU 34 (ECNantes): Seleção de processos	Economia e produtividade	Sala de aula online	Aulas teóricas - Exercício prático	Exame escrito (MCQ) - Exame prático		
-	-	-	-	-	-	-
Competências digitais	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-
Competências ecológicas	CU 64 (ECNantes): Negócios para o fabrico aditivo	HSE e sustentabilidade	Sala de aula online	Palestras - Vídeo	Exame escrito (MCQ)	

A partir deste modelo, foi efetuada uma meta-análise que permitiu obter uma boa perspetiva do número de competências abrangidas em cada unidade de competência e disciplina, do número de ferramentas de formação utilizadas para o seu desenvolvimento e das ferramentas de formação mais utilizadas por categoria de competências.

4.2.3 Inquéritos

Os resultados da meta-análise realizada com os dados registados de cada atividade-piloto individual foram comparados com os resultados do segundo inquérito à indústria realizado em janeiro e fevereiro de 2022. Durante este inquérito, a força de trabalho e os empregadores atuais da AM foram visados. Embora o principal objetivo do inquérito fosse perguntar sobre as lacunas de competências relevantes, o alinhamento entre a indústria e a oferta de AM e os perfis que serão mais exigidos pela indústria a curto e médio prazo, os parceiros SAM decidiram incluir também algumas questões adicionais sobre a futura implementação do AM na indústria. Estas questões eram sobre as preferências de formação abordadas para ultrapassar as necessidades de competências.

Vale a pena notar que muitos dos atuais profissionais adquiriram os seus conhecimentos e competências através de cursos, estudo autónomo e formação no local de trabalho ou tutoria. Por conseguinte, é bastante evidente que ainda não existe uma norma formal de ensino que garanta os padrões e a qualidade dos programas de ensino. Além disso, é importante notar que os trabalhadores procuram frequentar cursos de curta duração, centrados em competências específicas ou em temas da AM, trabalhar com casos de estudo, grupos de trabalho, métodos de aprendizagem baseados em problemas e formação no local de trabalho. De facto, os cursos de longa duração baseados na aprendizagem presencial e em aulas teóricas não são os contextos e ferramentas de aprendizagem mais atrativos para os trabalhadores. A conclusão desta análise é que os cursos de formação devem fazer um grande esforço para concentrar as aulas teóricas em sala de aula e implementar outras ferramentas de aprendizagem mais ativas fora da sala de aula.



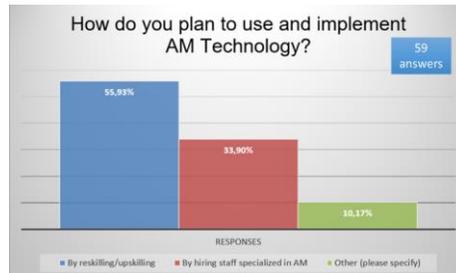


Figura 13: Resultados do segundo inquérito à indústria mostrando as principais preferências em matéria de formação.

4.2.4 Conclusões da meta-análise

Os principais resultados da meta-análise efetuada são apresentados nos gráficos seguintes. Além disso, as principais conclusões foram as seguintes:

- 1) As competências tecnológicas foram principalmente visadas em cada UC e em disciplinas relacionadas. As competências empresariais foram também abordadas em muitas atividades-piloto, incluindo 5 UCs e 10 matérias. As competências digitais e, especialmente, as competências ecológicas quase não foram abordadas durante as atividades de formação.
- 2) Quase dois terços das atividades de piloto foram realizadas online. Este facto deveu-se principalmente às restrições provocadas pelo surto de Covid-19.
- 3) As aulas teóricas, os casos de estudo, os vídeos e as atividades práticas foram os instrumentos de formação mais utilizados para desenvolver competências tecnológicas. Para as competências empresariais e digitais, as aulas teóricas e as atividades práticas foram também as ferramentas de formação preferidas. Neste ponto, é de salientar novamente que a implementação de algumas ferramentas como projetos, atividades práticas ou grupos de trabalho foram prejudicadas pela pandemia.
- 4) A fim de testar o impacto da pandemia de Covid-19 nos instrumentos de formação selecionados, foi efetuada uma análise com base nos anos. Desta forma, as atividades de pilotagem concluídas em 2020 foram analisadas independentemente das realizadas em 2021. A conclusão é que, durante as atividades piloto de 2021, foram utilizadas menos aulas teóricas, ao passo que foram promovidas as restantes ferramentas de formação, como atividades práticas, grupos de trabalho ou casos de estudo. Isto permitiu uma abordagem de ensino mais prática e imersiva que foi considerada positivamente pelos alunos.

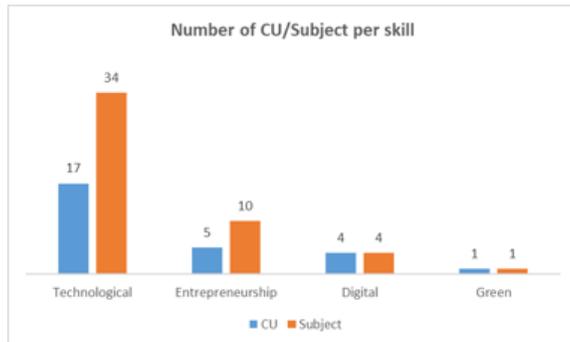


Figura 14: Visão geral dos resultados da meta-análise: número de competências em cada categoria abrangidas nas UCs/temas.



Figura 15: Panorâmica dos resultados da meta-análise: modo de formação para a realização de atividades de pilotagem.

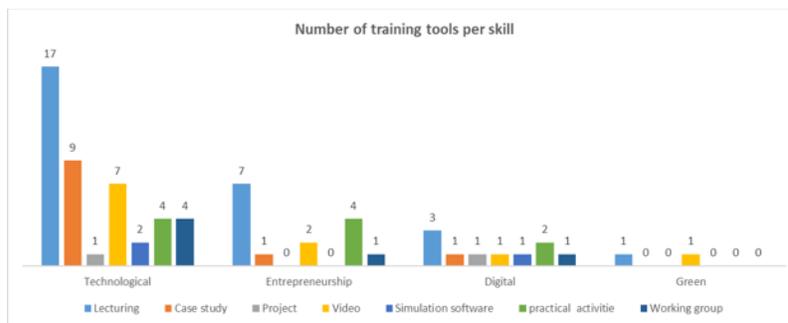


Figura 16: Síntese dos resultados da meta-análise: número de instrumentos de formação utilizados para desenvolver diferentes tipos de competências.

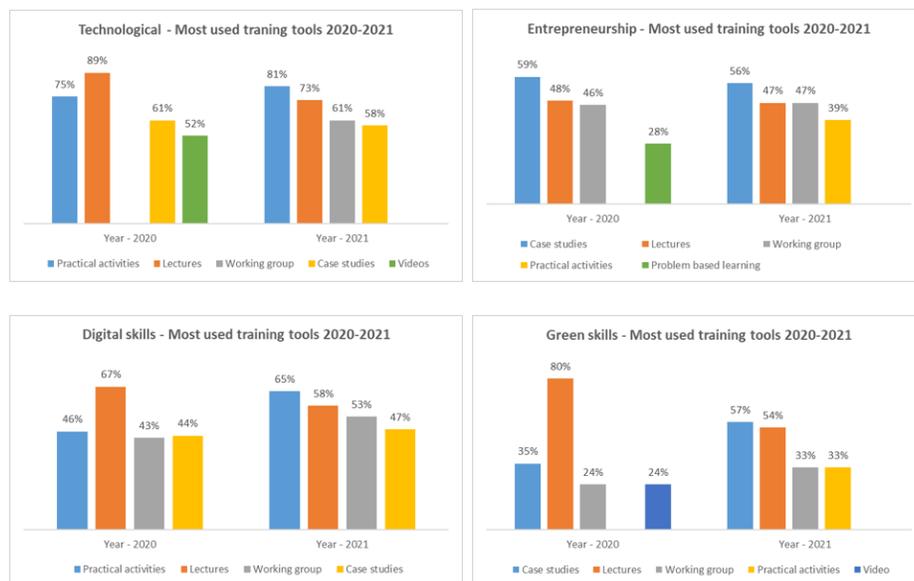


Figura 17: Ferramentas de formação mais utilizadas para o desenvolvimento de diferentes categorias de competências (tecnológicas, de empreendedorismo, digitais, ecológicas) nos anos 2020 e 2021.

Após a conclusão das atividades-piloto, foi elaborado um resumo das competências mais necessárias e dos instrumentos de formação e métodos de avaliação mais utilizados.

Competências tecnológicas					
Competências mais necessárias 2021	Competências mais necessárias em 2020	Ferramentas de formação mais utilizadas 2021	Ferramentas de formação mais utilizadas em 2020	Métodos de avaliação mais utilizados 2021	Métodos de avaliação mais utilizados 2020
Processos AM (91%) Aplicações AM (79%) Design (Modelação CAD) (77%)	Processos AM (91%) Aplicação AM (85%) Desenho CAD Modelação (67%)	Atividades práticas de laboratório (81%) Palestras (73%) Grupos de trabalho (61%)	Palestras (89%) Atividades práticas de laboratório (75%) Casos de estudo (61%)	Atividades práticas de laboratório (61%) Exames escritos (55%) Grupos de trabalho (42%)	Exame escritp (59%) Exame prático de laboratório (47%) Grupo de trabalho (46%)
Competências de empreendedorismo					
Competências mais necessárias 2021	Competências mais necessárias em 2020	Ferramentas de formação mais utilizadas 2021	Ferramentas de formação mais utilizadas em 2020	Métodos de avaliação mais utilizados 2021	Métodos de avaliação mais utilizados 2020
Trabalhar com outros (62%) Criatividade (59%)	Criatividade (46%) Trabalhar com outros (42%)	Casos de estudo (56%) Grupos de trabalho (47%)	Casos de estudo (59%) Palestras (48%)	Grupos de trabalho (42%) Exames escritos (39%)	Grupos de trabalho (57%) Exames escritos (32%)

Aprender com a experiência (59%)	Aprender com a experiência (38%)	Palestras (47%)	Grupos de trabalho (46%)	Aprendizagem baseada em problemas (35%)	Relatório (30%)
Competências digitais					
Competências mais necessárias 2021	Competências mais necessárias em 2020	Ferramentas de formação mais utilizadas 2021	Ferramentas de formação mais utilizadas em 2020	Métodos de avaliação mais utilizados 2021	Métodos de avaliação mais utilizados 2020
Capacidade de pensar em 3D (83%) programação (24%) Análise de dados digitais (23%)	Capacidade de pensar em 3D (69%) programação (17%) Análise de dados digitais (16%)	Atividades práticas de laboratório (65%) Palestras (58%) Grupos de trabalho (53%)	Palestras (67%) Tutoriais (50%) Atividades práticas de laboratório (46%)	Atividades práticas de laboratório (56%) Aprendizagem baseada em problemas (42%) Exames escritos (41%)	Atividades práticas de laboratório (40%) Grupos de trabalho (40%) Exames escritos (38%)
Competências ecológicas					
Competências mais necessárias 2021	Competências mais necessárias em 2020	Ferramentas de formação mais utilizadas 2021	Ferramentas de formação mais utilizadas em 2020	Métodos de avaliação mais utilizados 2021	Métodos de avaliação mais utilizados 2020
Design ecológico (47%) Economia circular (47%) Gestão da eficiência dos recursos (38%)	Design ecológico (37%) Economia circular (35%) Análise do ciclo de vida (LCA) (32%)	Casos de estudo (57%) Palestras (54%) Grupos de trabalho (33%)	Palestras (80%) Casos de estudo (35%) Grupos de trabalho (24%)	Grupos de trabalho (39%) Atividades práticas de laboratório (35%) Exames escritos (31%)	Grupos de trabalho (38%) Exames escritos (33%) Relatório (31%)

Figura 18: Visão geral dos resultados da meta-análise: quadro de síntese.

5 Conjunto aprovado de recomendações para o contexto e as ferramentas da formação em AM

O projeto SAM organizou uma sessão online de um grupo de peritos no dia 21st abril de 2022. Diferentes empresas profissionais e industriais que estão a apoiar o projeto SAM participaram na sessão de trabalho, que teve como objetivo discutir a metodologia para a conceção e revisão de perfis profissionais e o desenvolvimento de competências que permitirão implementar o(s) Perfil(is) Profissional(is) / Qualificação(ões) ou Unidades de Competência / Módulo(s) durante a fase piloto e posteriormente.

Assim, as etapas seguidas para completar o guia operacional aplicável ao contexto e às ferramentas de formação foram explicadas nesta apresentação. Além disso, foi introduzida a metodologia utilizada para registar os dados relevantes das atividades de formação piloto e foram partilhadas as conclusões da meta-análise realizada com a primeira e a segunda ronda de atividades piloto. No final da sessão, os participantes discutiram as suas recomendações sobre o contexto e as ferramentas de formação.

A presente proposta inclui uma lista das recomendações propostas:

- 1) Contexto de formação: a aprendizagem online e as abordagens em sala de aula/palestras que têm sido aplicadas devido às restrições da COVID-19 carecem de **aprendizagem prática** e devem ser combinadas com a mesma, incluindo ensaios em laboratório e formação em empresas. **A aprendizagem combinada**

parece ser a melhor abordagem, pelo que este contexto deve ser promovido. O acesso às máquinas AM é fundamental para uma formação completa.

- 2) Ferramentas de formação: Para além das aulas, **os casos de estudo** são uma ferramenta de formação poderosa para os profissionais da AM e são muito apreciados pelos funcionários. Esta ferramenta tem sido amplamente implementada em atividades piloto e deve ser considerada **para a implementação e definição de novas UCs para PPs**.
- 3) Ferramentas de formação: Algumas ferramentas de formação, como jogos sérios, realidade aumentada, aprendizagem baseada em projetos ou workshops virtuais não foram implementadas e devem ser incluídas e testadas em futuras atividades de formação para avaliar os seus benefícios.
- 4) Incluir nos **resultados de aprendizagem da UC, uma descrição das competências** (tecnológicas-empresariais-digitais-verdes) que devem ser visadas em cada atividade de formação (avaliação prévia e orientação para formadores). Atualmente, apenas as competências técnicas são identificadas em termos de resultados de aprendizagem.
- 5) A definição de programas de formação deve estar alinhada com as **preferências dos trabalhadores e da indústria**: atualização e requalificação de profissionais, cursos de curta duração centrados em competências específicas e trabalho prático (casos de estudo, grupos de trabalho, PBL, formação na empresa).

Posteriormente, estas recomendações foram analisadas numa sessão especial durante a Reunião Técnica SAM nº 8, que teve lugar em Gijón, Espanha, de 23 a 25 de maio de 2022. Os parceiros concordaram em adotar as cinco recomendações propostas pelo grupo de peritos e apresentar três novas recomendações.

A lista final das recomendações aprovadas é apresentada a seguir:

- 1) Contexto de formação: a aprendizagem online e as abordagens em sala de aula/palestras que têm sido aplicadas devido às restrições da COVID-19 carecem de **aprendizagem prática** e devem ser combinadas com a mesma, incluindo ensaios em laboratório e formação em empresas. **A aprendizagem combinada** parece ser a melhor abordagem, pelo que este contexto deve ser promovido. **As atividades de aprendizagem ativa** devem ser combinadas com as aulas tradicionais. Em algumas UCs, o acesso a máquinas de AM é fundamental para uma formação completa.
- 2) Ferramentas de formação: Para além das palestras, **os casos de estudo** são uma ferramenta de formação poderosa para os profissionais da AM, que é muito apreciada pelos funcionários. Esta ferramenta tem sido amplamente implementada em atividades piloto e deve ser considerada **para a implementação e definição de novas UCs para PPs**.
- 3) Ferramentas de formação: **Algumas ferramentas de formação, tais** como jogos sérios, realidade aumentada, aprendizagem baseada em projetos ou workshops virtuais, não foram implementadas e **devem ser incluídas e testadas** em futuras atividades de formação para avaliar os seus benefícios. Alguns parceiros tinham os seus próprios jogos e aplicações de RV que podiam ser implementados pelos centros de formação.
- 4) Incluir na **descrição da UC** uma secção sobre "recomendações para desenvolver competências não tecnológicas" com o objetivo de sensibilizar **para as restantes categorias de competências abordadas pelo projeto SAM, nomeadamente: competências digitais, empresariais e ecológicas**.
- 5) A definição dos programas de formação deve estar alinhada com as **preferências dos trabalhadores e da indústria (manter os cursos de formação tão curtos quanto possível)**: atualização e requalificação de profissionais, cursos de curta duração centrados em competências específicas e trabalhos práticos (casos

de estudo, grupos de trabalho, PBL, formação na empresa). O feedback das empresas industriais (o cliente mais importante) é essencial.

- 6) A definição ou revisão das horas de contacto, **incluindo o número de horas para atividades práticas**, deve ser incluída na definição da UC.
- 7) A fim de melhorar a análise sistemática do processo de implementação das UC, é proposta **uma nova tabela de recolha de dados**. Esta deve ser utilizada em conjunto com um novo glossário e uma descrição melhorada das UC, incluindo competências tecnológicas-empresariais-digitais-verdes direcionadas na descrição dos resultados de aprendizagem.
- 8) O alinhamento do IAMQS com o DigiComp e o EntreComp é bastante subjetivo e isto requer uma adaptação inicial destas suas metodologias de competências à AM. Devem ser incluídos nas orientações exemplos claros de como transferir competências digitais, empresariais e ecológicas para a formação (exemplo: aprendizagem baseada em projetos com monitorização regular e abrangendo diferentes áreas de desenvolvimento - modelo de negócio, LCA, ...)

D3.3 Operational guide line on context and training tools

Competence Unit	Subjects	Learning context							Learning tools							
		On-line learning / distance learning	Classroom / presental learning	Laboratory	Internship / in-company training	Blended learning	Teaching factory	Serious games	Augmented reality	Project based learning	Case study	Lecturing	Virtual workshops	Practical activities	Group work	Educational videos and animations
CU 08 (Lente): Additive manufacturing Process Overview	Technology overview Lab visit, equipment, components and parts Process standards Material selection															
CU 11 (Lente): AM with Titanium feedback	AM Design and material Post-processing and industrial factor requirements															

Figura 19 Nova tabela de recolha de dados para monitorização da implementação da UC.

6 Conclusões

Este documento fornece uma visão geral e uma definição (glossário) dos vários contextos de aprendizagem e ferramentas educacionais disponíveis para a formação e educação em AM. Em termos de contextos de aprendizagem, pode ser encontrada uma gama de contextos desde o ensino tradicional em sala de aula até ao ensino em laboratório. Devido à pandemia do CoVid 19, espera-se que a aprendizagem online ganhe um impulso significativo nos próximos anos. As ferramentas de aprendizagem expandiram as capacidades tecnológicas, como já foi referido, e os exemplos incluem agora jogos sérios e paradigmas de TF.

Em geral, pode ser destacado que a aprendizagem AM é limitada nos níveis 2 e 3 do QEQ, mas muitos contextos e ferramentas de formação já estão disponíveis para o ensino, aprendizagem e prática de diferentes tópicos de impressão 3D a nível de mestrado/doutoramento e para o desenvolvimento/aprimoramento profissional.

Verifica-se a necessidade de traduzir os cursos de pós-graduação específicos e avançados para o nível de licenciatura. Além disso, a inclusão de tópicos de AM no ensino secundário (como nos programas de divulgação desenvolvidos pela IMR - Irish Manufacturing Research) seria altamente benéfica para começar a abordar o desenvolvimento de competências em AM numa fase precoce e para aumentar a atratividade das carreiras de engenharia entre os jovens.

Como a impressão 3D é uma tecnologia relativamente nova, o processo de digitalização também já foi incluído em muitos métodos de ensino, como a realidade aumentada ou os serious games. É possível escolher entre um vasto leque de métodos de ensino.

No entanto, tal como descrito neste documento, a atual oferta do mercado educativo a nível da UE coloca a AM como uma disciplina opcional ou secundária dos cursos de Engenharia e não no centro da oferta formativa específica. A forma como o ensino é efetuado depende fortemente dos diferentes focos, das escolas, da audiência esperada, do tópico ou da instituição. Não existe uma forma homogénea de ensino ou aprendizagem que seja atualmente aplicada pelas instituições de ensino. Em geral, o mapeamento dos diferentes contextos e ferramentas de aprendizagem mostrou que uma mistura de dois métodos de formação diferentes (teórico e prático) terá o maior efeito de aprendizagem para o público. Seria interessante desenvolver uma orientação para o contexto de aprendizagem a adotar com uma ferramenta de formação adequada ao público-alvo.

Em termos de contextos de aprendizagem, foi demonstrado que os métodos de ensino são variados, bem como os diferentes tópicos abordados na AM. Uma constatação é clara: há uma falta de sustentabilidade e de atividades de desenvolvimento de competências ecológicas em toda a cadeia de processos, desde o material à peça, aspetos ecológicos, consumo de matérias-primas, etc.

A digitalização da formação é um aspeto que tem sido bastante abordado. Este facto deve-se provavelmente à conjugação da impressão 3D e da indústria 4.0, uma vez que ambos os tópicos funcionam muito bem em conjunto e a indústria 4.0 pode ser exemplificada utilizando a impressão 3D. De facto, a natureza digital inerente à parte inicial do processo de AM presta-se muito bem a esta abordagem - os desafios surgem com o lado "prático".

Em termos de ferramentas de formação, existe uma grande variedade de ferramentas, incluindo as digitais. É claro que há sempre espaço para melhorias. Em termos de recomendação do método correto para o público certo, depende muito do público para o qual o processo ou contexto será ensinado. De um modo geral, na AM existe um grande potencial para combinar recursos didáticos teóricos e práticos, uma vez que já se encontram disponíveis no mercado pequenas máquinas de ensino. Por exemplo, a aprendizagem em linha (que já está a crescer significativamente após a COVID-19) é uma forma eficaz de chegar a um público vasto com muitos tópicos diferentes. No entanto, esta é uma ferramenta de aprendizagem baseada na teoria e, para explorar plenamente o potencial da aprendizagem AM, o ensino online teria de ser acompanhado de uma aprendizagem prática baseada em projetos

durante uma ou duas semanas numa fábrica ou laboratório de ensino. A exploração de um processo de fabrico através da realidade aumentada permite que o aluno aceda a tudo de uma forma menos teórica, mas a experiência prática perde-se e recomenda-se que os alunos experimentem a impressão 3D tocando realmente numa máquina.

Os desafios da formação durante a COVID-19 e a necessidade de formação prática obrigaram as organizações a adaptar, repensar e superar os métodos e práticas de formação. Para resolver este problema, os formadores começaram a experimentar a aprendizagem virtual e a integrar novas tecnologias, como a realidade aumentada e virtual, como ferramentas de formação.

Os Sistemas de Gestão da Aprendizagem (LMS), a microaprendizagem e as credenciais, as atividades interativas online como as sondagens em direto e a IoT, juntamente com o aumento da Realidade Virtual, são alguns dos métodos e ferramentas de formação recentemente introduzidos e utilizados durante o período pandémico e constituem exemplos representativos dos novos métodos e ferramentas. Isto também se verifica na realização dos cursos de formação piloto no âmbito do projeto SAM. As conclusões, recomendações e áreas de melhoria para promover o desenvolvimento das competências técnicas, empresariais, digitais e ecológicas necessárias para as futuras competências dos profissionais de AM são incluídas após a análise inicial das atividades de implementação piloto realizadas pelos parceiros SAM e com base no contraste com a indústria e o grupo de peritos.

7 Referências

1. **Projects, diva - Good Practice for Dissemination and Valorization of Educational.** *Handbook for Dissemination, Exploitation and Sustainability of Educational Projects.* 2009.
2. <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>. *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities.* 2019.
3. **Deloitte.** *3D opportunity for the talent gap additive manufacturing and the workforce of the future.* s.l. : <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/3d-opportunity/3d-printing-talent-gap-workforce-development.html>, 2016.
4. **Smartechanalysis.** *Additive Manufacturing Market Outlook and Summary of Opportunities.* s.l. : <https://www.smartechanalysis.com/reports/2019-additive-manufacturing-market-outlook/>, 2019.
5. **SME.** *Experts in Demand: Growth in Metal AM Creates Need for Professionals.* s.l. : <https://www.smeef.org/globalassets/sme.org/media/white-papers-and-reports/2018-metal-am-report.pdf>, 2018.
6. **Politecnico di Milano.** https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712407&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=970af81f61136d26e36e7b9cab36ec13. Milan : s.n.
7. **Politecnico di Milano.** https://www11.ceda.polimi.it/schedaincarico/schedaincarico/controller/scheda_pubblica/SchedaPublic.do?&evn_default=evento&c_classe=712938&polij_device_category=DESKTOP&__pj0=0&__pj1=c3669a9cf7c244db392372c11e3c7b06. Milan : s.n.
8. *A framework for teaching the fundamentals of additive manufacturing and enabling rapid innovation.* **Go, Jamison, Hart A. John.** 2016, *Additive Manufacturing*, Vol. 10, pp. 76-87.
9. *Preparing industry for additive manufacturing and its applications: Summary & recommendations from a National Science Foundation workshop.* **Simpson, Timothy; Williams, Christopher and Hripko, Michael.** 2017, *Additive Manufacturing*, Vol. 13, pp. 166-178.
10. *A view on Future Challenges & Goals.* **Chryssolouris, George & Mavrikios, Dimitris & Papakostas, Nikolaos & Mourtzis, Dimitris.** 2006, *Education in Manufacturing Technology & Science.*
11. *The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm.* **Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L.** doi:10.1016/j.procir.2016.11.009, 2016, *Procedia CIRP*, Vol. 57, pp. 44-48.
12. *Serious Games – An Overview.* **T. Susi, M. Johannesson and P. Backlund.** 2005, Tech. Rep.
13. *Serious games...and less!* **Blackman, Sue.** DOI:<https://doi.org/10.1145/1057792.1057802>, 2005, *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol. 39, pp. 12-16.
14. *A Virtual Reality Application for Additive Manufacturing Process Training.* **Renner, Alex, Holub, Joseph, Sridhar, Shubang, Evans, Gabe, and Winer, Eliot.** 2017, *Proceedings of the ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers.*

8 Glossário

ANEXO 1: GLOSSÁRIO DE TERMOS RELATIVOS AO CONTEXTO DE APRENDIZAGEM E AOS INSTRUMENTOS DE APRENDIZAGEM

Contexto de aprendizagem: é o local onde a aprendizagem tem lugar¹.

O contexto é o conjunto de circunstâncias que são relevantes para o estudante construir conhecimento quando se refere ao conteúdo².

Conteúdo de aprendizagem: Os recursos utilizados no ensino e na aprendizagem para atingir os objetivos de aprendizagem desejados³.

Ensino à distância: os alunos utilizam material didático (impresso e eletrónico) e recebem instruções do professor em momentos diferentes. Pode ser em tempo real, utilizando o Microsoft Teams, o Blackboard Collaborate, o Zoom e/ou alternativas semelhantes, ou com flexibilidade de horários. Assim, espera-se que os alunos estejam por vezes disponíveis para ter aulas de forma síncrona. O trabalho efetuado pelos alunos é verificado digitalmente pelo professor^{4,5,6}. Muitas vezes também incluem workshops presenciais, escolas de verão ou "residências" como parte do programa do curso⁷.

Aprendizagem online: Ensino não presencial. Não se espera que os alunos estejam disponíveis num dia ou hora específicos para receberem instruções do professor na sala de aula⁸. Os estudantes têm acesso a um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA), como o Moodle ou o Dokeos. O AVA funciona como um meio de comunicação e uma ferramenta de aprendizagem interativa. Algumas entidades fornecem apoio de tutores aos estudantes que frequentam o programa. Estes tutores podem ser contactados por correio eletrónico ou Skype, sempre que necessário^{3,4,5}.

Aprendizagem em sala de aula: aprendizagem presencial. O ambiente de aprendizagem é criado dentro das paredes físicas de uma sala de aula, onde os alunos e o professor se encontram fisicamente.

- **Aulas teóricas:** um tipo de aula presencial em que o professor fala sobre um assunto durante um longo período. Pouca interação entre o professor e os alunos. Método unidirecional⁸.
- **Seminários:** um tipo de aula presencial em que os alunos se revezam para dar a sua opinião sobre um assunto à turma. Os alunos discutem o que aprenderam com a aula⁹.
- **Workshop:** um tipo de aula presencial semelhante a seminários em que os alunos falam e o professor modera a discussão sobre um assunto específico. O workshop envolve exercícios mais interativos para incentivar a comunicação entre os participantes e pode durar um dia inteiro ou vários dias⁸.

Laboratório: atividades práticas sobre um tema estudado na aula. Os alunos aprendem através da experiência e da prática que aprenderam na aula teórica, trabalhando em colaboração ou individualmente.

Estágio numa empresa: uma experiência de trabalho de curta duração oferecida pelas empresas aos estudantes para que estes adquiram conhecimentos básicos sobre um determinado sector ou domínio. O estudante desenvolve as suas competências pessoais e pessoais¹⁰.

Formação na empresa/formação no local de trabalho: abordagem prática ou curso de formação para adquirir novas competências e aptidões necessárias para um emprego ministrado pela empresa a um grupo-alvo de trabalhadores¹¹.

Aprendizagem mista: aprendizagem que combina a aprendizagem presencial e a aprendizagem em linha. Os conteúdos em linha variam entre 30 % e 80 %.

Ferramenta de aprendizagem: um instrumento concebido para ser utilizado pelos aprendentes para fornecer uma estrutura para o desenvolvimento de competências e comportamentos de aprendizagem e/ou para recolher e refletir sistematicamente sobre informações fundamentais¹².

Teaching Factory: é um conceito que incorpora o ambiente de aprendizagem e de trabalho a partir do qual surgem experiências de aprendizagem realistas e relevantes. Segue um canal de transferência de conhecimentos bidirecional, em que os tópicos de fabrico são a base para novos modelos de sinergia entre o meio académico e a indústria. O intercâmbio de novas ideias e soluções entre o meio académico e a indústria permite equilibrar o tempo e os custos necessários para aprender e testar soluções para problemas de fabrico e aprofundar os conhecimentos da indústria e do meio académico através da inovação na produção ou de problemas da vida real. Existem dois esquemas operacionais: "da fábrica para a sala de aula" e "do meio académico para a indústria". O conceito "da fábrica para a sala de aula" visa transferir o ambiente real de fabrico para a sala de aula, enquanto o conceito "do meio académico para a indústria" visa transferir os conhecimentos do meio académico para a indústria¹³.

Jogos sérios: Os jogos sérios combinam estratégias de aprendizagem, conhecimentos e estruturas, e elementos de jogo para ensinar competências, conhecimentos e atitudes específicos. São concebidos para resolver problemas em várias áreas e envolvem desafios e recompensas, utilizando as componentes de entretenimento e envolvimento proporcionadas quando o utilizador joga jogos¹⁴. Na educação, os jogos são utilizados para ensinar matérias específicas através de exercícios e simulações gamificadas. Neste caso, são também conhecidos como "jogos educativos".

Realidade aumentada: A Realidade Aumentada (RA) é uma tecnologia que permite a sobreposição de elementos virtuais à nossa visão da realidade. Isto é conseguido através da utilização de elementos visuais digitais, som ou outros estímulos sensoriais fornecidos através da tecnologia¹⁵. Esta tecnologia pode permitir que os professores mostrem exemplos virtuais de conceitos e adicionem elementos de jogos para apoiar o material dos manuais escolares. Deste modo, os alunos aprendem mais rapidamente e memorizam a informação¹⁶.

Aprendizagem baseada em projetos: A Aprendizagem Baseada em Projetos é um método de ensino em que os alunos adquirem conhecimentos e competências trabalhando durante um longo período para investigar e responder a uma questão, um problema ou um desafio autêntico, cativante e complexo¹⁷.

Casos de estudo: Um estudo de caso é um relato de uma atividade, evento ou problema que contém uma situação real ou hipotética e inclui as complexidades com que se depara no local de trabalho. Os casos de estudo são utilizados para ajudar os alunos a ver como as complexidades da vida real influenciam as decisões. A análise de um estudo de caso exige que os alunos pratiquem a aplicação dos seus conhecimentos e das suas capacidades de raciocínio a uma situação real¹⁸. Para aprender com a análise de um estudo de caso, os alunos estarão a "analisar, aplicar conhecimentos, raciocinar e tirar conclusões" (Kardos & Smith 1979).

Aula teórica: um tipo de aula presencial em que o professor fala sobre um assunto durante um longo período. Pouca interação entre o professor e os alunos. Método unidirecional⁹.

Software de simulação: software baseado no processo de modelação de um fenómeno real através de um conjunto de fórmulas matemáticas. É, essencialmente, um programa que permite ao utilizador observar uma operação através de simulação sem a executar num ambiente não virtual. O software de simulação é amplamente utilizado para conceber equipamentos, de modo que o produto final se aproxime o mais possível das especificações do projeto, sem alterações dispendiosas do processo¹⁹. Este software gera modelos para apoiar as decisões de gestores

e engenheiros, bem como para fins de formação. As técnicas de simulação facilitam a compreensão e a experimentação, uma vez que os modelos são visuais e interativos²⁰.

Atividades práticas: Qualquer atividade que permita aos alunos ter uma ligação direta, muitas vezes prática, com os fenómenos que estão a estudar²¹.

Trabalho de grupo: método de ensino que leva os alunos a trabalhar em grupo. Exige que os alunos se envolvam em atividades de aprendizagem dentro do mesmo grupo durante um período, enquanto trabalham numa tarefa substancial com um resultado partilhado (por exemplo, um relatório ou um projeto)²².

Vídeos e animações educativas: vídeos e animações utilizados como ajuda visual para facilitar a aprendizagem. São utilizados pelos educadores para tornar os conteúdos cativantes, fáceis de compreender e emocionalmente acessíveis a todos os tipos de alunos. Estes recursos permitem explicar ideias complexas de uma forma simples. Mantêm os alunos concentrados no conteúdo e criam uma experiência distinta que os alunos têm mais probabilidades de recordar^{23,24}.

1 <https://www.igi-global.com/dictionary/ubiquitous-learning-supporting-systems/16847>

2 Figueiredo, Antonio Dias de. (2005). Learning Contexts: A Blueprint For Research. Interactive Educational Multimedia, ISSN 1576-4990, Nº. 11, 2005, pags. 127-139.

3 <https://www.igi-global.com/dictionary/enhancing-student-agency-as-a-driver-of-inclusion-in-online-curriculum-pedagogy-and-learning-content/67168>

4 <https://www.thecriticalthinkingchild.com/the-difference-between-remote-learning-e-learning-distance-learning-and-at-home-schooling/>

5 Moore, J.L., et al., e-Learning, online learning, and distance learning environments: Are they the same?, Internet and Higher Education (2010), doi:10.1016/j.iheduc.2010.10.001

6 <https://www.aeseducation.com/blog/online-learning-vs-distance-learning>

7 <https://www.staffordglobal.org/articles-and-blogs/whats-the-difference-between-online-and-distance-learning/>

8 <https://wintersession.uconn.edu/2020/11/05/online-vs-distance-learning-whats-the-difference/#>

9 <https://www.studentassembly.org/seminar-vs-lecture-course-vs-class-terms-youll-need-to-survive-college/>

10 <https://www.themuse.com/advice/what-is-an-internship-definition-advice>

11 <https://www.valamis.com/hub/on-the-job-training>

12 "Faculty Guidebook- A comprehensive tool for improving faculty performance". Chapter: 3.4.1 Overview of Effective Learning Tools by Carol Nancarrow (English, Sinclair Community College). 4th Edition Project Directors. Steven W. Beyerlein, Carol Holmes, Daniel K. Apple.

13 G. Chryssoulouris, D. Mavrikios, L. Rentzos, "The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm", Procedia CIRP, Volume 57, 2016, Páginas 44-48, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>.

14 <https://grendelgames.com/what-are-serious-games/>

15 <https://www.investopedia.com/terms/a/augmented-reality.asp>

16 <https://elearningindustry.com/augmented-reality-in-education-staggering-insight-into-future>

17 <https://www.pblworks.org/what-is-pbl>

18 <https://www.student.unsw.edu.au/writing-case-study-report-engineering>

19 <https://www.youtube.com/watch?v=EF9v-P0dDg4>

20 <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-simulation#WhatDoesitMean>

21 The National Strategies, 2008

22 <https://www.teaching.unsw.edu.au/group-work>

23 <https://elearningindustry.com/video-learning-animation-styles-and-best-practices-to-follow>



24 <https://elearningindustry.com/how-animation-based-learning-can-benefit-online-courses>