



Considerar os efeitos da educação online no ambiente na UE

Este estudo foi iniciado no âmbito do projeto Erasmus+ **Green IT for VET Providers**



Considerar os efeitos ambientais da educação online na UE

ÍNDICE

Introdução	03
Motivações	10
Metodologia qualitativa	14
Inquérito	21
Metodologia de avaliação do impacto	27
Criar o cenário	35
Resultados	46
Recomendações	70
Conclusão	73
Referências	74
Apêndice	86

01. Introdução

Cada passo que damos deixamos uma pegada

Hoje em dia, cada ficheiro tem uma versão digital da sua versão analógica, e esta conversão chama-se digitalização. Todos os indivíduos, organizações e setores adotaram este método e migraram a informação necessária para ambientes digitais. Os fornecedores de EFP são também um dos beneficiários desta tecnologia. No entanto, todas as oportunidades têm um impacto, todos os passos que damos deixam uma pegada e, no mundo digital, isso traduz-se num impacto ambiental.

Green IT for VET

O ensino à distância é regularmente citado como uma oportunidade para reduzir os impactos ambientais da educação, reduzindo a necessidade de deslocação de e para o local de aprendizagem e reduzindo as instalações de ensino. De acordo com o

SMARTer 2030 (n.d.), a formação independente da localização poderia permitir poupar 5 mil milhões de litros de combustível em deslocações e mais de 90 milhões de toneladas de papel. No entanto, estes números são muito controversos, tanto no âmbito do estudo como nas metodologias adotadas (Roussilhe, 2021). Com efeito, foram identificadas limitações significativas nestes estudos (Longaretti et al., 2021; Rasoldier et al., 2022), tais como a extrapolação de dados estatísticos não representativos ou a utilização de pressupostos demasiado otimistas.

A prioridade do setor do EFP era digitalizar os materiais de aprendizagem para melhorar a aprendizagem digital, mas agora este setor tem de considerar o impacto ambiental causado por esta tecnologia, que acelerou desde a crise da COVID-19. Por conseguinte, os prestadores de EFP têm de efetuar mudanças estratégicas e organizacionais para implementar um processo de formação digital sustentável e desenvolver conteúdos de formação digital.

O Green IT for VET (GIVE) é um projeto Erasmus+ com uma duração total de 24 meses. Este projeto é implementado por quatro parceiros diferentes de três países europeus: França, Portugal e Bélgica.



01. Introdução

Parceiros do projeto

GIVE

visa reduzir o impacto ambiental da aprendizagem digital, promover competências digitais ecológicas para os prestadores de EFP e contribuir para a inovação no EFP. Para atingir o seu objetivo, o projeto desenvolveu uma primeira metodologia clara para os fornecedores de EFP sobre o impacto ambiental da aprendizagem digital.

My Training Box é um fornecedor francês de soluções de formação digital. A sua gama de soluções inclui Sistemas de Gestão da Aprendizagem, conteúdos de formação digital (vídeo, podcast, texto, avaliações) e consultoria. Um dos seus produtos digitais é a My Green Training Box, a primeira plataforma de streaming de formação digital de acesso livre sobre desenvolvimento sustentável que se centra em várias áreas, como a agricultura, a construção ecológica e outras. O outro parceiro francês é a Hubblo, uma empresa especializada na avaliação do impacto ambiental de serviços e sistemas digitais. A Hubblo desenvolve e baseia-se em métodos abertos, dados e ferramentas de código aberto. A COFAC é uma cooperativa sem fins lucrativos, responsável pela gestão da Universidade Lusófona em Portugal. A universidade oferece um grande número de cursos de formação profissional e contínua de acordo com o paradigma de desenvolvimento da aprendizagem ao longo da vida. A EVTA (Associação Europeia de Formação Profissional), da Bélgica, é o resultado da cooperação entre fornecedores de EFP de diferentes países da UE no âmbito do projeto Euroqualification. Tornou-se uma importante parte interessada no domínio do desenvolvimento do capital humano, participando em várias mesas de cooperação e harmonização, prestando

apoio às suas organizações membros e assegurando que as suas necessidades e expectativas são satisfeitas. Centra-se no desenvolvimento do ensino e formação profissionais no âmbito do quadro delineado pela Europa 2020.

O GIVE tem por objetivo reduzir o impacto ambiental da aprendizagem digital, promover competências digitais ecológicas para os prestadores de EFP e contribuir para a inovação no EFP. Para atingir o seu objetivo, o projeto desenvolveu uma primeira metodologia clara para os fornecedores de EFP sobre o impacto ambiental da aprendizagem digital. Para tal, o primeiro passo consistiu em realizar a primeira investigação de sempre sobre as práticas dos profissionais do setor do EFP relacionadas com o desenvolvimento e a implementação da aprendizagem digital em termos de impacto ambiental. Posteriormente, elaborou-se este livro branco para melhorar as competências ecológicas dos fornecedores de EFP com base nos resultados do estudo. Trata-se de TI ecológicas para o setor do EFP e sobre como criar formação digital tendo em conta o seu impacto ambiental.

Além disso, será criado um curso de formação para desenvolver competências ecológicas nos intervenientes do setor do EFP. Através deste livro branco e do curso de formação, pretendemos sensibilizar o setor do ensino e formação profissional e apoiar os professores e formadores na aquisição de competências ecológicas. O curso de formação pode ser acedido gratuitamente por qualquer pessoa através da plataforma My Green Training Box^[1].

[1] www.mygreentrainingbox.com

02. Motivações

2.1 Os impactos das TIC

Impactos diretos

Apesar da sua aparente imaterialidade, as tecnologias da informação e comunicação (TIC) têm impactos ambientais importantes que não podem ser negligenciados. Com efeito, os serviços digitais dependem de ativos físicos, que são responsáveis por danos ambientais. Num estudo europeu publicado em 2021 para o grupo parlamentar europeu dos Verdes/ALE, foi avaliado que as TIC representam 4,2% das emissões europeias de GEE. A utilização^[2] das TIC representou 9,3% do consumo de eletricidade na Europa. Mais problemático é o facto de estes impactos estarem a aumentar rapidamente e poderem atingir 6 a 8% das emissões globais de gases com efeito de estufa em 2025.

Os impactos ambientais das TIC ocorrem em todas as fases do ciclo de vida dos equipamentos e infraestruturas de TI. Essas etapas são, geralmente, descritas da seguinte forma aquisição de matérias-primas, que corresponde aos impactes relacionados com a extração e produção de matérias-primas, fase de fabrico, que corresponde aos impactos da produção do produto final a partir de matérias-primas, transporte, que corresponde ao transporte do produto final para o seu local de utilização, fase de utilização, que corresponde aos impactos induzidos pela utilização dos produtos - no contexto das

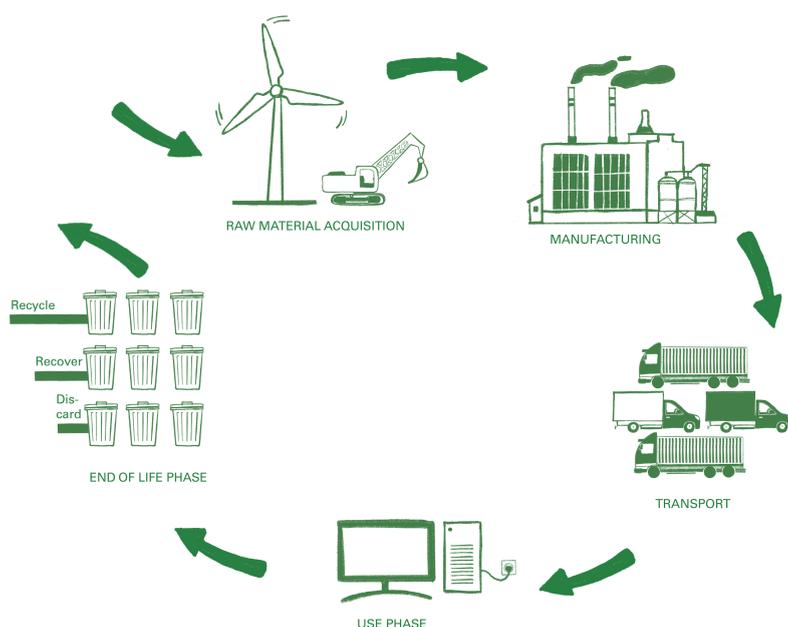


Figura 1. Diagrama do ciclo de vida

TIC, os impactos relacionados com a utilização são, maioritariamente, induzidos pelo consumo de eletricidade - e, finalmente, a fase de fim de vida, que corresponde aos impactos associados com o tratamento de resíduos - sejam eles reciclados, recuperados ou descartados. Na Europa, 53% das emissões de gases verdes dos dispositivos do utilizador final ocorrem fora da fase de utilização. Assim, é obrigatório ter em conta todas estas fases do ciclo de vida para contabilizar plenamente os impactos de um produto ou serviço digital.

[2] Fase de utilização dos equipamentos e infraestruturas em solo europeu.

Os impactos das TIC

2.1.1 Impactos diretos

65,6%

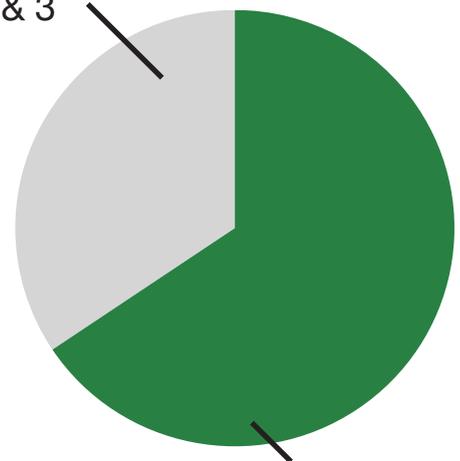
das emissões de gases com efeito de estufa das TIC na Europa são atribuídas ao equipamento de utilizador final.

Os impactos ambientais das TIC ocorrem em toda a sua cadeia de valor. Um dos elementos mais significativos que afetam a cadeia de valor é o impacto do equipamento do utilizador final. Na Europa, os equipamentos de utilizador final são responsáveis por 65,6% das emissões de gases com efeito de estufa das TIC. Mas há outros elementos da cadeia de valor que também devem ser considerados, como o impacto relacionado com as infraestruturas de rede (NÍVEL 2) e, finalmente, o centro de dados (NÍVEL 3), que são ambos responsáveis pelos restantes 34,4% das emissões de gases com efeito de estufa das TIC na Europa. Note-se que estes números apenas têm em conta as infraestruturas presentes na Europa. As TIC são uma cadeia de valor globalizada e muitos serviços utilizados na Europa estão alojados fora dela. Como tal, é provável que os impactos relacionados com o NÍVEL 3 estejam subestimados.

Por último, os impactos ambientais das TIC não se limitam às emissões de gases com efeito de estufa. Na realidade, as TIC são um grande consumidor de recursos fósseis e minerais não renováveis. A fase de fabrico do equipamento informático envolve muitos tipos de minerais, que concorrem com outros setores, como o das energias

renováveis. É essencial ter em conta estes impactos para compreender todos os efeitos ambientais induzidos pelas tecnologias digitais. Este estudo centrar-se-á nas emissões de gases com efeito de estufa para ter em conta o aquecimento global, devido à falta de dados ambientais públicos para o nosso perímetro. **No entanto, os leitores devem ter em mente que a aprendizagem digital causará mais danos ambientais e que devem ser implementadas soluções para os reduzir sem omitir estes outros impactos.**

NÍVEL
2 & 3



NÍVEL 1
impacto do
equipamento
do utilizador
final

Os impactos das TIC

2.1.2 Efeitos de facilitação

As TIC são frequentemente apresentadas como uma forma de reduzir os impactos ambientais de outros setores. Estes tipos de efeitos foram definidos por diferentes nomes, como efeito de facilitação, efeito de redução, impactos positivos ou âmbito4.

Podemos definir dois mecanismos principais através dos quais as TIC podem reduzir os impactos ambientais de outras atividades: **o efeito de otimização**, que corresponde à redução do impacto de um processo de referência através da integração de componentes de TI e **o efeito de substituição**, que corresponde à digitalização de um processo poluente.

A medição desses efeitos está fora do âmbito deste estudo porque as metodologias para os ter em conta são ainda muito incipientes. Ainda assim, decidimos identificar os potenciais benefícios ambientais da aprendizagem digital e discuti-los na parte qualitativa do nosso estudo.

Exemplo de substituição

Um contador inteligente pode substituir as leituras manuais de energia, reduzindo a necessidade de um carro para deslocar um agente.

Exemplo de otimização

Um GPS permite otimizar o tempo e a distância de uma viagem, induzindo uma possível redução do consumo de combustível associado a essa viagem.

Os impactos das TIC

2.1.3 Efeitos indiretos

Por último, os efeitos indiretos das TIC são fenómenos socioeconómicos que ocorrem em consequência da implantação e utilização de produtos ou serviços digitais. Os impactos associados podem ser suportados pelo próprio produto ou serviço ou por sistemas externos como consequência da implantação ou da utilização do serviço.

No centro da literatura sobre este tema, o "**efeito de ricochete direto**" corresponde a um aumento do consumo de uma tecnologia devido a uma maior eficiência (custo, impactos, complexidade, recursos...). O efeito de ricochete direto reduz o efeito de redução de uma tecnologia, compensando-o com um aumento da sua utilização. A capacidade das TIC para acelerar a transformação dos padrões de produção e consumo é responsável por vários efeitos de ricochete descritos na literatura (Bieser & al. 2018; Gossart, 2015). Além do mais, o **ricochete indireto** corresponde ao consumo excessivo de outro produto ou serviço devido à redução de uma restrição (preço, tempo, complexidade, etc.) no serviço estudado, conseguida através de componentes informáticos.

Outros efeitos indiretos foram descritos na literatura, como a repercussão em toda a economia ou a transformação sistémica (Horner & al., 2016).

Exemplo de ricochete direto

A facilitação das deslocações possibilitada pelo GPS pode levar a um aumento absoluto das deslocações.

Exemplo de ricochete indireto

As poupanças permitidas pela otimização do consumo de aquecimento através de termóstatos ligados podem ser utilizadas para comprar produtos ou serviços com maior impacto.

Os impactos das TIC

2.1.3 Efeitos indiretos

A digitalização parece induzir muitos efeitos indiretos (Börjesson & al., 2014) (Horner & al., 2016) (Hilty & al., 2015). Atualmente, não é claro como identificar estes efeitos e avaliar a sua magnitude, quer a uma escala global quer a uma escala específica de serviço. No entanto, os seus impactos ambientais podem ser mais significativos do que os seus impactos diretos (Hilty, 2018). As análises de impacto global nunca os têm em conta; poucas análises mais restritas os incluem. Não existe consenso sobre as metodologias a utilizar para identificar, avaliar e conter os efeitos indiretos da digitalização. Estas incertezas tornam qualquer conclusão sobre os benefícios da digitalização muito limitada (Santarius & al., 2020).

Propomos utilizar a classificação de Horner & al. (2016), detalhada no Quadro 1. Acrescentamos o efeito de empilhamento induzido pela substituição parcial de um processo de referência - uma parte do produto ou serviço digitalizado é empilhada sobre o existente sem o substituir, resultando num aumento absoluto dos impactos. A medição dos impactos induzidos por estes efeitos está fora do âmbito do estudo. Em primeiro lugar, porque os estudos existentes que abordam o

tema são muito preliminares e, em segundo lugar, porque seria necessário analisar os sistemas externos afetados por esses efeitos, o que implica um estudo mais global.

Ainda assim, identificar os efeitos indiretos da digitalização é um passo preliminar para futuras avaliações. Além disso, proporciona uma visão mais alargada dos impactos induzidos pela aprendizagem digital e ajudar-nos-á a estabelecer recomendações para nivelar os impactos induzidos por esses efeitos, mesmo que não possam ser medidos.

Determinar o impacto líquido de uma solução é, portanto, muito complicado. Ainda assim, para dar uma visão ampla dos resultados da aprendizagem digital na Europa, optámos por apresentar os impactos diretos, os impactos de facilitação e os impactos indiretos. Os impactos diretos serão avaliados em termos de emissões de gases com efeito de estufa. Os efeitos indiretos e de capacitação serão discutidos na parte qualitativa do nosso trabalho.

09

Quadro 1. A classificação atribuída por Horner & al. (2016)

Efeito	Fonte
Eficiência/Otimização	Horner & al. (2016)
Substituição	Horner & al. (2016)
Efeito de empilhamento	-
Ricochete direto	Horner & al. (2016)
Ricochete indireto	Horner & al. (2016)
Ricochete em toda a economia (Mudança estrutural)	Horner & al. (2016)
Transformação sistémica	Horner & al. (2016)

02. Motivações

2.2 Aprendizagem digital

O que é a aprendizagem digital?

No âmbito do projeto GIVE, definimos a aprendizagem digital como todas as atividades de ensino e aprendizagem que requerem tecnologias digitais. Essas atividades podem ser síncronas ou assíncronas e à distância ou presenciais.

Todos os processos de ensino e aprendizagem incluem ativos digitais:

- Autoaprendizagem num sistema de gestão da aprendizagem (LMS)
- Cursos de formação online por videoconferência
- Blended learning
- Cursos presenciais com computador portátil ou quadro interativo
- .../...

Para o setor do ensino e formação profissional (EFP), a tecnologia digital é, sem dúvida, um vetor de progresso. A aprendizagem ao longo da vida faz sentido graças ao acesso a conteúdos online através de MOOC, plataformas de ensino à distância, conferências online e repetições de numerosos webinars.

As ferramentas de videoconferência e de ensino à distância ajudaram a limitar o abandono escolar em massa durante a recente crise sanitária. A realidade virtual permite a aprendizagem de gestos técnicos muito precisos através da repetição num ambiente seguro. A inteligência artificial permite que os cursos de formação sejam individualizados e adaptados ao aprendente. A tecnologia digital é igualmente útil para a transição ecológica, graças, por exemplo, a aplicações destinadas a otimizar o consumo de energia. Mas a tecnologia digital também tem um impacto e a sua pegada ambiental está a aumentar todos os anos.

Podemos imaginar que a aprendizagem digital tem menos impacto do que a formação presencial, porque já não há transportes - a não ser que o aprendente tenha de se deslocar para fazer o curso de formação digital -, já não há papel - a não ser que o aprendente imprima os materiais do curso - e já não há salas de formação para aquecer no inverno ou ventilar no verão - a não ser que cada participante aqueça ou ventile a sua própria casa.

Devido à grande variedade de circunstâncias, a linha é ténue e a aprendizagem digital deve ser considerada no seu sentido mais lato.

02. Motivações

2.3 Aprendizagem digital responsável

A aprendizagem digital sustentável faz parte de uma abordagem mais ampla que inclui os pilares do desenvolvimento sustentável e as noções de RSE para propor uma tecnologia digital que tenha menos impacto no planeta, mas que seja também mais acessível a todos e que ofereça valor. Estes são os pilares:

A acessibilidade dos nossos conteúdos digitais

A acessibilidade digital é uma noção fundamental destacada pelas Diretrizes de Acessibilidade para os Conteúdos Web (WCAG). Tornamos os nossos conteúdos e cursos de aprendizagem digital perceptíveis, adaptáveis, distinguíveis, operáveis, navegáveis, compreensíveis e compatíveis para todos os utilizadores?

O impacto ambiental dos nossos conteúdos digitais

Desenvolver conteúdos digitais e práticas de aprendizagem menos impactantes para o planeta que tenham em consideração as melhores práticas digitais sustentáveis para implementar uma aprendizagem digital sustentável.

O ciclo de vida dos nossos conteúdos digitais

Determinar o Ciclo de Vida de um curso de formação digital é útil para compreender e gerir os cursos de aprendizagem digital desde a sua criação até ao fim da sua vida.

Por fim, o objetivo continua a ser criar valor pedagógico através dos nossos conteúdos de formação digital e permitir que os formandos melhorem os seus conhecimentos e competências. As gerações de formandos e os métodos mudaram e nós temos de nos adaptar. Não vamos retroceder no digital e não vamos “recriar” a escola do século passado. Mas pensemos em conteúdos digitais mais simples, sem implementar produções digitais de grande impacto, e colocando o nosso conhecimento e a nossa pedagogia no seu cerne.

02. Motivações

2.4 Estudos existentes

Vários estudos têm discutido os impactos ambientais da educação, especialmente no ensino superior (ES). Numa revisão sistemática da literatura, Valls-Val & Bovea (2021) referiram um impacto por estudante do ensino superior entre 0,06 e 10,94 tCO₂ eq. Quando consideradas as publicações, as deslocações dos estudantes são uma das fontes mais importantes de emissões de carbono, sendo, em média, a primeira ou a segunda fonte de impacto (Valls-Val & Bovea, 2021) (Filimonau & al, 2020). In Deutschland, Marieke & al. (2018) mostraram que 40 a 90% dos impactos das instituições de ensino superior podem ser atribuídos às deslocações dos estudantes. Numa análise qualitativa, mostraram posteriormente a importância de se concentrar na motivação dos estudantes para escolherem o seu meio de transporte como primeiro passo para a redução dos impactos do ensino superior. (Marieke & al. (2020)

Curiosamente, poucos estudos relacionados com o ensino superior consideraram o equipamento eletrónico na sua análise ambiental. Auger & al. (2021) desenvolveram uma ferramenta configurável para modelar as emissões de carbono induzidas por um estudante do ensino superior durante um ano. Tentam ter em conta as atividades digitais, considerando apenas os impactos diretos do carbono do equipamento do utilizador final. Por outro lado, vários estudos consideraram especificamente os impactos ambientais das plataformas digitais de aprendizagem.

Considerando os impactos da educação, outros estudos centraram-se na oportunidade dada pela aprendizagem digital para reduzir os seus impactos. A aprendizagem digital é frequentemente designada por aprendizagem online ou aprendizagem à distância. Estas formulações podem ter significados diferentes consoante o autor. Foram dadas diferentes definições para classificar estes diferentes tipos de processos de

aprendizagem. Para alguns, a aprendizagem digital é definida pela distância entre os participantes, enquanto para outros é a proporção de conteúdos entregues online que caracteriza a aprendizagem digital. Allen & al (2003), por exemplo, definiram três tipos de aprendizagem online em função da proporção de conteúdos entregues online (Quadro 2). A aprendizagem digital pode também ser definida como a utilização de serviços ou equipamentos digitais no contexto da aprendizagem. Se assim definida, poder-se-ia argumentar que a prevalência de serviços e equipamentos digitais no ambiente educativo dos países desenvolvidos faz com que a grande maioria do processo educativo já esteja, de alguma forma, digitalizado.

02. Motivações

2.4 Estudos existentes

Quadro 2. Definição de aprendizagem online dependendo da proporção de conteúdos online Allen & al. 2003

Proporção de conteúdos entregues online	Tipo de curso	Descrição normal
1 a 29%	Facilitado pela Web	Curso que utiliza tecnologia baseada na Web para facilitar o que é essencialmente um curso presencial. Pode utilizar o Blackboard ou o WebCT para publicar o programa de estudos e os trabalhos, por exemplo.
30 a 79%	Blended/Híbrido	Curso que é uma mistura de curso online e presencial. Uma parte substancial dos conteúdos é ministrada online, recorre normalmente a debates online, tem normalmente algumas reuniões presenciais
80+%	Online	Um curso em que a maior parte dos conteúdos é ministrada online. Normalmente, não tem reuniões presenciais.

A redução potencial permitida pela aprendizagem digital depende da sua capacidade de substituir as deslocações dos participantes ou de otimizar o consumo de energia relacionado com as instalações de ensino. Várias publicações têm discutido os impactos líquidos da aprendizagem digital. Enquanto algumas referem apenas as emissões evitadas, outras têm em conta os novos impactos diretos induzidos pela aprendizagem digital. Num estudo comparativo entre um período normal e um período de confinamento numa universidade do Reino Unido, Filimonau & al (2020) relataram uma redução dos impactos inferior à prevista devido a uma

quantidade fixa de recursos necessários para manter a universidade a funcionar (sala de informática, serviços gerais, etc.) e novas emissões induzidas pelo alojamento de estudantes e pessoal (aquecimento, dispositivos digitais, ...). Além disso, é importante notar que a substituição da aprendizagem tradicional pela aprendizagem digital se revelou incompleta (Filimonau & al, 2020) (Marieke & al., 2020). Coroama & al. (2020) sublinharam a importância de ter em conta a substituição parcial quando se efetua uma análise líquida. Da literatura analisada, embora alguns estudos tenham mencionado a importância de ter em

conta os impactos indiretos da aprendizagem digital (Caird & al., 2015), nenhum estudo os integrou. No entanto, alguns estudos abordaram os impactos indiretos relacionados com um processo semelhante: o escritório em casa ou o teletrabalho (ADEME, 2020).

Finalmente, o potencial ganho ambiental resultante da aprendizagem digital deve ser equilibrado pelas suas implicações sociais. A fim de ter em conta estas implicações sociais, Marieke & al. (2018) agregaram os prós e os contras relacionados com a sua implantação, de acordo com os profissionais.

03. Metodologia qualitativa

Na secção seguinte, apresentamos a metodologia que foi seguida durante a parte qualitativa do nosso trabalho.

Os principais objetivos do nosso estudo qualitativo são (1) identificar comportamentos de utilização heterogéneos na Europa relativamente à aprendizagem digital, de modo a incluí-los no nosso inquérito e no nosso modelo de impacto configurável, e (2) identificar alterações nos padrões de consumo ou de produção (ou seja, efeitos indiretos) induzidos pela aprendizagem digital.

Como estamos a realizar uma investigação exploratória, não queremos pressupor uma definição demasiado ampla dos serviços de aprendizagem digital. No entanto, ainda assim, necessitamos de alguns elementos para lançar o estudo. Por exemplo, temos de identificar as partes interessadas que devem ser convidadas para as discussões.

3.1 Definir o âmbito do estudo

3.1.1 Fases da vida

Mesmo que o estudo seja orientado por uma análise qualitativa da utilização, isto não significa que se estude apenas a fase de "utilização" do sistema. Estudos salientaram a importância dos impactos das outras fases de utilização (fabrico, fim de vida, transporte). É fundamental analisar todas as etapas do ciclo de vida do serviço objeto de investigação para evitar transferências de poluição^[3] de uma fase para outra.

3.1.2 Identificação das partes interessadas

Não queremos presumir excessivamente sobre o âmbito do processo em estudo, uma vez que este é um resultado da análise qualitativa. No entanto, para discutir a utilização do serviço em estudo, temos de identificar as partes interessadas envolvidas no processo. Realizámos uma entrevista primária com professores universitários, alunos universitários e fornecedores de plataformas envolvidos no projeto GIVE. Identificámos algumas ligações entre eles com vista a orientar as nossas perguntas (Figura 2).

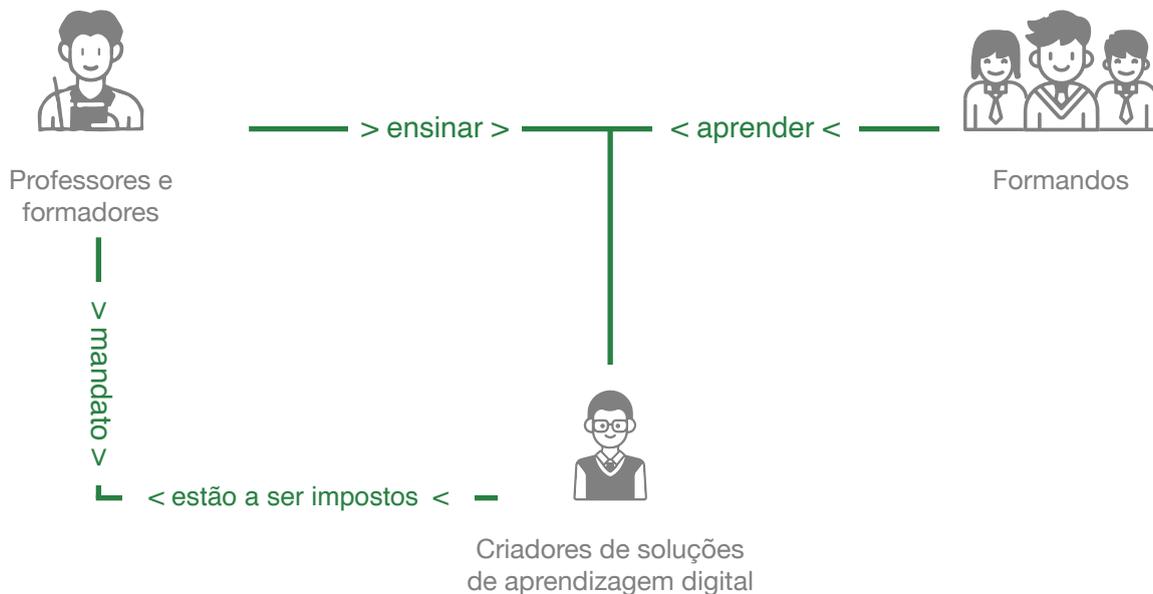


Figura 2. Identificação das partes interessadas e das suas relações no contexto da aprendizagem digital

^[3] A transferência de poluição corresponde a uma transferência de impacto de um critério ambiental para outro critério de impacto ambiental.

03. Metodologia qualitativa

3.2 Grupos de foco

Decidimos realizar grupos de foco como metodologia qualitativa. Esta decisão foi motivada pela capacidade deste tipo de grupos de produzir dados a partir da interação dos participantes. Numa discussão de grupo moderada, os participantes terão de posicionar as suas práticas e experiências tendo em conta as respostas dos outros participantes. Além disso, a natureza colaborativa do grupo de foco torna possível reagir e acrescentar informações que os participantes não teriam equacionado mencionar num questionário ou numa entrevista individual. Por último, os grupos de foco são económicos, uma vez que permitem recolher dados sobre vários participantes ao mesmo

tempo (Kontio & al., 2008).

Embora os grupos de foco possam ser utilizados para obter dados relativos a atitudes, sentimentos, crenças, experiências, reações, ideias, compreensão e perceções (Prudence Plummer-D'Amato, 2017) (Gibbs, 1997), queremos centrar-nos sobretudo nas experiências de aprendizagem digital dos participantes. Kontio & al (2008) demonstraram que os grupos de foco eram adequados para recolher dados relacionados com experiências no contexto da engenharia de software. No Quadro 3, mostramos como essas perguntas estão relacionadas com os nossos objetivos.

Os grupos de foco têm sido amplamente utilizados em fases exploratórias de estudos como uma forma de apresentar novas hipóteses sobre um tópico específico ou para conduzir um estudo secundário (Anita Gibbs, 1997) (Kontio & al, 2008). Uma vez que os grupos de foco são conduzidos numa amostra muito pequena de uma população, os resultados da parte qualitativa do nosso trabalho não serão extrapolados para a população total em estudo, mas serão utilizados para fornecer um quadro para a construção do nosso inquérito, criando um modelo e apresentando hipóteses sobre os efeitos indiretos da aprendizagem digital.

Quadro 3. Relação entre a questão abordada pelo grupo de foco de acordo com Kontio & al. (2008) e os nossos objetivos

Questões abordadas pelo grupo de foco de acordo com Kontio & al.(2008)	Objetivos do nosso estudo
"Reconhecer a experiência passada que pode ser estudada em mais pormenor por outros métodos"	Destacar a experiência passada de aprendizagem digital para servir de base a um estudo quantitativo
"Avaliação inicial de potenciais soluções, com base no feedback dos profissionais ou dos utilizadores"	Identificar a aceitabilidade das boas práticas apresentadas pelos participantes
"Recolha de recomendações de "lições aprendidas"	Destacar a potencial evolução dos hábitos induzidos pela aprendizagem digital
"Identificação das potenciais causas profundas dos fenómenos"	Identificar os comportamentos de utilização e as dinâmicas sociais que sustentam os impactos avaliados

Grupos de foco

3.2.1 Desenhar grupos de foco

Quadro 4. Lista de grupos de foco

PAÍS	INSTITUIÇÃO	TIPO DE PARTICIPANTE	ANIMADOR
França	Professional	Platform provider	Hubblo & MGTB ^[4]
França	Professional	Formadores	Hubblo & MGTB
França	Universidades	Formandos	Hubblo & MGTB
Portugal	Universidade Lusófona	Formadores	Universidade Lusófona
Portugal ^[5]	Universidade Lusófona	Formandos	Universidade Lusófona
Bélgica	Professional	Formadores	EVTA

Decidimos organizar 6 grupos de foco. Os nossos grupos de foco foram concebidos para serem realizados com 3 a 6 participantes. Os participantes não foram pagos pela sua participação. Segmentámos os nossos grupos de foco em função do papel do participante no processo de aprendizagem digital:

- Formando/Aluno
- Formador/Professor
- Fornecedor de plataformas e conteúdos

Para abranger uma variedade de contextos, organizámos os grupos de foco em três países europeus diferentes, em contextos profissionais e académicos, cada um abrangendo uma área de estudo diferente. Cada um dos parceiros do projeto GIVE animou um a três grupos de foco.

Uma vez que o grupo de foco é uma forma de destacar a mais ampla tipologia de utilização, decidimos ter um vasto tipo de perfis socioeconómicos e experiências. Não procurámos a representatividade, uma vez que estamos à procura de uma grande variedade de experiências e práticas, mas procurámos a heterogeneidade. Para os formandos, seleccionámos participantes de diferentes áreas de estudo; para os criadores de conteúdos e plataformas, seleccionámos pessoas que desenvolvem diferentes conteúdos digitais em diferentes suportes; para os formadores, seleccionámos participantes de diferentes áreas que utilizam diferentes suportes de aprendizagem digital. Partimos do pressuposto de que a aprendizagem digital se tinha tornado corrente na

Europa desde o confinamento devido à COVID-19. Tentámos seleccionar tanto especialistas que tinham experiência antes da COVID-19 como participantes recentemente envolvidos em tais processos com vista a salientar a especificidade da aprendizagem digital como um constrangimento.

Não organizámos um recrutamento excessivo, uma vez que tivemos alguns problemas em encontrar participantes suficientes para cada grupo de foco. Um dos grupos de foco foi transformado numa entrevista devido à falta de participantes.

Foi enviado um questionário para recolher dados sobre cada um dos participantes, a fim de evitar uma recolha de dados em direto que teria feito perder tempo de discussão.

^[4] My Green Training Box

^[5] Este grupo de foco foi transformado numa entrevista devido à falta de participantes

Grupos de foco

3.2.2 Realizar as sessões dos grupos de foco

Formato de 2 horas - 4 tópicos principais

Optámos por um formato de 2 horas devido à disponibilidade limitada dos participantes. Identificámos 4 tópicos principais de discussão.

- Métodos de ensino
- Evolução de práticas
- Ferramentas: Tecnologias e equipamento
- Perceção: vantagens e inconvenientes

12 questões a abordar

Listámos 12 questões a abordar. Não foi possível fazer todas as perguntas, mas concentrámo-nos principalmente em abordar os 4 tópicos em cada um dos grupos de foco, a fim de recolher dados sobre os mesmos tópicos em todos os grupos de foco. Apresentámos os objetivos e as regras aos participantes da seguinte forma:

1. *Apresentação do contexto de estudo*
2. *Apresentação de moderadores e participantes*
3. *Pedir aos participantes para responderem ao questionário online, caso ainda não o tenham feito*
4. *Agradecer aos participantes pela sua presença*
5. *Informar que os resultados da sessão são estritamente confidenciais e que não será feita qualquer identificação das respostas individuais. Os resultados da sessão serão utilizados estritamente para obter informações sobre o âmbito do projeto atual*
6. *Pedir respostas honestas e recordar que não há respostas certas ou erradas*
7. *Tempo previsto: 120 min.*
8. *Pedimos que não haja conversas paralelas ou privadas e que a discussão em grupo seja feita de forma civilizada e ordenada.*

Mencionámos aos participantes quando houve uma mudança no tópico. Apresentámos os tópicos pela seguinte ordem:

1. Métodos de ensino
2. Evolução de práticas
3. Ferramentas: Tecnologia e equipamento
4. Perceção: vantagens e inconvenientes

Grupos de foco

3.2.2 Realizar as sessões dos grupos de foco

Escolhemos uma mesa redonda clássica onde os participantes podiam reagir às afirmações de qualquer participante. A ordem das intervenções foi definida aleatoriamente e alterada entre duas perguntas. Tentámos distribuir o tempo de intervenção igualmente entre os participantes.

O moderador tomou algumas notas para ajudar na moderação. Todas as sessões foram gravadas e as sessões conduzidas em francês e inglês tiveram os seus áudios transcritos. Começámos por gerar uma transcrição a partir de uma speech to text API e, em seguida, analisámos manualmente cada uma das transcrições uma vez para melhorar a sua qualidade.

Tentámos parafrasear as experiências e perceções dos participantes entre cada tópico para validar a nossa compreensão das suas declarações.

Concluámos os grupos de foco com as seguintes perguntas:

Gostaria de acrescentar algo que não tenha sido abordado e que considere relevante?

Tem alguma sugestão ou ideia sobre como identificar os recursos utilizados no âmbito da aprendizagem digital?

Por fim, agradecemos aos participantes e dissemos-lhes que daríamos feedback sobre a investigação em curso.

Grupos de foco

3.2.3 Análise de dados

Realizou-se um trabalho de etiquetagem a partir da gravação de vídeo, das notas e das transcrições. O objetivo desta etapa foi extrair comportamentos de utilização e impactos indiretos das experiências dos participantes. Uma vez que esta etapa foi exploratória, realizou-se de forma iterativa em colaboração com os parceiros do projeto GIVE. Utilizámos “Taguette”^[6], uma aplicação de código aberto que

ajuda a manipular dados qualitativos a partir de documentos de texto. Começámos por criar as etiquetas apresentadas no Quadro 5 e utilizámos a ferramenta para etiquetar o texto em conformidade. As definições de cada etiqueta foram criadas de forma iterativa, consoante o que foi identificado no texto. As citações são fornecidas na secção de resultados, quando necessário. Os nomes das empresas,

dos locais e dos indivíduos são anónimos. As palavras espúrias foram eliminadas. Para além dos resultados dos grupos de foco, utilizámos referências da literatura para confrontar os nossos resultados com outros estudos, sempre que necessário.

Quadro 5. Descrição da etiqueta

Nome da etiqueta	Descrição
Recurso de software	Item relacionado com o software utilizado num processo de aprendizagem digital
Recurso de hardware	Item related to digital devices used in a digital learning process
Comportamentos de utilização específicos	Um comportamento interessante que difere do que foi observado na literatura ou noutros grupos de foco
Efeitos indiretos	Uma declaração que descreve um potencial efeito indireto induzido pela aprendizagem digital
Causas	Uma afirmação que descreve a causa de um comportamento
Covid-19	Elementos específicos do período COVID-19 (confinamento, recolher obrigatório, limitação da mobilidade,...)
Boas práticas	Práticas definidas como boas práticas ambientais pelos utilizadores

^[6] <https://www.taguette.org/>

04. Inquérito

Desenvolveu-se um inquérito para atingir dois objetivos distintos: fornecer os dados necessários para o desenvolvimento do módulo de avaliação do impacto e fornecer informações que possam ser utilizadas em futuras investigações e aplicações práticas. A este respeito, alguns destes conhecimentos devem informar as partes interessadas e os decisores importantes sobre as melhores estratégias a implementar em políticas futuras para garantir que a sustentabilidade se torna uma pedra angular das políticas educativas.

Este inquérito foi realizado entre setembro e dezembro de 2022. O processo de amostragem pode ser estabelecido como uma amostra de conveniência com uma abordagem de bola de neve, uma vez que cada organização participante era responsável por contactar os seus próprios contactos, e cada contacto foi também convidado a contactar os seus parceiros e a agir como agente de divulgação. A amostragem em bola de neve é uma estratégia de amostragem não probabilística habitualmente utilizada em estudos realizados online, como este, e que se centram em resultados virados para a tecnologia, permitindo não só um alcance geográfico alargado, mas também uma abordagem mais ampla e abrangente da recolha de dados. No que diz respeito ao cálculo da dimensão da amostra, não se definiu um procedimento formal para a dimensão da amostra, uma vez que tanto

os parâmetros (resultados) como a natureza do presente estudo são essencialmente exploratórios. No entanto, o consórcio propôs-se recolher uma amostra mínima de 300 partes interessadas no contexto da educação/formação. Estas incluíam não só estudantes e formandos, mas também professores, formadores e criadores de materiais de formação pedagógica. Além disso, dado que foi possível tirar partido de parceiros anteriores e de colaborações em curso, a amostra também incluiu os responsáveis pela gestão e tomada de decisões nas instituições de ensino e formação, embora numa proporção mais limitada.

Para implementar uma boa estratégia de recolha de dados, cada parceiro tinha um objetivo específico: 100 participantes a serem reunidos pela My Training Box, o mesmo número pela Universidade Lusófona (COFAC), e o mesmo para a amostra internacional. De um modo geral, os objetivos da recolha de dados foram alcançados e ultrapassados, com a amostra final da análise a incluir 372 participantes provenientes da maioria dos países europeus. Isto proporciona uma boa representação da paisagem europeia, embora não tenham sido efetuados cálculos formais da dimensão da amostra. Por este motivo, não foi efetuada qualquer análise inferencial, pelo que as generalizações sobre os resultados do inquérito devem ser feitas com cuidado.



Inquérito

4.1 Inquérito e perguntas

372

responderam ao inquérito. A maioria da amostra era composta por inquiridos do sexo feminino, sendo as coortes etárias mais representadas as dos 19-24 anos, 45-54 anos e 35-44 anos (ver quadro 6).

O inquérito foi desenvolvido por uma equipa de especialistas das instituições participantes. Em primeiro lugar, foram identificadas as variáveis relativas à caracterização da amostra. Em segundo lugar, foram desenvolvidos três cenários, na sequência das conclusões da metodologia exploratória utilizada no Grupo de Foco. Por último, foi identificado um conjunto de questões para a caracterização de cada cenário, tentando, tanto quanto possível, criar uma estrutura coerente que fosse comum a todos.

Assim, na implementação do inquérito, utilizaram-se as quatro seções seguintes:

1. Caracterização da amostra - Sexo, país, idade, papel no contexto educativo e equipamento digital utilizado nas suas atividades diárias;
2. Cenário 1 - 1 hora de curso por videoconferência (Aprendizagem síncrona online) - ferramentas de videoconferência utilizadas, deslocação, distância, meio de transporte e motivo da deslocação, dispositivos digitais adquiridos;
3. Cenário 2 - 1 hora de curso de autoaprendizagem (aprendizagem assíncrona online) - dispositivos digitais utilizados durante o curso, tempo necessário para desenvolver materiais

para um curso de 1 hora, materiais digitais utilizados, ferramentas de comunicação utilizadas, deslocação, distância, modo de transporte e motivo da deslocação, dispositivos digitais adquiridos;

4. Cenário 3 - 1 hora de aprendizagem presencial (aprendizagem síncrona em sala de aula) - equipamento digital utilizado, conteúdos digitais utilizados, impressão de materiais, deslocação, distância, meio de transporte e motivo da deslocação, dispositivos digitais adquiridos.

A maior parte das variáveis recolhidas no presente inquérito relativas à caracterização das práticas em cada um dos cenários foram utilizadas para o desenvolvimento da avaliação de impacto, pelo que são explicadas na secção 5 do presente Livro Branco.

Inquérito

4.2 Caracterização dos inquiridos e resultados dos cenários

O inquérito foi respondido por 372 participantes. A maioria da amostra era composta por inquiridos do sexo feminino (n = 211, 56,7%), sendo as coortes etárias mais representadas as dos 19-24 anos (n = 94, 25,3%), 45-54 anos (n = 89, 23,9%) e 35-44 anos (n = 74, 19,9%) (ver quadro 6). O Quadro 7 mostra a função dos inquiridos na sua organização. Cerca de um terço da amostra é constituída por professores ou formadores, sendo os formandos o grupo mais numeroso entre os participantes no estudo (n = 132, 35,5%).

Relativamente à pergunta "Costuma trazer os seus próprios dispositivos digitais ou utiliza os dispositivos da escola, da universidade ou da empresa?", 47% (n = 175) da amostra traz o seu próprio dispositivo digital para o trabalho, enquanto pouco mais de metade da amostra utiliza o dispositivo digital da organização (n = 95, 25,5%) ou ambos (n = 96, 25,8%).

Quadro 7. Qual o título que melhor representa o seu cargo atual na sua organização?

	n	%
Professor	52	14,0
Formador	71	19,1
Aprendente	132	35,5
Gestor e criador de aprendizagem digital	53	14,2
Outro	58	15,6
Total	366	98,4
Em falta	6	1,6
Total	372	100,0

Quadro 6. Qual é a sua idade?

	n	%
Menos de 18 anos	3	0,8
19-24 anos	94	25,3
25-34 anos	61	16,4
35-44 anos	74	19,9
45-54 anos	89	23,9
55-64 anos	39	10,5
65 anos ou mais	6	1,6
Total	366	98,4
Valores em falta	6	1,6
Total	372	100,0

Inquérito

4.2 Caracterização dos inquiridos e resultados dos cenários

O estudo também avaliou a utilização de equipamentos digitais pelos inquiridos nas suas atividades diárias (ver Quadro 8). O equipamento digital menos utilizado é o quadro interativo (n = 285, 81,7%), seguido do Tablet (n = 252, 72,2%) e do computador de secretária (n = 227, 65%). Por outro lado, o computador portátil (n = 12, 3,4%) e o smartphone (n = 54, 15,5%) são os equipamentos com menor proporção de não utilização.

Relativamente aos resultados dos Cenários, a aprendizagem síncrona online (n = 263, n = 70,7%) é o cenário mais comum, seguido da aprendizagem síncrona em sala de aula (n = 253, 68%) e da aprendizagem assíncrona online (n = 189, 50,8%).

No que respeita ao cenário de aprendizagem síncrona, o Quadro 9 mostra a distribuição da utilização de cada uma das ferramentas de videoconferência. Em linha com as práticas após a pandemia, o Zoom continua a ser a ferramenta de videoconferência mais utilizada (85,8%), seguido do Google Meet (36,7%) e do WebEx (8,4%). No que diz respeito às práticas digitais neste cenário, a maioria dos utilizadores mantém as câmaras ligadas (74,9%), partilha o ecrã (83,7%) e utiliza ferramentas de comunicação instantânea (87,5%) e colaborativa (60,1%). Apenas 20,5% imprimem os seus materiais digitais. Por último, apenas 23,2% dos inquiridos tiveram de adquirir um novo dispositivo para participar na atividade de aprendizagem síncrona.

Quadro 8. Que equipamento não utiliza nas suas atividades profissionais diárias?

	n	%
Smartphone	54	15,5 %
Computador portátil	12	3,4 %
Computador de secretária	227	65,0 %
Tablet	252	72,2 %
Quadro interativo	285	81,7 %
Beamer (Projetor de vídeo)	194	55,6 %
Segundo ecrã	164	47,0 %
Microfone	183	52,4 %
Auscultadores	71	20,3 %
Total	1442	413,2 %

Quadro 9. Que ferramentas de videoconferência utiliza?

	n	%
Zoom	194	85,8 %
Google Meet	83	36,7 %
Teams	1	0,4 %
WebEX	19	8,4 %
Outro	36	15,9 %
Total	333	147,3 %

Para o cenário de Aprendizagem Online Assíncrona, o Quadro 10 mostra a distribuição da utilização de soluções digitais. Texto (89,4%), Questionário (89,4%) e Vídeos (84,6%) são os mais utilizados.

Quadro 10. Conteúdos e práticas digitais no cenário de aprendizagem assíncrona online

	n	%
Vídeo	159	84,6 %
Texto	168	89,4 %
Questionário	168	89,4 %
Áudio	107	56,9 %
Outro	38	20,2 %
Streaming	137	72,9 %
Download	150	79,8 %
Impressão	46	24,5 %
Total	973	517,6 %

No que diz respeito às ferramentas de comunicação utilizadas no cenário de aprendizagem assíncrona online (ver Quadro 11), o correio eletrónico (92,6%), os sistemas de mensagens (95,8%) e o Fórum (92,6%) são as opções preferidas.

Quadro 11. Ferramentas de comunicação utilizadas no cenário de aprendizagem assíncrona online

	n	%
Fórum	175	92,6 %
Email	183	96,8 %
Caixa de correio (entregue no local do curso)	158	83,6 %
Sistema de mensagens (chat, chat bot, etc.)	181	95,8 %
Total	697	368,8 %

Apenas 13,2% dos participantes indicaram que tiveram de adquirir um novo equipamento digital para poderem participar neste cenário de aprendizagem.

Para o terceiro cenário, a aprendizagem síncrona em sala de aula, há que ter em conta duas variáveis específicas. Em primeiro lugar, devemos considerar o tipo de conteúdos digitais utilizados numa hora deste cenário de aprendizagem. O Quadro 12 mostra os conteúdos mais utilizados. As apresentações de diapositivos (94,8%) são utilizadas pela quase totalidade dos participantes no cenário, seguidas dos conteúdos em PDF (58,2%). Neste cenário, 38,3% dos participantes imprimem os seus materiais de aprendizagem, mas apenas 11,5% necessitaram de adquirir um novo equipamento digital para participar no cenário.

Quadro 12. Tipo de conteúdos digitais utilizados numa hora deste cenário de aprendizagem

	n	%
Apresentação de slides	236	94,8 %
Vídeo	59	23,7 %
PDF	145	58,2 %
Outro	32	12,9 %
Total	472	189,6 %

Para todos os cenários, existe uma variável a assinalar. Relativamente à utilização do equipamento, o Quadro 13 mostra a proporção de não utilização de cada equipamento por cenário. Como seria de esperar, o computador portátil é o que apresenta a menor proporção de não utilização em todos os cenários, enquanto o quadro interativo é o que apresenta a maior proporção de não utilização, independentemente do cenário observado.

Quadro 13. Que equipamento não utiliza para a sua atividade de aprendizagem de 1 hora?

	Aprendizagem síncrona		Aprendizagem assíncrona online		Aprendizagem na sala de aula	
	n	%	n	%	n	%
Smartphone	140	54,1 %	116	62,4 %	122	48,6 %
Computador portátil	14	5,4 %	10	5,4 %	13	5,2 %
Computador de secretária	201	77,6 %	148	79,6 %	200	79,7 %
Tablet	218	84,2 %	160	86,0 %	216	86,1 %
Quadro interativo	233	90,0 %	181	97,3 %	219	87,3 %
Beamer (Projetor de vídeo)	234	90,3 %	177	95,2 %	156	62,2 %
Segundo ecrã	133	51,4 %	95	51,1 %	171	68,1 %
Microfone	167	64,5 %	110	59,1 %	214	85,3 %
Auscultadores	117	45,2 %	70	37,6 %	191	76,1 %
Total	1457	562,5 %	1067	573,7 %	1502	598,4 %

4.3 Observações finais

Como discutido anteriormente, os objetivos do inquérito eram duplos. Algumas das variáveis que não são discutidas nesta secção atual foram utilizadas para servir de base ao modelo que será discutido na secção seguinte deste livro branco. Mais uma vez, embora a dimensão da amostra seja interessante, dada a ausência de um cálculo formal da dimensão da amostra, a estratégia de amostragem não probabilística e a natureza exploratória do presente estudo, não devem ser efetuadas inferências. O mesmo se aplica à comparação entre cenários. Em vez disso, os resultados atuais são um trampolim para uma investigação futura que pode assentar nesta primeira abordagem exploratória das práticas digitais sustentáveis.

05. Metodologia de avaliação do impacto

Diferentes cenários e comportamentos de utilização

Um dos principais resultados do estudo qualitativo são os diferentes cenários e comportamentos de utilização. Criámos um modelo para corresponder às nossas conclusões qualitativas com a maior precisão possível. Este modelo foi posteriormente aplicado à Europa a partir dos resultados do nosso inquérito e para vários casos de utilização. Propomo-nos detalhar aqui a metodologia de avaliação do impacto que foi aplicada para construir o modelo.

Optámos por utilizar apenas dados publicamente disponíveis. Esta escolha é motivada por várias razões:

- ◆ A intenção de tornar este estudo tão reprodutível quanto possível.
- ◆ O estudo centra-se sobretudo nos mecanismos que causam os impactos e não nos impactos propriamente ditos.
- ◆ Por limitações financeiras
- ◆ Por limitação de tempo

Devido a essa escolha e ao facto de ser difícil obter dados multicritérios sobre componentes digitais, apenas será avaliado o potencial de aquecimento global (medido em carbono equivalente). Estamos conscientes de que a avaliação do impacto

ambiental deve ser tão multicritério quanto possível para evitar transferências de poluição e para tornar o público mais consciente da diversidade de impactos causados pelas atividades humanas. Esperamos que surja futuramente investigação disponível ao público centrada na análise multicritério de componentes digitais.

Além disso, optámos por uma abordagem ascendente, que exige a identificação dos recursos necessários para a realização de um processo de aprendizagem digital e agrega cada um dos seus impactos ambientais em todo o seu ciclo de vida (fabrico, transporte, utilização, fim de vida). Tentámos que a representatividade geográfica e temporal fosse a melhor possível. O nosso perímetro geográfico é a União Europeia e o ano de referência é 2020. Se estiverem disponíveis vários dados, é utilizado o que tiver maior impacto, como estratégia conservadora.

Destacámos cinco recursos físicos principais envolvidos (ver secção 6.1): **Nível 1** que se refere aos dispositivos do utilizador final, **Nível 2** que se refere à rede entre o utilizador final e o centro de dados, **Nível 3** que corresponde aos serviços de alojamento do centro de dados, **o transporte de pessoas** e, finalmente, **o consumo doméstico de energia**.



5.1 Nível 1

5.1.1 Fabrico, transporte e fim de vida

Bordage & al. realizaram um estudo para o grupo GREENS/EFA do Parlamento Europeu sobre os impactos da utilização das TIC na Europa (The Greens EFA, 2021). Utilizámos os dados deste estudo, que fornece fatores de impacto médios para equipamentos digitais com um perímetro europeu. Os impactos para o Nível 1 foram comunicados por tipo de dispositivo. Extraímos as emissões de carbono para o fabrico, transporte e fim de vida (por vezes, referidas como emissões incorporadas) e apresentámo-las no Quadro 6. Concentrámo-nos apenas nos dispositivos identificados durante o nosso estudo qualitativo: computadores portáteis, tablets, smartphones, computadores de secretária e segundos monitores. Excluímos os projetores de vídeo e os periféricos.

Para atribuir estes impactos a um processo de aprendizagem digital específico, decidimos utilizar uma atribuição baseada no tempo de utilização. Optámos por nos basearmos na duração da utilização (ou seja, a duração total da utilização do dispositivo durante o seu ciclo de vida) em vez do tempo de posse (ou seja, a duração total da posse). Esta abordagem permite-nos atribuir a totalidade das emissões incorporadas do dispositivo aos serviços que este desempenha, ao passo que uma atribuição baseada no tempo de posse não atribuiria o tempo de inatividade e de inatividade a nenhum serviço.

Quadro 14. Emissões incorporadas de dispositivos identificados (The Greens EFA, 2021)

	Computadores portáteis	Tablets	Smartphones	Computadores de secretária	Segundos monitores
Alterações climáticas (kg CO2 eq.)	1,88E+02	1,00E+02	8,42E+01	2,80E+02	6,90E+01

5.1 Nível 1

5.1.1 Fabrico, transporte e fim de vida

Avaliamos a duração de utilização do produto em média de utilização por dia até ao tempo de vida médio de cada dispositivo (eq 1).

(eq1) life_usage

$$= use_time_per_day * lifespan * 365$$

O impacto total das emissões incorporadas pode então ser alocado com base na quantidade de tempo que o equipamento é utilizado durante a sessão de formação (eq 2).

(eq2) impact_d_on_p

$$= (embodied_impact / life_usage) * process_usage_duration$$

As nossas hipóteses de utilização são indicadas no Quadro 15.

Quadro 15. Hipóteses de utilização para as emissões incorporadas dos dispositivos dos utilizadores finais

Dispositivos	Frequência de utilização por dia use_time_per_day (hour)	Tempo de vida médio vida útil (ano)	Tempo de utilização médio No ciclo de vida life_usage (horas)
 Computadores portáteis	3,56	4	5197,6
 Tablets	3 (hypotheses)	3	3285
 Smartphones	2,41	2,5	2199
 Computadores de secretária	3,54	5,5	7107
 Segundos monitores	3,8	6	8322

Por defeito, utilizámos os dados fornecidos no relatório ICT Impact study for the lifespan (VHK e Viegand Maagøe, 2020) e os dados do Global Webindex Device Report (2020) para a frequência de utilização.

5.1 Nível 1

5.1.2 Impacto da utilização

No caso dos dispositivos digitais, os impactos de utilização consistem exclusivamente nos impactos induzidos pelo consumo elétrico direto (na rede elétrica) ou indireto (nas baterias). Assim, os impactos de utilização podem ser definidos como o produto de duração, consumo de energia, e fator de impacto elétrico (eq3). A duração é dada como informação do modelo, dependendo da duração média do dispositivo no contexto do processo (1 hora por defeito).

(eq3) usage_impact

$$= \text{duration} * \text{power_consumption} * \text{electrical_impact_factor}$$

O consumo de energia para os dispositivos identificados foi extraído do estudo de impacto das TIC patrocinado pela Comissão Europeia (VHK e Viegand Maagøe, 2020). Optámos por utilizar o valor de 2020 para corresponder ao nosso ano de referência. Os valores foram indicados em kWh por ano. Utilizámos o tempo médio de utilização por dia para obter o consumo elétrico médio por hora (eq 4).

(eq4) hourly electrical consumption

$$= \text{yearly electrical consumption} / (\text{average use time per day} * 365)$$

Por um lado, atribuímos o consumo em inatividade ao consumo médio de utilização. Por outro lado, não temos em conta a variação do consumo elétrico que depende da carga de trabalho do dispositivo. Todos os valores são apresentados no Quadro A1. Utilizámos os fatores de impacto elétrico de Scarlat & al. (2022) com base no cabaz energético dos países europeus em 2019 agregado pelo Eurostat (2020). Utilizámos o fator de impacto da eletricidade consumida em baixa tensão, que inclui a perda online e a troca de eletricidade entre países. Apresentámos um fator de impacto para cada país e uma média europeia, ver Quadro A2. O país de utilização é um parâmetro do modelo que irá adaptar o fator de impacto elétrico nas equações de utilização.

5.2 Nível 2

Foram adotadas diferentes abordagens para modelar os impactos da rede Internet. Estas incluem a modelação, medidas físicas ou a utilização de dados secundários (Aslan & al., 2017). Ao atribuir os impactos a uma transferência de dados específica através da rede, foram propostas várias estratégias.

A abordagem por GB é a mais vulgarmente utilizada. Consiste em avaliar os impactos globais de uma rede num perímetro específico e dividi-los pela quantidade de dados transferidos através da mesma. Vários estudos forneceram um fator elétrico que contabiliza a fase de utilização em kWh/Go (Coroama & Hilty, 2014) (Malmodin & Lunden, 2016) (The Shift Project, 2019).

Como queremos ter em conta todas as fases do ciclo de vida do nosso serviço, não podemos utilizar estes fatores de atribuição. Outros estudos forneceram um fator de atribuição em kgCO₂eq. Tm todos os ciclos de vida da função de rede (The Greens EFA, 2021) (ARCEP & ADEME, 2022). A principal limitação da *abordagem por GB* é que difere do fenómeno físico por trás da transferência de dados. Com efeito, Malmodin & al. (2020) mostraram que os impactos causados pela transferência de dados não são proporcionais ao volume de

dados transferidos, mas sim uma função da capacidade instalada.

Outra abordagem poderia ser a atribuição dos impactos com base no número de linhas envolvidas no processo. O impacto de uma linha num processo específico pode ser alocado ao longo do tempo em que o processo utiliza a linha (eq 5).

$$(eq5) \text{ impact_line_on_process} = (\text{yearly_impact_line} / \text{year_usage_hour}) * \text{process_usage_duration}$$

Existem outras abordagens para alocar o impacto de forma marginal, com uma alocação fixa do impacto por linha e uma alocação variável do impacto com base no volume de dados. O modelo de potência proposto por Malmodin & al. (2020) segue este princípio. Embora esta abordagem seja promissora, faltam-nos dados para caracterizar o perfil de consumo do equipamento de rede, o seu fabrico e os impactos em fim de vida.

Em vez disso, optámos por implementar no modelo uma abordagem *por GB* e uma abordagem *por linha* e adaptar a abordagem dependendo do contexto. Para seguir uma estratégia conservadora, um processo de baixo volume deve ter um impacto alocado *por linha*, e um processo de volume elevado deve ser

alocado *por GB*. Os fatores de alocação *por GB* e *por linha* foram extraídos do estudo para o grupo GREENS/EFA do Parlamento Europeu, tanto para linhas móveis como fixas (The Greens EFA, 2021). Foram reportados no Quadro 9.

Os impactos relativos à utilização, fabrico, transporte e fim de vida são apresentados de forma agregada, o que torna impossível comunicá-los separadamente. Podemos definir como hipótese que a transferência de dados europeus transita pela Europa, pelo que é aceitável utilizar estes dados quando o impacto da utilização tiver sido medido com base no fator de emissão elétrica europeu.

Quadro 16. Fator de emissão da rede (The Greens EFA, 2021)

Tipo de alocação	Rede móvel - Fator de impacto (kgCo2eq.)	Rede fixa- Fator de impacto (kgCo2eq.)
Por linha	9,85	81,2
Por Gb	0,096	0,0307

5.3 Nível 3

Os serviços utilizados no contexto da aprendizagem digital são maioritariamente alojados como aplicações SaaS em nuvens privadas ou públicas. Existem poucos estudos sobre a forma de afetar os impactos das plataformas de computação em nuvem à utilização de serviços específicos. Além disso, os dados relativos aos fornecedores de serviços de nuvem são muito escassos e podem diferir significativamente de um fornecedor para outro.

Para ter em conta o nível 3, recorremos a fontes secundárias de dados que utilizaram uma abordagem descendente para atribuir o impacto de um serviço comum a uma unidade funcional. Mediram o impacto geral do seu centro de dados (CD), alocaram-nos aos diferentes serviços com base

na utilização de recursos físicos (eq 6), e, finalmente, dividiram o impacto pelo número de unidades funcionais a ser processadas (eq 7).

Para cada tipo de serviço, extraímos o consumo elétrico e o impacto do fabrico separadamente com vista a configurar o impacto da utilização com base na localização do centro de dados (que depende do fator de emissão elétrica da localização do centro de dados). As equações detalhadas podem ser encontradas no modelo.

$$(eq\ 6)\ Impact_service_n = total_impact_DC * service_allocation_factor$$

$$(eq\ 7)\ Impact_function_unit_service_n = Impact_service_n / nb_functional_unit$$

Esta abordagem é muito limitada, uma vez que utiliza os resultados de apenas um ou dois estudos. Seriam necessários mais estudos que comunicassem fatores de emissão para a TIER 3 para criar fatores de impacto empíricos.

Utilizamos os fatores de impacto elétrico de Scarlat & al. (2022) apresentados no Quadro A2 para centros de dados europeus. Para outros países, utilizamos os fatores de impacto elétrico do explorador de dados *Ember Climate*^[7], que reporta fatores de impacto elétrico para a maioria dos países do mundo.

Quadro 17. Consumo elétrico e factores de impacto do fabrico para serviços de nível 3

Serviço	Unidade funcional	Consumo elétrico (kWh)	Impacto do fabrico (KgCO2eq.)	Fonte	Nota
Streaming	h	0,00226	0,00002	(Umweltbundesamt, 2021)	
Videoconferência	h/participante	0,00413	0,00034	(Umweltbundesamt, 2021)	
Armazenamento de dados	Go/ano!!!	0.009	0,198	(Umweltbundesamt, 2021) & (Charret & al., 2020)	Média em 7 centros de dados de ambos os estudos

^[7] <https://ember-climate.org/data/data-explorer/>

5.4 Transporte



Em alguns casos, detalhados na secção de resultados, a aprendizagem digital requer a utilização de transportes. Para este tipo de transportes, optámos por contabilizar apenas os impactos dos automóveis individuais. Mesmo que tenhamos destacado outros meios de transporte (principalmente, meios de transporte com baixo teor de carbono), como a mobilidade elétrica, a bicicleta e os transportes públicos, não incluímos os seus impactos. Este facto foi motivado por vários motivos:

- ▶ A falta de dados genéricos sobre os impactos do transporte com baixo teor de carbono
- ▶ A falta de dados específicos para a Europa

- ▶ O nosso desejo de promover o transporte com baixo teor de carbono

Utilizámos as emissões médias de CO₂ por km de carros novos de passageiros publicadas pela EEA e acessíveis através do Eurostat (Eurostat 2022). Os dados fornecem uma média das emissões por km dos automóveis novos de passageiros num determinado ano e num determinado país.

Modelámos os impactos dos transportes para um determinado fator de emissão. O fator depende do país selecionado. Pode calcular-se a média

dos anos disponíveis ou pode selecionar-se um ano específico. O impacto é posteriormente medido multiplicando o fator de emissão por uma determinada distância (eq 8). Para termos em conta a partilha de carros, implementámos uma taxa de ocupação no modelo (eq 9).

$$(eq\ 8)\ transport_impact = impact_fator(location) * distance$$

$$(eq\ 9)\ transport_impact = (impact_fator(location) * distance) / occupancy_rate$$

5.5 Consumo doméstico de energia

A energia consumida nas casas dos participantes induz a emissão de gases com efeito de estufa. O ensino à distância aumenta a quantidade de tempo que os participantes passam nas suas casas. Este aumento leva a um consumo excessivo de energia.

Recuperámos o consumo excessivo em cada país europeu com base no modelo de Roder (2014). O modelo foi inicialmente desenvolvido para o consumo excessivo de energia doméstica no contexto do teletrabalho na Alemanha. Adaptámos o modelo com dados específicos do Eurostat para cada país europeu para 2020. Este método modela o consumo por pessoa por agregado familiar por hora a partir de uma

parte fixa, que corresponde ao consumo que ocorre com ou sem a presença do morador e uma parte variável, que corresponde a um consumo com a presença do morador. A parte variável é fixada em 30% do consumo fixo. Atribuímos o impacto do consumo excessivo (parte variável) em função da duração do processo de aprendizagem considerado. Devemos referir que esta abordagem é extremamente simplista.

Propomos comparar estes dados com os números da AIE sobre o perímetro europeu em 2020, que propõe um consumo excessivo induzido pelo teletrabalho para um agregado familiar composto por apenas um membro.

5.5 Consumo doméstico de energia

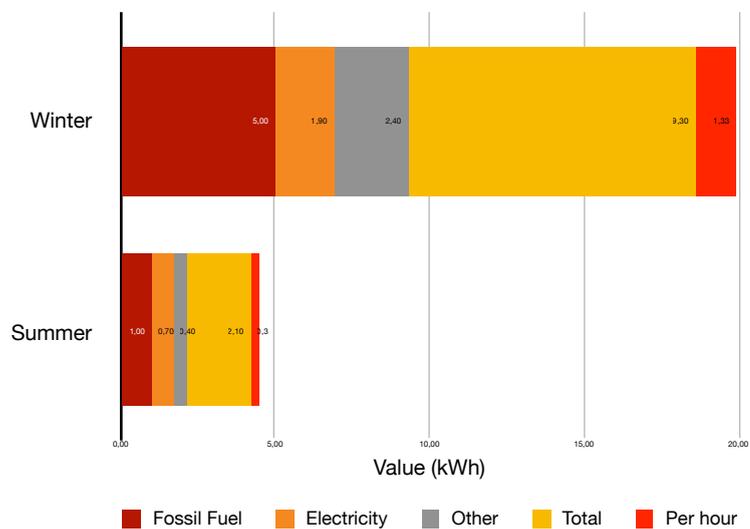
Adaptámos os números do IEA para uma jornada de trabalho de 7 horas. Dá um consumo excessivo médio de 0,3 no verão, o que corresponde a menos 67% do que obtemos com o modelo de Roder e de 1,33 no inverno, o que corresponde a mais 48% do que obtemos com o modelo de Roder. O valor médio ao longo de um ano é de 0,8 kWh a nível europeu, o que corresponde à mesma ordem de grandeza do modelo Roder no perímetro europeu (0,9 kWh).

Para compensar a incerteza do modelo e a falta de fontes de dados detalhadas para o comparar, decidimos fornecer um intervalo de +/- 50% para contabilizar a energia relacionada com o consumo doméstico de energia. Os valores para cada país europeu estão disponíveis ver Quadro A3.

Deve notar-se que esta abordagem é muito limitada, pois não tem em conta vários fatores:

- ◆ A composição dos agregados familiares. Por exemplo, é mais provável que uma família com adolescentes utilize o ensino à distância e possui características energéticas específicas.
- ◆ Os dados primários utilizados já incorporavam o consumo variável induzido pelo ensino à distância (em 2020, os agregados familiares já estavam envolvidos no ensino à distância). Existe, portanto, o risco de dupla contagem.

Quadro 18. Mudança média na procura de energia de um dia de trabalho em casa para um único agregado familiar - (IEA, 2020)



◆ Os efeitos cruzados induzidos por agregados familiares com vários membros na sequência do ensino à distância ou teletrabalho.

◆ O consumo específico durante as horas de aprendizagem digital (provavelmente, sem energia relacionada com a cozinha ou casa de banho, utilização de computador, ...)

Para contabilizar as emissões de gases verdes do consumo doméstico de energia, fornecemos um fator de impacto para cada país por kWh. Utilizamos a parcela de energia por fonte consumida pelos agregados familiares para fins residenciais, fornecida pelo Eurostat^[8], em

combinação com o impacto de cada fonte de energia retirada de ADEME “Base carbono”.

Os fatores de impacto são específicos para o perímetro europeu, quando disponíveis, e caso contrário, para o perímetro francês. Utilizamos o fator de impacto do Quadro A2 para o impacto da eletricidade. Uma vez que vários fatores de impacto estão disponíveis e sujeitos a debate entre os profissionais, propomos um valor máximo e um mínimo para cada país a fim de propor um intervalo de valores. Todos os valores utilizados são reportados em quadros; Quadro A4, Quadro A5 e Quadro A6.

[8] <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/6b7f39aa-308d-4c4f-be02-3f09a83f0dd1?lang=en>

06. Criar o cenário

6.1 Unidades funcionais

As análises de impacto ambiental do processo são reportadas numa unidade funcional. Corresponde à unidade de referência fornecida pelo sistema. A escolha das unidades funcionais é crítica, pois pode alterar os resultados do estudo (Matheys et al., 2007). Deve corresponder à função fornecida pelo sistema e não ao princípio físico que permite o funcionamento do sistema. Por isso, é relevante caracterizar a unidade funcional na perspetiva dos utilizadores.

Durante o nosso grupo de foco, a maioria dos participantes delimitou os seus cursos digitais por tempo de duração. Assim, optámos por usar uma hora de aprendizagem digital como a nossa unidade funcional.

Alguns formadores profissionais caracterizaram um curso como uma unidade de ensino. Podem ser, por exemplo, créditos ECTS (Sistema Europeu de Transferência e Acumulação de Créditos) no contexto académico. Embora esta unidade funcional corresponda mais precisamente à natureza da função estudada, optámos por não seleccionar esta opção. O principal motivo é a dificuldade de qualificar uma unidade de ensino homogénea aplicável a contextos heterogéneos (síncrona ou assíncrona, profissional ou académica, em autonomia ou dentro de uma instituição, etc.).

Uma vez que as sessões de aprendizagem digital são acompanhadas por um número heterogéneo de participantes – desde algumas pessoas em formação profissional síncrona a vários milhares em alguma formação assíncrona – decidimos reportar os impactos por participante. A unidade funcional escolhida é, portanto:

Uma hora de sessão de aprendizagem digital para um participante

“Quando tem de facilitar 4 horas.”

“Tinha de fazer uma formação de 7 horas por dia.”



6.2 Lista de recursos envolvidos

6.2.1 Serviço envolvido

Tentámos identificar os recursos que estavam envolvidos no contexto de uma aula de aprendizagem digital. Utilizámos os resultados do grupo de foco para caracterizar os recursos. Tentámos tornar esta lista o

mais exaustiva possível. Optámos por agrupar os diferentes serviços referidos pelos participantes relativamente à sua utilização durante uma sessão de aprendizagem digital.

Quadro 19. Serviços digitais identificados durante o estudo qualitativo

Nome	Descrição	Exemplo dado durante o grupo de foco
Ferramenta de videoconferência	Ferramentas para comunicação oral e/ou visual síncrona de formandos com formadores	Teams, Zoom, Jitsi, Google Meet, Webex, Skype
Colaboração síncrona	Ferramentas para colaboração síncrona de formandos com formadores ou entre si	Klaxoon, BCast, Mural, Metro-retro, Jamboard, Socrative, Mentimeter, Kahout!, Wooclap nextcloud, Doodle
Criação de conteúdos	Ferramentas que permitem a criação de conteúdos formativos em vários formatos (texto, conteúdos interativos, vídeo, diapositivos)	PowerPoint, Adobe Captivate, Adobe creative suite, Audacity
Canal de comunicação	Ferramentas que permitem a comunicação assíncrona entre formandos e formadores ou entre os próprios formandos	Email, SMS, Slack, chat
Armazenamento na nuvem	Ferramentas para armazenar conteúdos de formação ou trabalho relacionado com um processo de aprendizagem por formandos e formadores	Dropbox, Google Drive, OneDrive, Moodle, Nextcloud, LectureCast
LMS	Ferramentas que permitem o armazenamento de conteúdos de formação ou trabalho relacionado com um processo de aprendizagem	Moodle, My Green Training Box
Ferramentas de avaliação	Ferramentas para avaliação síncrona ou assíncrona de formandos	Google Form, ferramentas de avaliação específicas de universidades

6.2 Lista de recursos envolvidos

6.2.1 Serviço envolvido

Os participantes que assistiram às primeiras sessões de aprendizagem digital durante a crise da Covid tendem a listar menos ferramentas do que as pessoas que estavam habituadas a este tipo de aulas antes da crise. As invariantes para sessões síncronas foram *canais de comunicação* e *videoconferência*. A maioria dos participantes mencionou que a sua organização dispunha de um Sistema de Gestão de Aprendizagem (LMS) que era subutilizado ou não era utilizado.

Alguns formadores que participaram no nosso grupo de foco referiram que a escolha de utilizar um tipo de ferramenta em detrimento de outra era da sua responsabilidade e dependia da sua estratégia pedagógica e formato de aula. No entanto, a escolha de uma ferramenta específica depende de constrangimentos externos. Em alguns casos, a instituição em que o formador ministra as suas aulas irá impor um fornecedor de serviço. Este é principalmente o caso de *ferramentas de videoconferência*. Este tipo de constrangimento colide com o desejo dos participantes de utilizarem ferramentas mais acessíveis ou virtuosas.

Foram mencionadas outras restrições relacionadas com a acessibilidade do software. Com efeito, a formação de pessoas que têm dificuldades com ferramentas digitais influencia a escolha das ferramentas utilizadas.

"eles impõem-me ferramentas [nas] universidades"

"Muitas vezes, ficamos presos ao facto de que apenas se pode utilizar o Teams. [...] tínhamos outras opções mais virtuosas, de código aberto, por exemplo, mas isso não era permitido nas empresas."

"é apenas o Zoom porque está acessível para eles."

6.2 Lista de recursos envolvidos

6.2.2 Equipamentos do utilizador final envolvidos

Enquanto os recursos associados ao NÍVEL 2 e NÍVEL 3 foram identificados através de serviços digitais, o NÍVEL 1 é caracterizado pelos equipamentos de hardware diretamente utilizados pelos participantes. Com base nas suas respostas, principalmente do tópico “Ferramentas: Tecnologias e equipamentos”, identificámos 7 tipos de equipamentos de utilizadores finais envolvidos numa sessão de aprendizagem digital. Selatados no Quadro 20.

Os equipamentos envolvidos na aprendizagem digital podem ter diferentes origens. Podem ser de propriedade integral do participante, que pode utilizá-los parcial ou totalmente para aprendizagem digital. Podem ser partilhados por pessoas do mesmo agregado familiar ou podem ser emprestados pela instituição.

Um dos participantes do grupo de foco de formandos mencionou a utilização de um smartphone ao acompanhar uma aula fora do seu espaço de trabalho.

"[Utilizo] o meu telefone, às vezes, quando ando de um lado para o outro"

A utilização de smartphones em cursos online é de conhecimento dos produtores de plataformas digitais de aprendizagem, que podem implementar ferramentas compatíveis. A utilização do smartphone é apresentada por um dos participantes do grupo de foco de produtores de plataformas como um comportamento existente mas não recomendado.

"Pode ter formação com o seu iPhone, mesmo que isso não seja recomendado."

Quadro 20. Equipamentos digitais identificados durante o estudo qualitativo

Nome	Exemplo dado durante o grupo de foco
Computador de secretária	Mac mini
Webcam	Maior conforto no trabalho investindo numa câmara Web
Auscultadores	Maior conforto no trabalho investindo nuns auscultadores
Computador portátil	PC, Macbook
Segundo ecrã	Maior conforto no trabalho instalando um segundo ecrã
Smartphone	Acompanhamento de um curso durante uma mobilidade
Equipamento específico de alta tecnologia	Óculos de realidade virtual para formação sobre falar em público

Finalmente, descobrimos que se podem utilizar equipamentos de alta tecnologia no contexto da aprendizagem digital. O exemplo da realidade virtual foi mencionado e discutido durante um dos grupos de foco no qual vários participantes estavam a produzir conteúdos de realidade virtual.

"Quando quiser treinar com realidade virtual, precisará de um PC com capacete de realidade virtual"

6.2 Lista de recursos envolvidos

6.2.3 Outros recursos envolvidos

Além dos recursos acima, identificámos outros recursos não digitais envolvidos no processo de aprendizagem digital. Decidimos incluí-los quando os seus impactos associados pudessem ser diretamente atribuídos ao processo digital, ou seja, a sua utilização no contexto de um processo de aprendizagem digital envolve um custo ambiental extra. São reportados no Quadro 21.

Ao contrário do que se poderia esperar, o transporte ainda era necessário para vários formandos e formadores. Com efeito, enquanto a maioria dos participantes acompanha as sessões digitais a partir das suas casas, outros ainda têm de se deslocar para acompanhar uma sessão. Diferentes motivos foram mencionados:

- ◆ Falta de ligação de rede
- ◆ Falta de dispositivos digitais
- ◆ Iliteracia digital
- ◆ Ambiente não adequado para aprender/ensinar

- ◆ O desenho de alguns dos cursos, como aulas híbridas
- ◆ Novas mobilidades (ver parte 6.4.6)

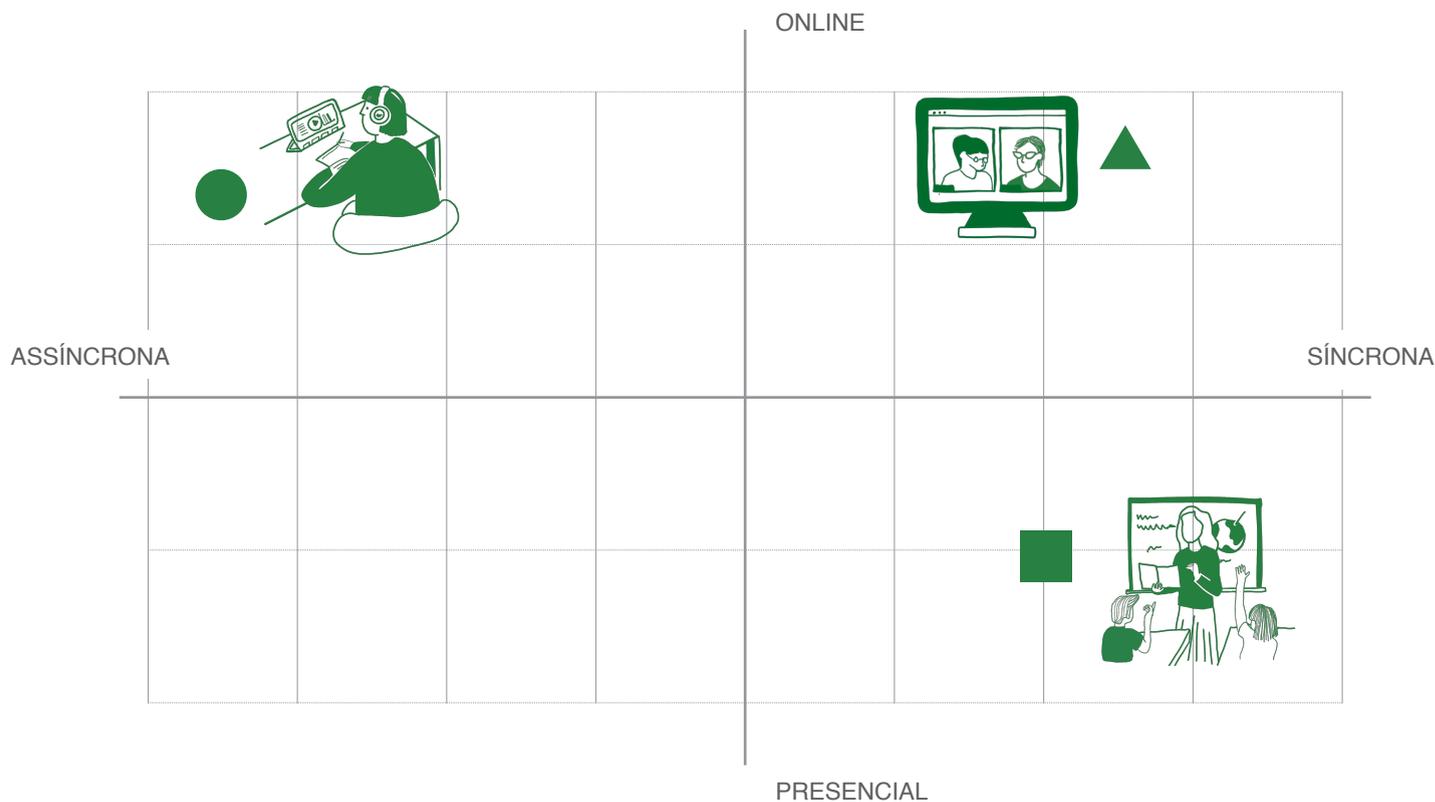
“o maior obstáculo de hoje em dia para a massificação dos utilizadores não são os equipamentos de hardware, mas sim a qualidade da ligação”

“não tinham 3 computadores em casa e nem 3 quartos para poderem ter colunas em paralelo”

Conforme mencionado na secção 5, o consumo excessivo de energia doméstica induzido pela aprendizagem digital também deve ser tido em conta. Nenhum participante do grupo de foco mencionou isto. No entanto, ainda assim, decidimos incluí-lo, pois este recurso tem sido mencionado na literatura (Caird & al., 2015; Filimonau & al, 2020).

Quadro 21. Outros recursos identificados durante o estudo qualitativo

Nome	Descrição	Exemplo dado durante o grupo de foco
Transporte	Viagem restante necessária para seguir os cursos digitais	Viajar para um espaço de coworking
Consumo doméstico de energia	Consumo doméstico excessivo de energia durante as aulas digitais	-



● Autoaprendizagem ▲ Aprendizagem síncrona online ■ Aprendizagem assíncrona na sala de aula

6.3 Histórias de aprendizagem digital

Diferentes processos de aprendizagem podem ser qualificados como aprendizagem digital. Isto foi visto durante os grupos de foco, pois os participantes tinham definições diferentes e, muitas vezes, precisavam de alguns esclarecimentos.

"Podemos falar sobre e-learning e ensino a distância? Estamos a falar dos dois? Assim como o que a [empresa] faz, por exemplo, com formação que é acessível em e-learning e o que fiz para a [empresa] na semana passada à distância?"

Conseguimos identificar 3 histórias de aprendizagem digital durante o grupo de foco. O clustering foi motivado pelas semelhanças na utilização das TIC, pela sincronicidade ou não sincronicidade e pela localização relativa de cada um dos participantes. O clustering escolhido é representado na *figura 6*. Para cada cenário, foram reportados comportamentos de utilização específicos que poderiam ter impacto no processo geral foram para serem implementados no modelo. Os nossos cenários cobrem parcialmente as categorias existentes apresentadas por Allen & al. (2003) reportado no Quadro 2. Além disso, identificámos dois tipos principais de partes interessadas nos grupos de foco. Um primeiro grupo que chamamos *iniciantes*, que tinham pouca ou

nenhuma experiência em aprendizagem digital antes da crise de COVID-19, e os *especialistas* que já estavam habituados a este tipo de processo, que era a sua atividade principal.

Apresentámos uma descrição para cada cenário, incluindo todos os recursos digitais e não digitais envolvidos. Descrevemos também o que chamamos de casos extremos, que se referem a variações do cenário inicial identificado durante o grupo de foco. O modelo deve permitir a modelação de todos estes diferentes cenários, bem como dos comportamentos específicos identificados. Cada elemento é apoiado por citações dos grupos de foco.

6.3 Histórias de aprendizagem digital

6.3.1 Histórias de aprendizagem digital



Cenário normal

Um professor cria conteúdos numa ferramenta de apresentação ou modifica conteúdos já criados. Os conteúdos podem ser compostos por texto, imagens e vídeos. Conteúdos, planeamento, canal de comunicação e armazenamento na nuvem, muitas vezes, são organizados pelas instituições numa plataforma semelhante ao Moodle. O professor prepara a sua aula na plataforma da instituição. Os alunos ligam-se à plataforma para aceder ao planeamento e aos recursos. Uma turma composta por muitos alunos e um professor ligam-se a uma ferramenta de videoconferência com os seus dispositivos finais no momento do curso. O professor, geralmente, partilha a sua câmara e poucos alunos ligam as suas câmaras. O professor utiliza vários meios pedagógicos. Pode partilhar uma apresentação e fazer com que os alunos participem através de ferramentas de colaboração síncrona.

Uma parte da aula pode ser dedicada à aprendizagem autónoma. O professor envia instruções através de um canal de comunicação (as instruções normalmente são armazenadas na nuvem). Os alunos trabalham de forma assíncrona no seu trabalho e enviam-no novamente mediante um canal de comunicação para correção assíncrona ou síncrona. Os relatórios de progresso podem ser feitos individualmente com professores e alunos.

Após a aula, professores e alunos mantêm contacto e partilham documentos (trabalhos de casa, perguntas, etc.) através da sua plataforma semelhante ao Moodle ou do seu canal de comunicação.

6.3 Histórias de aprendizagem digital

6.3.1 Histórias de aprendizagem digital



A grande maioria dos *iniciantes* mencionou a aprendizagem síncrona através de ferramentas de videoconferência como o principal processo que poderia ser classificado como aprendizagem digital. Esses tipos de cursos estão muito próximos dos cursos presenciais clássicos. As trocas orais e visuais foram substituídas por uma ferramenta de videoconferência. Um especialista apresentou este tipo de curso de forma satírica como: **“zoom com um PowerPoint”**

Por vezes, o único processo mencionado pelos *principiantes* quando se referiram à aprendizagem digital. A maioria deles encontrou este tipo de processo durante os diferentes confinamentos ou durante as greves para um participante francês. Constatou-se que os *especialistas* criticaram este tipo de processo de aprendizagem que, segundo eles, não aproveitava suficientemente os ativos digitais.. **“basicamente, transformámos um suporte PowerPoint, colocamos num zoom, dizemos que fazemos ensino à distância e aulas virtuais mas, muitas vezes, estamos muito longe disso”**

Os *especialistas* apresentaram este tipo de forma mais complexa. Eles segmentaram esses cursos em sessões síncronas e assíncronas. De acordo com uma das partes interessadas, a digitalização da aula faz com que seja mais fácil para o professor personalizar o apoio ao aluno durante a parte assíncrona da aula. **“à distância, faremos um acompanhamento mais individualizado.”** Quer seja para *especialistas* ou *principiantes*, este tipo, claro, permite que os participantes recuperem os mecanismos de uma sala de aula presencial mediante a ferramenta digital. Podemos referir a colaboração com post-its, facilitada por ferramentas digitais.

“Permitiu-me redescobrir o funcionamento dos post-its [...] os post-its digitais são mais avançados do que os normais. Para ter as mesmas funcionalidades dos regulares, tivemos de nos preparar durante muito tempo”

Os principais dispositivos utilizados para acompanhar as videoconferências foram computadores portáteis e computadores de secretária. Alguns participantes utilizam vários dispositivos para maximizar o seu conforto durante uma sessão. Podemos referir o segundo ecrã, mas também os telefones que podem servir como segundo ecrã para conversar ou pesquisar recursos. Finalmente, no contexto universitário, por vezes, as sessões não são obrigatórias. O facto de passar a sessão online tem sido, para alguns, uma forma de aumentar a assiduidade (devido à facilidade de acesso às aulas) enquanto para outros foi um incentivo à redução da assiduidade. Para um aluno, a gravação das sessões pode ser mais um incentivo para reduzir a assiduidade dos alunos. **“Tive grandes aulas presenciais. Algumas delas foram gravadas para que pudéssemos voltar a ouvi-las depois em casa ou caso não quiséssemos vir”**

Esse tipo de curso digital pode ser, em alguns casos, totalmente assíncrono quando os registos são a única forma de aceder ao curso. Não nos referimos a esse tipo de aula como *presencial-plataforma* pois tais cursos não têm a pretensão de serem escaláveis. **“O meu professor filmava-se e colocava os vídeos na [plataforma]”**

6.3 Histórias de aprendizagem digital

6.3.2 Autoaprendizagem



Cenário normal *Uma instituição desenvolve, compra ou aluga uma plataforma semelhante ao Moodle para alojar conteúdos de aprendizagem. Um criador de conteúdos cria um curso, o curso é formatado de acordo com a plataforma semelhante ao Moodle. Podem implementar-se diferentes formatos de conteúdos: texto, vídeo, áudio, páginas interativas, autoavaliações, etc. A instituição pode desenvolver conteúdos específicos ou alojar conteúdos externos na sua plataforma.*

Um curso é seguido de forma autónoma por 0 a n alunos, de forma descontínua. O curso pode continuar alojado por tempo indeterminado. Algumas sessões podem ser organizadas em períodos específicos.

Este tipo de cenário foi maioritariamente encontrado no contexto profissional ou por *especialistas* no contexto académico. O principal motivo para a utilização deste formato foi a necessidade ou a vontade de escalar o processo de aprendizagem.

“como estamos numa grande organização, parecia a única solução possível”

Alguns participantes seguem a aprendizagem assíncrona de forma autónoma em plataformas digitais que não são geridas pela sua instituição. Isto foi ainda mais visível para os alunos universitários. A tipologia e o formato dos conteúdos alojados nesta plataforma são heterogéneos. Vai desde o texto ao vídeo, áudio, conteúdos interativos ou de realidade virtual.

“formato, como vídeos, podcasts, autoavaliação, etc.”

“temos uma plataforma de conteúdos de realidade virtual”

Essas plataformas são utilizadas principalmente de forma autónoma e assíncrona pelos alunos. No entanto, poderão ser utilizados total ou parcialmente no contexto da formação presencial. É importante observar este comportamento, pois induz as deslocações.

“É uma ferramenta que pode ser utilizada de forma assíncrona, mas também pode ser utilizada de forma síncrona e é utilizada em universidades, entidades formadoras, empresas, etc. Pode até ser utilizada em sala de aula.”

6.3 Histórias de aprendizagem digital

6.3.3 Presencial digitalizado



Cenário normal *Um conteúdo digital é criado pelo formador com ferramentas de colaboração síncrona one-to-many ou com uma ferramenta de aprendizagem autónoma. No dia da aula, os formadores e os formandos deslocam-se até ao local da aula com vários meios de transporte. Os formadores e os formandos, geralmente, viajam para várias aulas.*

O formador anima a aula alternadamente com comunicação oral direta e através da ferramenta digital no seu dispositivo. Os formandos também dispõem de dispositivos, quer sejam dispositivos finais próprios ou dispositivos específicos relacionados com o formato de conteúdos digitais (fornecidos pela instituição).

Pelos testemunhos dos participantes, os materiais utilizados nas aulas presenciais são heterogêneos. Enquanto alguns usam notebooks, outros utilizam computadores portáteis para tomar notas. No entanto, todos os formandos que participaram no nosso grupo de foco precisavam de dispositivos digitais antes do horário da aula para se inscreverem e gerirem o seu horário e depois da aula para discussões assíncronas com os formadores ou outros formandos. Pelas respostas dos participantes, podemos supor que todas as aulas presenciais universitárias e profissionais precisam, em algum momento, de dispositivos e infraestruturas digitais.

“Na sala de aula, fazemos tudo nos nossos computadores. Quer dizer, não vejo ninguém que tenha apenas papel e caneta.”

Devemos referir que os participantes não são representativos e que é possível que esta afirmação não seja totalmente verdadeira, especialmente para o tópico mais prático.

Os conteúdos pedagógicos podem ser impressos, projetados ou enviados mediante canais de comunicação. Os materiais pedagógicos, normalmente, são partilhados num ou dois formatos. Em alguns casos, os conteúdos digitais são o material pedagógico central. Um participante, por exemplo, cria conteúdos de realidade virtual e anima aulas presenciais profissionais. Essas aulas exigem óculos de RV emprestados pela instituição. Outro participante criava conteúdos digitais para turmas de segundo ano (presencial).

“Portanto, trata-se mais de equipar professores, educadores, pessoas que vão intervir com os jovens na sala de aula.”

6.3 Histórias de aprendizagem digital

6.3.4 Híbrido

Cenário normal

Uma aula é organizada por um formador em diferentes módulos. Enquanto alguns módulos são organizados presencialmente, outros são à distância síncronos ou assíncronos (aprendizagem autónoma).

Vários participantes mencionaram um cenário híbrido composto por vários módulos, cada um correspondendo a um cenário apresentado acima. Devido à heterogeneidade dos casos identificados, optámos por não o incluir no nosso inquérito e avaliação de impacto.

Este tipo de cenário é uma mistura dos cenários acima. Segundo vários participantes, este cenário acontece quando uma instituição começa a amadurecer com a aprendizagem digital. Reparámos que era mais provável que os perfis de *especialistas* mencionassem cenários híbridos. Em alguns casos, híbrido refere-se a uma mistura de aprendizagem síncrona e assíncrona - através de vídeos ou MOOC, por exemplo. O termo aprendizagem adaptativa ou abordagem mista foi apresentado por alguns especialistas. Nesse caso, a utilização de ferramentas digitais é uma forma de individualizar as formações.

“pode ser 1/3 em zoom e 2/3 em gravações de vídeos de anos anteriores”

“O que chamamos aprendizagem adaptativa que significa que fazemos aprendizagem síncrona e assíncrona, mas estamos focados principalmente no aluno, significa que

individualizamos os cursos de formação.”

O termo *blended learning* foi também indicado por alguns especialistas. Nesse caso, híbrido refere-se a uma parte do curso online e uma parte presencial. **“Também faço blended learning, com um pouco de tudo, [...] partes de autoformação, partes síncronas, webconferências. E então houve um dia de formação presencial.”**

Embora para os *principiantes*, o modelo híbrido fosse uma forma de ter acesso ao seu curso de forma mais fácil, variando os meios de acesso, para os *especialistas*, este modelo é mais uma forma de personalizar a formação para cada formando. Nesse caso, as ferramentas digitais são uma forma de individualizar o apoio aos alunos, principalmente no caso de turmas com grande número de participantes. **principiante:** “não é mau poder escolher entre no local e à distância” **especialista:** “Fazemos uma abordagem combinada. [...] com o digital, é fácil gerir uma turma de 30 alunos e diferenciar a pedagogia entre cada um.”

Este tipo de organização de ensino parece persistir além do período COVID.

Com efeito, alguns participantes reportaram uma vontade das suas instituições de estabelecerem taxas mínimas para ensino à distância. **“No ensino superior tradicional, houve verdadeiras convulsões e isso, a meu ver, é realmente perene. Vejo nas várias escolas que os diretores querem fazer, no mínimo, 30% do ensino à distância.”**

Algumas instituições estão equipadas ou estão a equipar-se com ferramentas de gravação para disponibilizar todos os cursos online, facilitando, assim, a implementação de uma organização híbrida. Por um lado, as gravações podem permitir uma modalidade híbrida na qual alguns dos participantes acompanham online e outros em sala de aula, por outro lado, podem ser reutilizadas no contexto de módulos assíncronos para anos posterior, por exemplo. **“é híbrido, gravado com câmara durante o curso, mas também um curso presencial”**

Esta abordagem é preferida pela maioria dos *principiantes* pelo conforto e comodidade e também pela maioria dos *especialistas* devido à individualização pedagógica que permite. Além disso, tal como Marieke Versteijlen & al. (2021) sugerem, este tipo de aula poderia ser a melhor compensação entre redução de carbono e educação de qualidade. **“é bom ter uma mistura”.**

07. Resultados: Avaliações de impacto de vários cenários

Para cada cenário identificado na secção 6, aplicámos o nosso modelo a um caso de utilização europeu médio e a outro caso de utilização hipotético de interesse. Os casos de utilização europeus médios são modelados com fatores de impacto europeus médios e variáveis de pesquisa.

O nosso objetivo nesta secção é mostrar, através de diferentes exemplos, a ordem de grandeza do impacto ambiental da aprendizagem digital na Europa. **Observe-se que os diferentes cenários não foram concebidos para serem comparados e, como tal, não o devem ser.** O objetivo desta secção não é determinar o melhor cenário de aprendizagem digital, mas sim perceber qual o tamanho dos impactos de cada cenário.

Conforme definido na secção de metodologia, os impactos relacionados com o NÍVEL 3 são difíceis de estimar no contexto do nosso estudo. Assim, os impactos relacionados com o NÍVEL 3 provavelmente estão subestimados.

Nível 1 refere-se aos dispositivos do utilizador final

Nível 2 refere-se à rede entre o utilizador final e o centro de dados

Nível 3 corresponde aos serviços de alojamento do centro de dados.

7.1 Aprendizagem digital síncrona

7.1.1 Cenário médio europeu (CME)

Utilizamos valores médios para o caso de utilização europeu retirados do nosso inquérito. Utilizamos fatores de impacto europeus médios. O impacto relacionado com networking é avaliado pelo método “por linha”. Todos os valores utilizados são reportados no Quadro A7. Com os valores médios retirados dos resultados do inquérito, a pegada de uma sessão de 1 hora é avaliada entre 8,79E+00 kgCO₂eq. e 1,92E+01 kgCO₂eq. (1,31E+01 kgCO₂eq. em média), Quadro A8.

A pegada de carbono desta sessão de 1 hora por pessoa estima-se entre 4,07E-01 kgCO₂eq. e 8,91E-01 kgCO₂eq. (6,06E-01 kgCO₂eq. em média). A equivalência^[9] para o valor médio pode ser visto na Figura 3.

A principal fonte de impacto resulta do consumo excessivo de energia no alojamento dos participantes do ensino à distância, que representa entre 27,9% e 67% do impacto médio de uma sessão. Tal deve-se à elevada proporção de alunos que frequentam as aulas no seu alojamento (94,3%).

A segunda parcela mais importante está relacionada com o transporte dos participantes. Com efeito, o nosso inquérito mostrou que, mesmo no caso do ensino à distância síncrono, uma proporção de participantes teve de se deslocar (5,7%). Esta parcela, embora pequena, tem um impacto significativo na sessão (entre 16% e 35%). De

Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação

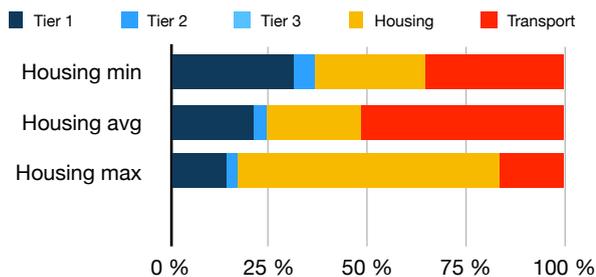


Figura 4. Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação - CME- Aprendizagem digital síncrona



1,87 refeições com carne de vaca



101 km de carro na Europa

Figura 3. A equivalência para o valor médio de uma sessão de 1 hora por sessão – CME

acordo com o nosso modelo e nas condições médias de viagem (40 km), o impacto induzido pela deslocação de um participante é mais importante do que aquele ligado ao consumo excessivo de energia no alojamento de um participante.

Se olharmos para os impactos relacionados com os recursos digitais, os terminais são a principal fonte de impactos. Isto deve-se principalmente ao grande número de terminais envolvidos e, em particular, à utilização de vários terminais por participante (2,3). **Pode ver-se que os impactos ligados às fases de fabrico, transporte e fim de vida representam mais da metade dos impactos.** Isto pode ser explicado pela quantidade de terminais utilizados cujos impactos incorporados são significativos.

Distribuição de impactos digitais

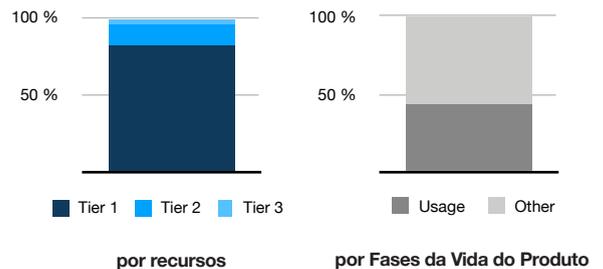


Figura 5. Distribuição do impacto digital por recursos e por fases de vida de um produto – CME – Aprendizagem digital síncrona

7.1 Aprendizagem digital síncrona

7.1.2 Ensino universitário online em Portugal (Caso de utilização 1)

Vamos agora aplicar o modelo a um caso de utilização específico: **uma aula por videoconferência com 59 alunos e 1 professor numa universidade portuguesa.**

Escolhemos um caso minimalista em que cada aluno utiliza apenas um equipamento. Os tipos de equipamentos utilizados dividem-se igualmente entre computadores portáteis, smartphones e computadores de secretária. Utiliza-se 1 GB de armazenamento online para esta aula específica e armazenado durante um ano (a duração de um ano letivo). Tanto o armazenamento como o serviço de videoconferência estão hospedados num ambiente de nuvem nos EUA. Supomos que todos os alunos seguem a aula a partir de casa e, assim, evitam a utilização de transportes, mas aumentam o consumo de energia das suas casas. Todas as outras variáveis são definidas com valores padrão. Todos os fatores de impacto são específicos do cabaz energético português. Todos os valores utilizados são reportados no Quadro A9.

Neste cenário, o impacto da sessão de 1 hora é avaliado entre 7,52E+00 kgCO₂eq. e 2,80E+01 kgCO₂eq. (1,54E+01 kgCO₂eq. em média), Quadro A10.

A pegada de carbono desta sessão de 1 hora por pessoa estima-se entre 1,25E-01 kgCO₂eq. e 4,66E-01 kgCO₂eq. (2,57E-01 kgCO₂eq. em média).

Considerando que este curso é ministrado em sessões de 2 horas durante as 36 semanas académicas, estimamos os impactos do curso entre 5,42E+02 kgCO₂eq. e 2,01E+03 kgCO₂eq. (1,11E+03 kgCO₂eq. em média). A equivalência para os valores médios pode ser visto na Figura 6.

A principal fonte de impacto tem origem na energia utilizada pelos participantes durante a sessão. Estima-se que represente entre 55% e 90% dos impactos atribuíveis a esta sessão.

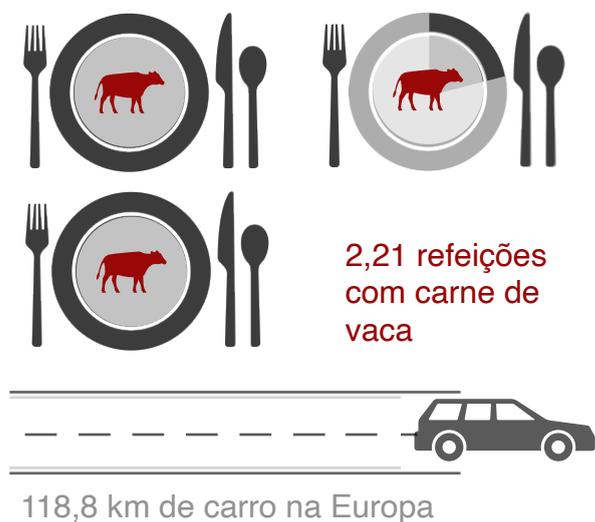


Figura 6. A equivalência para o valor médio de uma sessão de 1 hora por sessão (59 alunos e 1 professor)

Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação

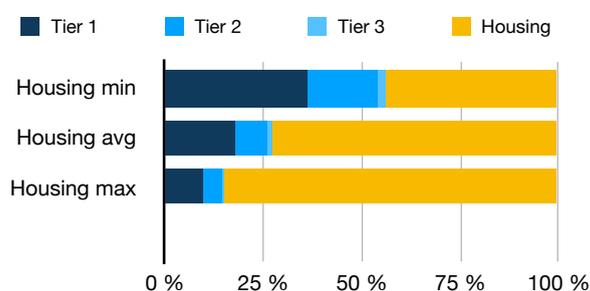


Figura 7. Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação - Caso de utilização 1

7.1 Aprendizagem digital síncrona

7.1.2 Ensino universitário online em Portugal (Caso de utilização 1)

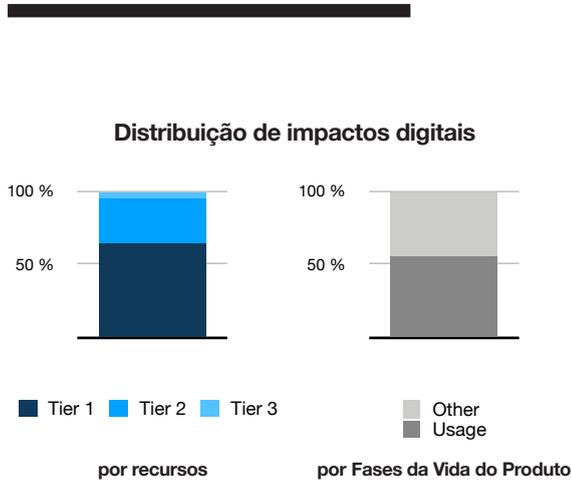


Figura 8. Distribuição do impacto digital por recursos e por fases de vida de um produto – Caso de utilização 1

Se olharmos para os impactos relacionados com os recursos digitais, os terminais são a principal fonte de impactos. Isto deve-se principalmente ao seu número elevado (60). Nota-se que os impactos ligados às fases de fabrico, transporte e fim de vida representam metade dos impactos, sendo a outra metade transportada pela fase de utilização. Isto pode ser explicado pela quantidade de terminais utilizados, cujos impactos incorporados são significativos.

A fase de utilização não é desprezível, pois a intensidade carbónica do cabaz energético português é bastante elevada (face à média europeia). **Deve notar-se que os terminais na bateria (computador portátil, smartphone) têm um impacto proporcionalmente menor na utilização do que os terminais na rede elétrica (computador de secretário, ecrã) porque o seu consumo de eletricidade é otimizado para maximizar a duração da utilização por carga, Figura 10.**

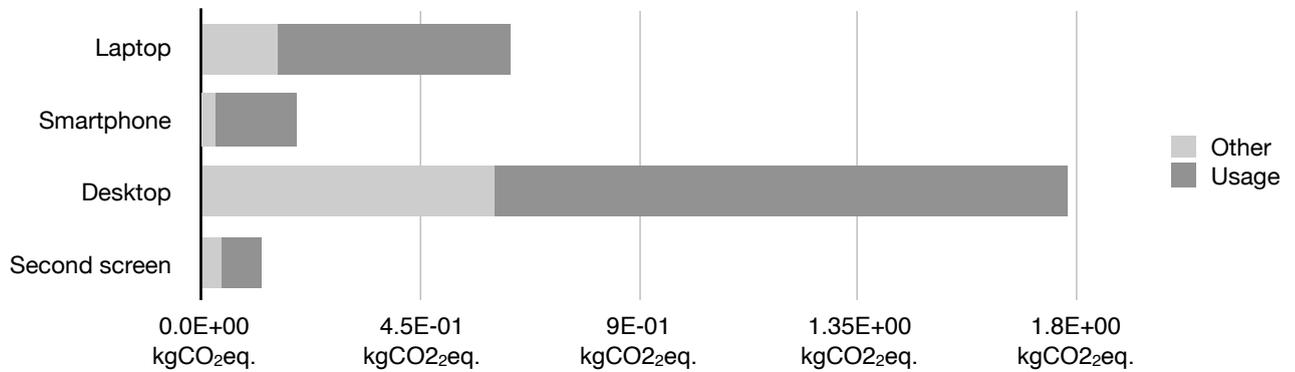


Figura 9. Impacto da utilização de recursos digitais por dispositivo

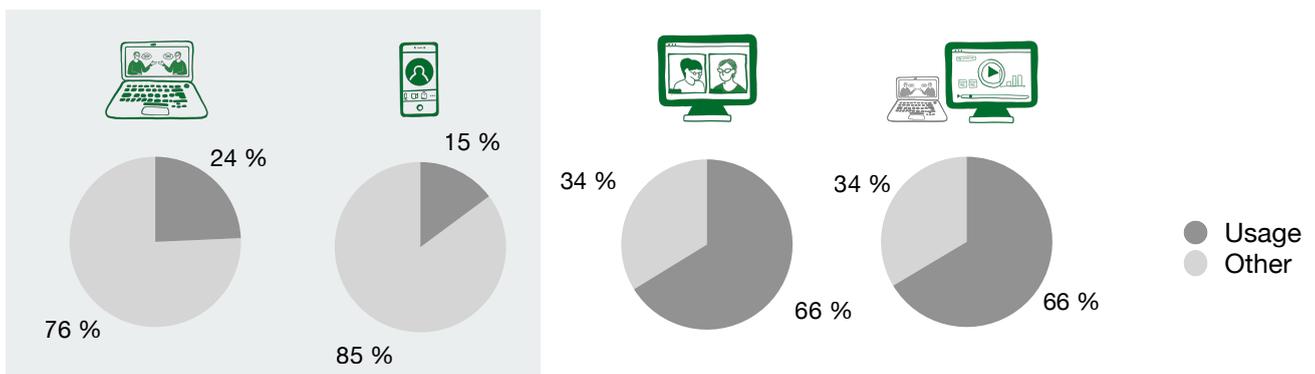


Figura 10. A percentagem do impacto da utilização no ciclo de vida do dispositivo

7.2 Aprendizagem digital assíncrona*

7.2.1 Cenário médio europeu (CME)

Utilizamos valores médios para o caso de utilização europeu retirados do nosso inquérito. Utilizamos fatores de impacto europeus médios. O impacto relacionado com networking é avaliado pelo método “por linha”. Para o Nível 3, consideramos apenas os impactos relacionados com a entrega de conteúdos em vídeo (via streaming). Todos os valores utilizados são reportados no Quadro A11.

Com os valores médios retirados dos resultados do inquérito, a pegada de uma sessão de 1 hora para 1 aluno é avaliada entre 3,59E-01 kgCO₂eq. e 8,44E-01 kgCO₂eq. (com um valor médio de 5,58E-01 kgCO₂eq.), Quadro A12. A equivalência para o valor médio pode ser visto na Figura 11.

Os impactos relacionados com os transportes e a energia doméstica representam a maior parte do impacto de cada sessão (entre 70% e 85%). Embora apenas 2% dos participantes utilize o seu carro, os transportes representam

Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação

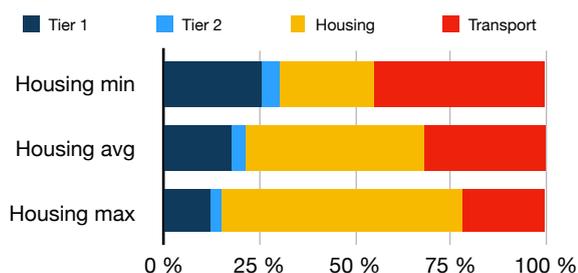


Figura 12. Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação - CME - Aprendizagem digital assíncrona



0,09 refeições com carne de vaca



5 km de carro na Europa

Figura 11. A equivalência para o valor médio de uma sessão de 1 hora por sessão por participante - CME

uma das maiores pegadas de uma sessão (entre 22 e 45%). Se olharmos para os impactos relacionados com os recursos digitais, os terminais são a principal fonte de impactos. Isto deve-se principalmente ao grande número de terminais envolvidos e, em particular, à utilização de vários terminais por participante (2,2). Pode ver-se que os impactos ligados às fases de fabrico, transporte e fim de vida representam mais da metade dos impactos. Isto pode ser explicado pela quantidade de terminais utilizados, cujos impactos incorporados são significativos. Ainda assim, o impacto relacionado com a fase de utilização não é desprezível devido à intensidade de carbono do cabaz elétrica europeia (0,334 kgCo₂eq./kWh).

Distribuição de impactos digitais

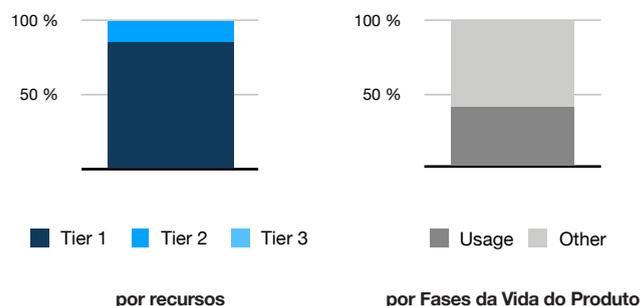


Figura 13. Distribuição do impacto digital por recursos e por fases de vida de um produto - CME - Aprendizagem digital assíncrona

*Não temos em conta os impactos relacionados com o desenvolvimento da plataforma ou dos conteúdos.

7.2 Aprendizagem digital assíncrona

7.2.2 Plataforma de aprendizagem baseada em Moodle para o mercado belga (Caso de utilização 2)

Vamos agora aplicar o modelo a um caso de utilização específico: **uma plataforma baseada em Moodle utilizada no mercado belga. Avaliamos os impactos de 1 sessão de uma hora para 300 formandos. A sessão baseia-se em conteúdos de vídeo (streaming). A plataforma está alojada na Bélgica.**

Metade dos alunos segue a sessão no seu local, pois possui um computador portátil, a outra metade tem dese deslocar para a instituição onde possui um computador de secretária. Metade desloca-se de carro, com uma distância média de 25 km (ida e volta). Todas as outras variáveis são definidas com valores padrão. Todos os fatores de impacto são específicos do cabaz energético português. Todos os valores utilizados são reportados no Quadro A13.

Neste cenário, o impacto da sessão de 1 hora é avaliado entre 3,16E+02 kgCO2eq. e 3,97E+02 kgCO2eq. (3,53E+02 kgCO2eq. em média), Quadro A14. O impacto de uma sessão de uma hora por pessoa estima-se entre 1,05E+00 kgCO2eq. and 1,32E+00 kgCO2eq. (1,18E+00 kgCO2eq. em média). A equivalência para os valores médios de por sessão pode ser visto na Figura 15.

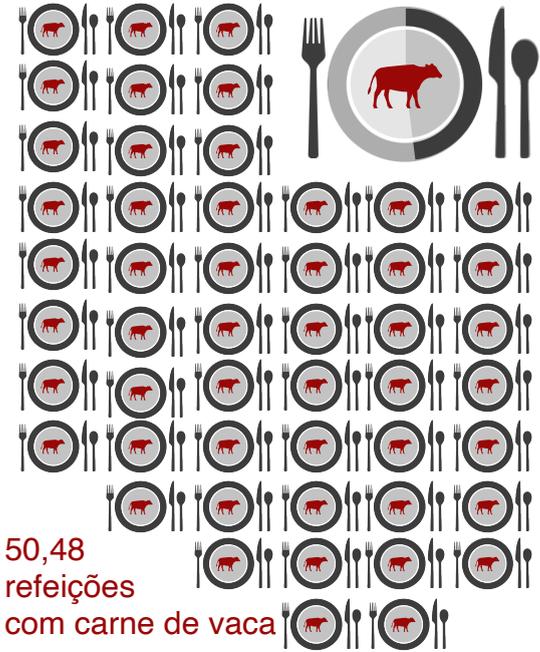


Figura 14. Equivalência do impacto de uma sessão de 1 hora na Bélgica em termos de uma refeição com carne de vaca e km de carro na Europa

7.2 Aprendizagem digital síncrona

7.2.2 Plataforma de aprendizagem baseada em Moodle para o mercado belga (Caso de utilização 2)

Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação

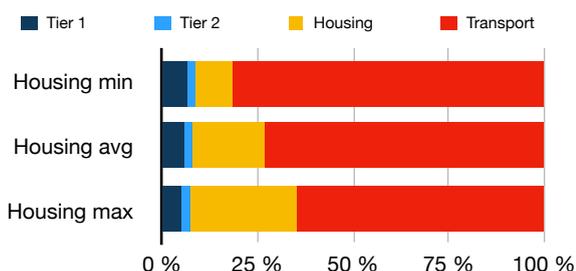


Figura 15. Distribuição dos impactos de acordo com o impacto da habitação - Caso de utilização 2

Os impactos relacionados com os transportes e a energia doméstica dos participantes representam a maior parte dos impactos destas sessões (entre 85% e 91%). Embora apenas um quarto dos participantes utilize o carro, os transportes representam a maior pegada de uma sessão (entre 65% e 81%).

Distribuição de impactos digitais

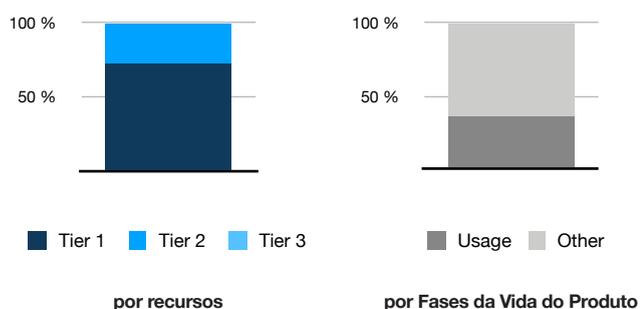


Figura 16. Distribuição do impacto digital por recursos e por fases de vida de um produto – Caso de utilização 2

Novamente aqui, o impacto ligado aos recursos digitais é suportado principalmente pelos terminais dos utilizadores (70%). Segue-se o impacto da utilização da rede (27%). A utilização do streaming leva a um consumo significativo de dados, o que explica a importante partilha da rede neste cenário. De notar que os impactos associados ao NÍVEL 3 (centros de dados) estão provavelmente subestimados.

7.3 Presencial digitalizado

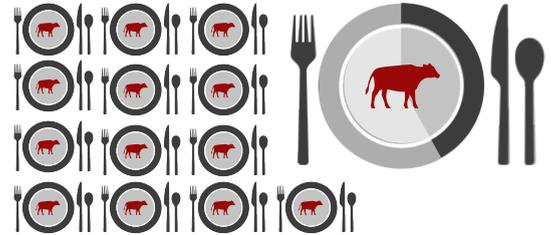
7.3.1 Cenário médio europeu (CME)

Utilizamos valores médios para o caso de utilização europeu retirados do nosso inquérito, assim como fatores médios de impactos europeus. Os impactos relacionados com a utilização de centros de dados (NÍVEL 3) e da rede (NÍVEL 2) estão excluídos deste cenário devido à dificuldade de determinar os recursos digitais utilizados em sala de aula. Um estudo mais específico deve ser realizado para determinar as práticas digitais nas aulas presenciais europeias. Todos os valores utilizados são reportados no Quadro A15.

Com os valores médios retirados dos resultados do inquérito, a pegada de uma sessão de 1 hora é avaliada em 9,33E+01 kgCO₂eq. Em média, Quadro A16.

A pegada de uma sessão de 1 hora por pessoa é estimada entre 3,49E+00 kgCO₂eq. em média. A equivalência para o valor médio para por pessoa encontra-se na Figura 18.

A principal fonte de impacto (96,5%) está ligada ao transporte dos participantes de carro (apenas os impactos ligados ao transporte de pessoas de carro são considerados).



13,33 refeições com carne de vaca

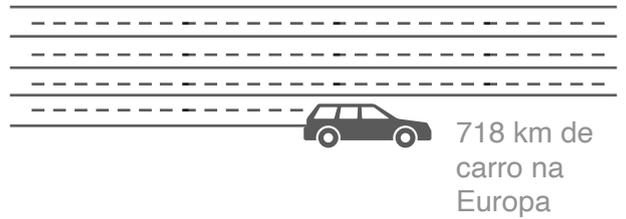


Figura 17. Equivalência da pegada de uma sessão de 1 hora em km percorridos na Europa de carro e uma refeição com carne de vaca – CME – Digitalizado presencial

Distribuição de impactos

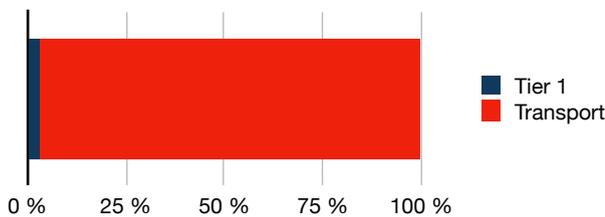


Figura 18. Distribuição de impactos – CME

7.3 Presencial digitalizado

7.3.2 Aula presencial de francês profissional (Caso de utilização 3)

Vamos agora aplicar o modelo a um caso de utilização específico: **uma aula profissional presencial no local, onde 9 formandos e um formador participam na sessão.**

Neste cenário, a instituição de formação fornece um tablet para cada formando e formador. Os tablets têm uma elevada taxa de renovação (1,5 anos contra 3 anos em média na Europa) e são utilizados apenas para fins de formação. Assumimos que todos os conteúdos digitais estão disponíveis localmente. Assim, não são considerados impactos relacionados com serviços de rede ou nuvem.

Todos os formandos se devem deslocar até ao local de ensino. Metade deles desloca-se de carro, com uma distância média de 20 km. Todas as outras variáveis são definidas com valores por defeito. Todos os fatores de impacto são específicos do cabaz energético francês. Todos os valores utilizados são reportados no Quadro A17.

Neste cenário, o impacto de uma sessão de 1 hora é avaliado em $1,51E+01$ kgCO₂eq, ver Quadro A18. O impacto de uma sessão de 1 hora por pessoa estima-se em 1,51 kgCO₂eq. Considerando que este curso é ministrado durante um dia (sessões de 7 horas) durante 4 dias, estimamos os impactos do curso em $1,05E+02$ kgCO₂eq. A equivalência^[10] de por sessão pode ser vista na Figura 20.

Neste cenário, o transporte dos participantes é responsável pela maior parte dos impactos (90%). Apenas terminais de utilizadores são considerados nesta abordagem. Representam 10% desta sessão.

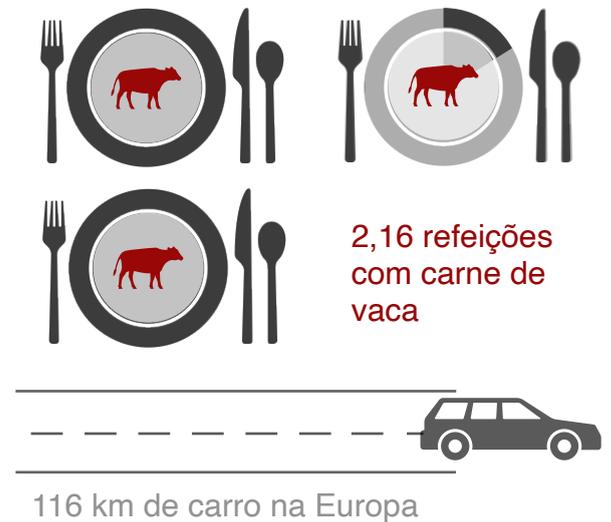


Figura 19. Equivalência da pegada de uma sessão de 1 hora em termos de km percorridos na Europa de carro e uma refeição com carne de vaca – Caso de utilização 3

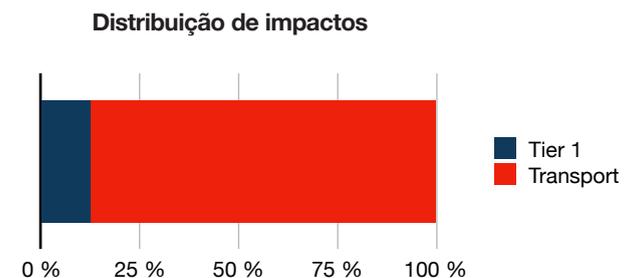


Figura 20. Distribuição de impactos – Caso de utilização 3

[10] Os equivalentes selecionados são retirados de <https://impactco2.fr/>. O ImpactCO2 é um projet ADEME que faz parte de Datagir.

7.3 Presencial digitalizado

7.3.2 Aula presencial de francês profissional (Caso de utilização 3)

Quase todos os impactos dos terminais de utilizador são causados pelas fases de fabrico, transporte e fim de vida. Isto acontece por diversos motivos:

- ▶ O cabaz energético francês considerado é de baixa intensidade de carbono (0,098 kgCo2eq./kWh, o que é 3,5 vezes inferior ao cabaz médio europeu). As emissões relacionadas com o consumo de eletricidade (fase de utilização) são, portanto, baixas.
- ▶ A taxa de renovação dos tablets utilizados neste cenário é muito elevada (a cada 1,5 anos), pelo que as emissões incorporadas representam uma parte importante associada a uma sessão.
- ▶ Neste cenário, os tablets são subutilizados (1 hora por dia), pelo que a maioria das emissões incorporadas representa uma parte importante associada a uma sessão.

Esta instituição poderia modificar as suas políticas de compra e utilização de tablets para reduzir o seu impacto. Por exemplo, imaginemos que o tempo de vida dos tablets (S1) aumenta para 5 anos e que decide partilhá-los entre várias turmas num dia, levando a uma utilização dos seus tablets de 4 horas por dia. As emissões incorporadas continuam a ser a parte mais importante, em parte, devido à baixa intensidade de carbono do cabaz elétrico francês, mas o impacto absoluto associado aos tablets é reduzido por um fator de 13.

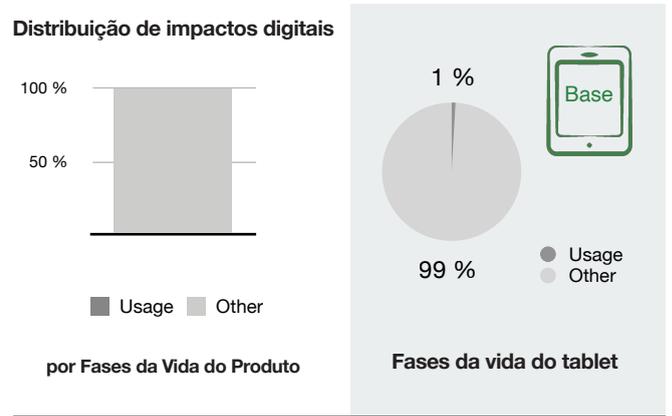


Figura 21. Distribuição do impacto digital por fases de vida do produto (Ex. Tablets) – Caso de utilização 2



Figura 22. Repartição da distribuição do impacto digital por fases de vida do produto com comparação dos impactos de um quadro entre dois cenários

7.4 Primeiras conclusões

As principais conclusões que podem ser retiradas destas diferentes avaliações são as seguintes:

- ◆ Os impactos relacionados com recursos não informáticos (transporte e consumo doméstico de energia) são mais importantes do que os relacionados com os recursos informáticos.
- ◆ Existe uma compensação entre os impactos evitados do transporte e o consumo excessivo da energia doméstica. A substituição das deslocações irá resultar num consumo doméstico excessivo de energia dos formandos e formadores, ao mesmo tempo que as deslocações para as suas instituições reduzirão os impactos relacionados com o consumo doméstico de energia.
- ◆ Um participante que tem de se deslocar para frequentar um curso tem uma pegada relacionada com o transporte maior do que os impactos relacionados com o consumo doméstico de energia de um participante que não viaja - nas condições de viagem consideradas.
- ◆ O consumo excessivo de energia doméstica depende do país, mas continua a ser importante para qualquer país.
- ◆ O impacto relacionado com os recursos digitais continua a ser minoritário em todos os cenários e não parece ser afetado pela realização do curso presencial ou à distância.
- ◆ Na maioria das vezes, o impacto relacionado com os recursos informáticos deve-se principalmente aos impactos incorporados.
- ◆ O NÍVEL 1 é o NÍVEL que tem mais impacto em todos os cenários.
- ◆ O tempo de vida dos equipamentos é uma das variáveis mais importantes no impacto de uma sessão de aprendizagem digital. Quanto mais tempo durar o equipamento, menor será o impacto da sessão.

08. Resultados: Efeitos indiretos

A secção anterior apresentou algumas ordens de grandeza para se perceber os chamados impactos diretos induzidos por um curso digital. No entanto, esta secção apresenta uma visão parcial dos impactos da educação à distância. Com efeito, a introdução de processos digitais no contexto da educação tem levado a mudanças socioeconómicas na produção e consumo de aprendizagem e outros serviços que podem conduzir a novos impactos ambientais. Propomos detalhar e caracterizar os impactos indiretos identificados durante os grupos de foco. Quando relevante, propomos combinar os efeitos identificados com um ou vários dos tipos de efeitos indiretos definidos no Quadro 1.

8.1 Commuting reduction

Conforme mencionado na secção 2, a aprendizagem digital é apresentada na literatura como uma forma de reduzir os impactos da educação, em grande parte mediante a redução das deslocações de formandos e formadores. Esta redução pareceu óbvia para todos os participantes. Destacamos também a redução das viagens de longa distância no caso de formandos ou formadores residentes no estrangeiro. Ainda não é possível saber se este efeito perdurará no tempo ou se ficará circunscrito à pandemia de Covid-19.

Isto pode ser classificado como *efeito de substituição*, uma vez que a aprendizagem digital tem a capacidade de substituir a aprendizagem presencial, reduzindo os impactos relacionados com as deslocações dos formandos e formadores.

Além de simplesmente reduzir as viagens, alguns estudos referem que uma redução geral nas viagens pode reduzir os efeitos do congestionamento nas horas de ponta (ADEME, 2020):

- Tornar os transportes públicos mais atrativos
- Reduzir o tempo de viagem e a poluição

No entanto, este efeito positivo deverá ser contrabalançado pelos efeitos de ricochete induzidos pela maior atratividade de redes de transporte menos congestionadas. Com efeito, tem-se demonstrado que a redução do congestionamento da rede de transportes pode levar a um novo aumento da sua utilização (Hymel et al., 2010).

“Não fui a lugar nenhum, nem mesmo a Londres durante um ano, embora devesse ter ido. Eu vivo em [cidade] e, como resultado, não fui a Londres durante mais de um ano”

“Há alguns professores que se recusaram a viajar e que permanecem no seu país de origem.”

8.2 Redução do consumo de energia dos edifícios educacionais

Um segundo efeito positivo associado ao processo de aprendizagem digital é a redução do consumo de energia em edifícios educacionais.

A curto prazo, a implementação da aprendizagem digital poderá reduzir o consumo de energia dos edifícios através de um efeito de substituição. Embora a redução do consumo de energia pareça estar diretamente relacionada com o número de aulas ministradas num edifício, este efeito parece ser mais complexo de avaliar. Na realidade, algumas publicações científicas que estudaram os efeitos da redução do consumo de energia nas

universidades durante a COVID mostraram que a redução foi apenas marginal (Filimonau & al, 2020). Isto pode explicar-se pela necessidade de manter um nível de consumo de energia para funções administrativas e pela falta de gestão de energia nos edifícios educacionais.

Mesmo assim, algumas universidades contam com este efeito de substituição para reduzir os seus custos de energia. É o caso da Universidade de Estrasburgo que decidiu fechar as suas instalações durante 2 semanas num contexto de crise energética^[11].

A longo prazo, a generalização do ensino à distância pode conduzir ao abandono e à metalização de alguns edifícios educacionais. No entanto, ainda não é possível avaliar a credibilidade de tal cenário. Além disso, também não é possível avaliar os efeitos líquidos desta dinâmica. Com efeito, poderia reduzir os impactos relacionados com a construção, mas poderia aumentar os outros tempos de viagem, aumentando os impactos do transporte de funcionários e alunos.

8.3 Novas viagens diárias de curta distância

Como visto acima, a aprendizagem digital tem a capacidade de reduzir a poluição induzida pelas deslocações. Apesar desta redução, identificámos a ocorrência de novas deslocações de curta distância possibilitadas pela redução de constrangimentos na sequência da introdução de processos de formação digital.

Alguns participantes mencionaram o aumento do tempo livre devido à eliminação das deslocações até ao local de ensino. Em alguns casos, este tempo livre era utilizado para outras atividades que envolviam transportes.

"Ir a parques ou coisas assim. Muito em cafés também, o que antes não era possível."

Para alguns alunos, a sua residência não permite que façam cursos online em boas condições. Podemos falar sobre questões de acessibilidade. Vários motivos foram citados. A falta de uma ligação de internet suficiente ou a falta de computadores. Um participante referiu que os equipamentos partilhados por um agregado familiar, por vezes, não são suficientes para satisfazer todas as necessidades digitais. O ambiente de trabalho também foi citado como motivo, pois alguns alunos não beneficiam de uma situação suficientemente tranquila. Além disso, a dificuldade com as TIC de alguns alunos leva à necessidade de apoio para utilizares os computadores. Este apoio, geralmente, é dado presencialmente. Finalmente, o desejo de voltar a estar com os pares também foi um motivo indicado.

[11] https://www.francetvinfo.fr/economie/energie/crise-de-l-energie-la-fermeture-prolongee-a-l-universite-de-strasbourg-est-validee_5465512.html

“Há crianças ou famílias que não têm internet, por isso, é impossível fazer formação digital”

“Tive 2/3 de estagiários que tiveram de se deslocar para outro local para fazerem uma formação porque viviam em zonas brancas”

“um dos primeiros obstáculos [...] é mesmo esse desconhecimento do mundo digital.”

“ir e voltar para a casa de [pessoa] e [pessoa] ou de [pessoa] para estudar com colegas”

Desenvolveram-se locais terceiros em alguns territórios para ajudar a aumentar a acessibilidade (lugares diferentes dos locais de trabalho ou de casa). Esses locais podem fornecer ligação à Internet, dispositivos digitais, apoio, etc.

“Se tiverem uma má ligação ou não tiverem um computador eficiente para acompanhar a formação, têm a possibilidade de se deslocarem a locais terceiros que se distribuem por todo o território de [Região], significa que têm a possibilidade de ir para um local terceiro próximo do seu local de residência para ter o equipamento adequado para seguir a formação eficazmente”

“Hoje, na verdade, estamos a conversar com algumas comunidades que desejam criar locais terceiros onde se pode fazer a formação.”

Se tais locais são uma abordagem promissora para permitir que a população aceda a formação digital, isso reduz o benefício da redução de viagens. Esta desvantagem foi mencionada por um participante, que a pesou em relação ao benefício social.

“Há 20 anos, eu estava convencido de que o ensino à distância era melhor porque não havia necessidade de viajar. [...] hoje, na verdade, a questão é questionarmos se, em certos casos, [...] é melhor que haja um local onde os utilizadores tenham acesso a equipamentos onde possam receber formação, ter acesso à educação, mesmo que isso signifique viajar [...], mas vai criar um valor social”

Isto pode ser classificado como *ricochete direto*, uma vez que a redução do constrangimento temporal permitido pela aprendizagem digital pode, paradoxalmente, conduzir a novos consumos de transportes de curta distância, criando novos impactos ambientais.

8.4 Novas viagens diárias de longa distância

Além das possíveis novas viagens de curta distância, também destacámos nas ovas viagens de longa distância induzidas pela aprendizagem digital. Esses tipos de viagem podem ter impactos importantes, uma vez que é menos provável que sejam feitas com meios de transporte de baixo carbono.

Alguns participantes mencionaram a possibilidade de fazerem os seus cursos a partir de uma segunda casa, o que implica o transporte até à mesma. Da mesma forma, alguns participantes mencionaram a organização de viagens para outra região ou país durante os períodos de aulas.

“Até me permiti sair de férias, por exemplo, para [região] visitar [pessoa] coisa que não me permitia

fazer antes [...] Então, é verdade que me permite ter mais tempo e ficar menos em casa. [...] Aproveitei o tempo para me movimentar porque precisava de ter um ambiente que fosse diferente do meu quarto e da minha cozinha. Estava a trabalhar”

“viagens de longo prazo, diremos. Não férias, mas para estudar fora da minha casa e do meu local de residência, mas sem viagens diárias, percebe, viagens de longo prazo em vez de viagens diárias”

Isto pode ser classificado como *ricochete direto*, uma vez que a redução dos constrangimentos de tempo e presença permitida pela aprendizagem digital pode conduzir a novos consumos de transportes de longa e média distância, criando novos impactos ambientais.

8.5 Efeito da educação

O papel da educação para o alinhamento da nossa sociedade dentro das fronteiras planetárias é regularmente citado como uma forma de reduzir os impactos de todos os setores de atividade.

Poderíamos mencionar a educação dos cidadãos sobre questões ambientais globais. É também o caso no âmbito da formação profissional, desde as boas práticas ambientais até ao apoio à transformação de práticas (agrícolas, industriais...).

Finalmente, o papel da educação é também crucial para apoiar as transformações socioeconómicas induzidas pelas políticas de transição ecológica (mudança de horizontes profissionais, eliminação de certas indústrias, aumento das necessidades humanas noutras...).

O efeito da educação não é específico da aprendizagem digital. No entanto, a aprendizagem digital oferece novos canais de formação que podem facilitar a sua generalização.

8.6 Obesidade de conteúdos

Descobrimos que a aprendizagem digital participou no aumento geral na produção e fornecimento de conteúdos de aprendizagem. A redundância de conteúdos foi um motivo indicado. Como cada instituição pode ter a sua própria plataforma, os conteúdos podem ser alojados em vários locais.

“Na verdade, os mesmos conteúdos serão utilizados X vezes em todos os lugares”

O modelo de negócios de conteúdos de formação é outro motivo indicado. Na realidade, as plataformas generalistas em concorrência devem oferecer conteúdos que abrangem os campos disciplinares mais amplos possíveis, levando à redundância.

“Quando é consumidor, quer ver algo em matemática e tem 46 plataformas que o propõem, porque são mercados e todos estão a tentar ganhar a vida com eles”

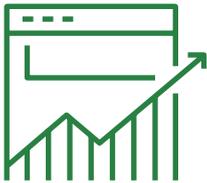
A obesidade de conteúdos é uma consequência da submutualização de conteúdos e plataformas, levando à redundância.

“Não existe este aspeto de mutualização.”

Isto deve ser perspectivado com a possibilidade de oferta de conteúdos formativos mais personalizados, permitindo um maior acesso à formação por parte da população.

“[isto] ampliou o alcance dos nossos clientes, atingindo pessoas que não tinham necessariamente uma ideia de ensino à distância, então, é bastante positivo, terem-se alterado hábitos”

Este fenómeno pode ser classificado como *ricochete direto*, uma vez que a introdução da aprendizagem digital aumentou a produção global de conteúdos de aprendizagem. A produção e manutenção de novos conteúdos digitais levam a novos impactos ambientais relacionados com o desenvolvimento e o alojamento.



8.7 Maior consumo de conteúdos de formação

A maioria dos formandos que participaram no nosso grupo de foco reportou um aumento no número de cursos online seguidos. O número de cursos ministrados pela respetiva instituição manteve-se estável, mas os participantes reportaram um aumento nos cursos realizados de forma autónoma, independentemente da sua instituição. A familiarização com a aprendizagem digital, a diversidade de conteúdos disponibilizados online e a possibilidade de acompanhar conteúdos de aprendizagem a baixo ou nenhum custo fora do contexto de uma instituição foram as principais causas apontadas durante os grupos de foco.

Este fenómeno pode ser classificado como *ricochete direto*, uma vez que a introdução da aprendizagem digital aumentou a produção e consumo globais de conteúdos de aprendizagem. Embora alguns cursos digitais tenham substituído os cursos presenciais, outros devem ser atribuídos a novos consumos. Assim, poderíamos argumentar que a aprendizagem digital levou a um *efeito de empilhamento* dos conteúdos de formação. O aumento absoluto do consumo de conteúdos digitais pode levar a novos impactos ambientais.

“Acho que houve muito mais conteúdos de vídeo nos últimos cinco anos, está bastante democratizado”.

“Existe uma multiplicação da utilização, uma diversificação da utilização e uma multiplicação de canais digitais para alcançar os alunos de diferentes formas. É uma tendência que está a consolidar-se”

8.8 Prateleira de conteúdos com pó

Grande parte dos conteúdos de aprendizagem é replicada em plataformas corporativas semelhantes ao Moodle para ser integrada no plano de formação interno. **Percebemos que, muitas vezes, os conteúdos de aprendizagem permanecem na plataforma da instituição, mesmo que estejam desatualizados ou não sejam seguidos. Esses recursos induzirão o consumo de recursos, tais como armazenamento.** Registrar conteúdos numa plataforma e alojá-los induz impactos ambientais, por pouca ou nenhuma necessidade. Para descrever este problema, deu-se a imagem de conteúdos numa prateleira.

“acabam nas prateleiras porque não satisfazem uma necessidade identificada”

“poderíamos conversar sobre os conteúdos nas prateleiras.”

Assim, referimo-nos a estes fenómenos como o *efeito de prateleira* de conteúdos com pó, que é essencialmente provocado pelo modelo económico da aquisição de conteúdos de aprendizagem. Como a maior parte do investimento económico já foi feito na compra, os conteúdos são mantidos nas plataformas, por vezes, sem monitorização ou processo de descomissionamento.

“Bom, eles têm conteúdos pelos quais pagaram e que nunca foram utilizados”

O facto de que os seus conteúdos poderem ficar numa prateleira sem serem utilizados foi um problema real levantado pelos especialistas durante os grupos de foco.

“é um receio, [...] que coloquemos soluções que funcionam de forma pontual”

A classificação da necessidade é, portanto, de grande importância. Um especialista partilhou connosco algumas das perguntas importantes que fez durante uma entrevista com um cliente potencial para reduzir este efeito.

“precisa de uma plataforma, porquê, na verdade? O que vai colocar nessa plataforma e quem vai construir os conteúdos que vão estar nesta plataforma?”

Este efeito aumenta os impactos relacionados com o ensino sem fornecer valor adicional.

8.9 Obesidade de software

Hoje em dia, a aprendizagem digital depende de vários tipos de programas de software (consultar a secção 6.1.1). Do ponto de vista das partes interessadas, o número de ferramentas disponíveis utilizadas na aprendizagem digital aumentou recentemente. Por um lado, isto é visto como uma boa oportunidade para melhorar a qualidade dos cursos.

Por outro lado, é possível utilizar softwares de forma descoordenada. **Um participante até utilizou o termo *obesidade de software*. Por exemplo, pessoas nas mesmas instituições costumam utilizar ferramentas diferentes para atingir o mesmo objetivo, o que pode levar à inconsistência do software.**

A redução dos custos da plataforma é um dos motivos apontados para a multiplicidade de softwares utilizados. Muitos softwares SaaS podem ser utilizados parcialmente de forma gratuita, reduzindo, assim, as restrições de seleção, pois a utilização do software num curso não está sujeito à validação da instituição. Este fenómeno pode ser classificado como *ricochete direto*, uma vez que uma redução dos constrangimentos de preço e seleção levaram a um aumento do consumo global de software de aprendizagem digital.

Outro motivo apontado pelos especialistas foi o apego das instituições às ferramentas e não aos métodos de ensino.

“Existem mais recursos e mais ferramentas que podem permitir uma troca e interatividade muito maiores.”

“Há 20 anos [...] não tínhamos nada, não havia ferramentas, [...] hoje em dia, é verdade que há tanta coisa que está a ser desenvolvida”

“Existe uma infinidade de ferramentas, por exemplo, quadros brancos, ferramentas de post IT e por aí fora.”

“o que é um pouco, acho eu, uma obesidade do software, das soluções”

“Todos eles têm um pouco da mesma funcionalidade,”

“O que seria ótimo era ter uma ferramenta como o zoom, que integra soluções interativas”

“percebemos que hoje existem muitas soluções gratuitas”

“Existe uma fixação em ferramentas. Quantas vezes nos encontramos com empresas, escolas e organizações de formação; Chamam-nos para aumentar as suas competências em ensino a distância ou querem desenvolver o ensino à distância internamente. E a primeira coisa de que lhe falam, de que estão a falar no momento, mas ainda assim, é da plataforma. Vem para uma reunião, preciso de uma plataforma e aqui está, preciso de uma plataforma, mas ótimo, mas como é antes da plataforma? “

“É verdade que existe uma fixação por ferramentas.”

8.9 Obesidade de software

Alguns participantes destacaram a falta de integração do software com os dispositivos existentes ou com o processo de formação. Por exemplo, é dada pouca formação em software de aprendizagem digital aos formadores.

Todos estes efeitos podem levar a uma subutilização do software, uma vez que as necessidades que deveriam satisfazer não estão bem definidas. A subutilização pode classificar a utilização do software em poucas aulas ou a utilização parcial das funcionalidades oferecidas pelo software. Um participante explica este efeito pela falta de exploração funcional por parte dos formadores.

Este fenómeno pode ser classificado como *ricochete direto*, uma vez que a introdução da aprendizagem digital aumentou a produção global de software de aprendizagem. A produção e manutenção de novo software podem levar a novos impactos ambientais relacionados com o seu desenvolvimento ou utilização.

“Na verdade, eu tinha muitas ferramentas nos meus armários, mas ninguém sabia como utilizá-las.”

“Eles têm armários cheios de ferramentas e soluções que são desenvolvidas pelos serviços de inovação de I&D em Paris [...], nunca é integrada nos dispositivos.”

“nunca mudou, então, temos uma infinidade de ferramentas digitais que não são utilizadas porque não foram pensadas para os utilizadores, ou seja, uma ferramenta é imposta a um professor.”

“Nunca vão até o fim das ferramentas. [...] Não há exploração funcional.”

8.10 Familiarização com o consumo online

A evolução dos hábitos trazida pela aprendizagem digital teve consequências no consumo de outros conteúdos digitais pelos participantes. **Em geral, os alunos universitários reportaram um grande aumento no seu consumo digital.** É difícil dizer se a causa foi o confinamento ou a introdução da aprendizagem digital.

Um dos elementos mencionados foi a multiplicação de eventos sociais como reuniões familiares, reuniões de associações ou eventos públicos. Parte deste aumento pode ser atribuído à substituição parcial (híbrida) ou total dos eventos presenciais.

Porém, segundo os participantes, outra parte do aumento deve-se à introdução de novos eventos. Alguns participantes atribuíram diretamente a criação destes novos eventos à sua familiarização com ferramentas de videoconferência no contexto da aprendizagem online.

"Pode ser um reflexo utilizar a videoconferência mesmo para coisas que não são necessariamente relacionadas com trabalho ou estudo. Especialmente com a família ou amigos que não tínhamos antes."

"Mas é verdade que até nas

reuniões das associações fazemos muito mais videoconferência do que antes"

No contexto profissional, este aumento também tem sido destacado, mas foi maioritariamente atribuído à familiarização de ferramentas à distância em contexto de teletrabalho.

Poderíamos argumentar que a aprendizagem digital participou na transformação sistémica e no aumento do consumo online, resultando num possível aumento dos impactos associados.

8.11 Efeito dos equipamentos novos

O processo de aprendizagem digital implica a necessidade de um local de trabalho digital para formandos e formadores. Quando este material não está disponível para os formandos ou formadores, isso pode implicar o consumo de novos materiais.

Ao contrário daquilo que esperávamos, a aprendizagem digital não foi um motivo importante para a compra de dispositivos informáticos (computador portátil, smartphone, computador de secretária), pois todos os participantes já possuíam, pelo menos, um deles.

Estudantes universitários relataram que os computadores portáteis já eram obrigatórios para acompanhar os seus cursos presenciais. Em alguns casos, as universidades podem

alugar ou emprestar os equipamentos. No contexto profissional, grande parte dos participantes utilizava os seus equipamentos profissionais.

No entanto, a maioria dos participantes relatou os investimentos noutros equipamentos de hardware não obrigatórios para melhorar o seu conforto durante as aulas online: auscultadores, cadeira de escritório ergonómica, segundo ecrã, rato Bluetooth, etc.

"Investi em auscultadores Bluetooth e talvez fosse um pouco relacionado com cursos online"

"Então, só tive de comprar uma câmara para ter uma micro câmara no Mac Mini"

“É interessante ter um ecrã duplo tanto para os formadores como para os formandos”

“Foi apenas um bónus, estou bem com ou sem meus phones”

A compra desses equipamentos pode ser alocada principalmente ao processo de aprendizagem digital, uma vez que foram adquiridos principalmente para o acompanhamento de sessões de aprendizagem digital. No entanto, os participantes utilizaram-nos para outros processos depois de terem investido neles.

Foi mencionado que a crescente procura por potência computacional por parte dos softwares utilizados na educação pode levar a uma renovação precoce dos aparelhos. Por exemplo, um participante teve alguns problemas de sobreaquecimento ao fazer videoconferências.

"Isto causa sobreaquecimento. Sou forçado a desligar o vídeo em geral [...] caso contrário, o Mac Book Air aquece

muito, e isso não é nada agradável em termos de som”

Enquanto os indivíduos registaram poucas mudanças no seu consumo de dispositivos digitais, é diferente para as instituições. Com efeito, foi reportado que algumas instituições tiveram de fazer investimentos importantes para apoiar a digitalização das suas aulas.

“Tem havido uma emergência, uma procura crescente, até exponencial, sobre as necessidades da digitalização. Também as autoridades locais que perceberam que em termos de infraestrutura, não estava pronto nem em termos de servidores, de fluxo, de conectividade, [...] ...”

A participação do processo de aprendizagem digital ou software na compra e renovação antecipada de dispositivos digitais implica novos impactos causados pelo fabrico, transporte e fim de vida de equipamentos novos.

8.12 Efeito de “equipamentos com pó”

No contexto profissional, os funcionários utilizam os seus dispositivos profissionais. A maioria deles é dada pela respetiva organização para o cumprimento das tarefas diárias. A sua utilização no contexto da aprendizagem digital é secundária. Quando são necessários dispositivos específicos de alta tecnologia (como óculos de RV) para a aula, o equipamento é automaticamente emprestado aos participantes pela instituição ou pela organização de formação. No contexto académico, os dispositivos podem ser emprestados a um aluno específico por critérios sociais ou médicos ou distribuídos automaticamente a toda a turma. Isto tem sido observado nas escolas. Embora os participantes valorizem estas iniciativas em muitos casos, demonstrou-se que os equipamentos normalmente são subutilizados. Vários motivos foram mencionados.

8.12 Efeito de “equipamentos com pó”

Quando todos os formandos recebem equipamentos, pode ocorrer a duplicação do dispositivo, pois alguns formandos podem já ter um.

“Os nossos clientes já estão equipados, tentamos adaptar-nos, não os obrigamos a comprar coisas por comprar coisas. Detesto tudo isso, já vi na minha vida muitas prateleiras de comprimidos que nunca foram usados”

Por vezes, os equipamentos disponibilizados não estão integrados nas estratégias pedagógicas da instituição. Assim, os dispositivos fornecidos não serão utilizados pelo corpo docente durante as suas aulas. Isto pode ser causado por uma escolha inconsistente com a utilização necessária ou por falta de formação de formandos e formadores.

“Temos armários cheios de tablets porque, há alguns anos, nós, tentámos lidar com isso, percebemos que era outro negócio. Além disso, os clientes não ficaram satisfeitos porque estávamos a fornecer-lhes um tablet Android. Todos queriam um iPad.”

No contexto académico, o modelo de distribuição de equipamentos pode ser questionado. De acordo com as partes interessadas, a política centrou-se na distribuição de dispositivos e não no apoio às evoluções da prática (criação de conteúdos, formação de formandos e formadores, etc.). Vários motivos foram mencionados, tais como o efeito buzzword (ver secção 8.13) ou a maior facilidade para a política desbloquear o investimento em vez do orçamento operacional.

“Vejo que, em geral, estão superequipados”

“Portanto, os professores acabam com tablets com um LMS para o qual não receberam formação”

Além disso, vários participantes mencionaram uma subutilização significativa de equipamentos específicos de alta tecnologia, em particular óculos de realidade virtual. Esta situação é ainda mais problemática face à rápida evolução tecnológica, obrigando a uma renovação regular para beneficiar dos mais recentes avanços tecnológicos.

“São grandes planos digitais em educação que, muitas vezes, acabam por investir 80% do seu orçamento em hardware”

“Em geral, as comunidades adoram fazer planos de equipamentos. Em primeiro lugar, podem ser fotografados. Em segundo lugar, é um orçamento de capital e não um orçamento operacional, por isso, não é um problema.”

Podemos concluir que a divergência entre os investimentos em dispositivos pedagógicos e a estratégia pedagógica pode levar a uma subutilização dos equipamentos.

A distribuição e renovação regulares destes equipamentos têm impactos ambientais significativos relativamente ao valor limitado que trazem para o processo educativo.

8.13 Efeito buzzword

Quer seja no contexto académico ou profissional, identificámos, durante o grupo de foco, uma tendência da instituição para investir em equipamentos e softwares de alta tecnologia para marcar a modernidade da instituição independentemente da sua estratégia pedagógica. Um participante classificou este efeito como o *efeito moda* e utilizou o termo *buzzwords*.

O termo *efeito uau* também foi utilizado para descrever este efeito.

As tecnologias regularmente citadas são IA, realidade virtual e, mais recentemente, o metaverso.

Tal efeito pode ser observado nos financiamentos públicos e privados direcionados para projetos que utilizam produtos e serviços de alta tecnologia. Para alguns participantes, embora estas tecnologias possam ser úteis, a sua omnipresença nas chamadas de projetos não é valiosa. Eles lamentam o facto de que as pessoas que financiam esses projetos não estão bem conscientes da sua utilização no contexto da aprendizagem digital.

Novamente, a discrepância entre o financiamento das ferramentas pedagógicas e a estratégia pedagógica leva a investimentos em tecnologias que serão subutilizadas.

“existe um divórcio entre padrões que estão mais interessados na parte de marketing da história, e os educadores”

“Quando falamos de educação e formação, é bom partir das abordagens e dos utilizadores e da ambição pedagógica e depois da tecnologia, que deve estar ao serviço da pedagogia e não o contrário.”

Este efeito estimula o mercado de alta tecnologia e os investimentos ao apresentar novas aplicações no contexto da educação digital. Assim, poderia participar num *ricochete em toda a economia* no setor da alta tecnologia. Isto deve ser observado de perto, dados os impactos significativos associados a este setor.

“Penso que existem efeitos de moda nas buzzwords”

“o problema é que estamos sempre no efeito Uau. Bem, falo especialmente sobre realidade virtual. Eu, irei investir em realidade virtual, para poder fazer marketing sobre o assunto. Por outro lado, não se questiona a pedagogia, mais uma vez, não se questionam os efeitos da formação”

“neste momento, encontramos o meta-verso na chamada de projetos”

“Vou levar a IA que hoje é necessária para todos os financiamentos. São muito úteis em alguns tipos de aprendizagem [...], existe uma mais-valia real e, por vezes ,não”

“Há 10 anos que vejo isto, há regularmente itens obrigatórios em qualquer resposta, e isso não corresponde necessariamente a uma utilização que está no topo da necessidade.”

“se não escrever, que existe IA, [...] vão pensar que é um idiota, na verdade, não é inovador, [...] temos de lhes dizer coisas que eles não percebem e, como não percebem, dizem “caramba, é super inovador, é ótimo, vamos financiar isso”

9. Síntese de efeitos

No Quadro 22, sintetizamos todos os efeitos ambientais relacionados com a aprendizagem digital documentados neste estudo. Para cada efeito, classificamos a sua classe (impacto direto, efeito facilitador ou efeito indireto) e o seu tipo de acordo com a classificação proposta no Quadro 1.

Quadro 22. Serviços digitais identificados durante o estudo qualitativo

Efeitos	Classe de efeito	Tipo de efeito (Do Quadro 1)
Impactos NÍVEL 1	Impactos diretos	-
Impactos NÍVEL 2	Impactos diretos	-
Impactos NÍVEL 3	Impactos diretos	-
Impactos do transporte	Impactos diretos	-
Impactos do consumo doméstico de energia	Impactos diretos	-
Redução das deslocações	Efeito facilitador	Substituição
Redução do consumo de energia dos edifícios educacionais	Efeito facilitador	Substituição
Efeito da educação	Efeito facilitador	-
Novas viagens diárias de curta distância	Efeito indireto	Ricochete direto
Novas viagens diárias de longa distância	Efeito indireto	Ricochete direto
Obesidade de conteúdos	Efeito indireto	Ricochete direto
Maior consumo de conteúdos de formação	Efeito indireto	Ricochete direto e efeito de empilhamento
Prateleiras de conteúdos com pó	Efeito indireto	-
Obesidade de software	Efeito indireto	Ricochete direto
Familiarização com o consumo online	Efeito indireto	Transformação sistémica
Equipamento novo	Efeito indireto	-
Equipamentos com pó	Efeito indireto	-
Efeito buzzword	Efeito indireto	Ricochete em toda a economia

10. Recomendações

10.1 Geral

A análise dos impactos diretos da educação online de uma hora mostrou que os principais recursos com impacto num processo de aprendizagem digital são, por ordem de importância:

- ▶ Transporte de formandos e formadores
- ▶ O consumo excessivo dos edifícios
- ▶ Emissões incorporadas dos terminais de utilizador
- ▶ Emissões relacionadas com o consumo de terminais de utilizador
- ▶ Emissões incorporadas e de utilização relacionadas com as infraestruturas digitais (rede e centros de dados)

Muitas das ações necessárias para reduzir estes impactos devem ser empreendidas ao nível das políticas públicas europeias. Não propomos aqui uma lista exaustiva destas orientações gerais. No entanto, podemos mencionar ao nível das políticas públicas: o isolamento dos edifícios, o desenvolvimento da mobilidade suave, a redução da mobilidade com emissões elevadas, a regulamentação da implantação

de novas infraestruturas digitais, o desmantelamento de algumas infraestruturas, etc.

As ações de otimização das infraestruturas devem também ser realizadas pelos operadores de infraestruturas digitais. Os efeitos de ricochete induzidos pela otimização das infraestruturas devem ser cuidadosamente considerados. É preciso ter em conta que estas otimizações devem reduzir as emissões do setor em termos absolutos e não em termos relativos.

Nas próximas partes do presente relatório, centrar-nos-emos nas recomendações que podem ser aplicadas pelos intervenientes no setor da aprendizagem digital, ou seja, instituições de ensino, fornecedores de plataformas e conteúdos, formadores e, por último, formandos.

10. Recomendações

10.2 Ao nível das instituições

10.2.1 Equipamentos

A redução dos impactos relacionados com o equipamento é conseguida principalmente através de:

- ▶ Evitar a duplicação de equipamentos
- ▶ Prolongar o seu tempo de vida para reduzir a taxa de renovação
- ▶ Dimensionar o equipamento à medida certa, ou seja, disponibilizar equipamentos cuja configuração se adapta à sua utilização. Se o equipamento for subdimensionado, terá de ser substituído mais cedo, ao passo que se for sobredimensionado, terá um maior impacto incorporado e consumirá mais eletricidade do que o necessário.

No caso de a instituição oferecer equipamento aos utilizadores, podem aplicar-se as seguintes recomendações:

- ◆ Estudar as necessidades reais antes de investir em equipamentos para evitar ter equipamentos não utilizados
- ◆ Optar por contratos com garantias longas
- ◆ Distribuir equipamentos apenas a utilizadores que não possuam equipamentos equivalentes para evitar duplicações. Isto implica que as instituições devem permitir a utilização de equipamentos pessoais.
- ◆ Partilhar equipamentos entre várias turmas para reduzir o número de equipamentos adquiridos pela instituição
- ◆ Comprar equipamentos usados ou

recondicionados

- ◆ Estabelecer objetivos ambiciosos em termos de tempo de vida, por exemplo, 3 vezes o tempo de vida médio europeu
- ◆ Propor sistematicamente proteção para os terminais dos utilizadores
- ◆ Realocar os equipamentos de acordo com a evolução das necessidades. Os equipamentos que já não são suficientemente potentes para um determinado fim podem continuar a sê-lo para outros.

A sua instituição também é responsável pelos equipamentos que pertencem aos formandos e formadores. Podem aplicar-se várias recomendações para reduzir estes impactos:

- ◆ Promover a reparação e a atualização, oferecendo oficinas de autoreparação ou serviços de reparação
- ◆ Promover a utilização e a compra responsável de equipamentos (longa duração, dimensionamento correto, recondicionamento, etc.)
- ◆ Criar um mercado de segunda mão na sua instituição

10.2.2 Conteúdos e serviços

- ◆ Evitar a duplicação de serviços.
- ◆ Assegurar que os serviços utilizados pela instituição são compatíveis com um número máximo de terminais (diferentes gerações, diferentes tipos de terminais) para evitar obrigar os utilizadores a renovarem os seus equipamentos.

- ◆ Estabelecer uma política de gestão de conteúdos para remover os conteúdos que já não são relevantes (não utilizados, não atualizados) e estudar a necessidade de novos conteúdos. Incentivar a atualização de conteúdos em vez da compra ou criação de novos conteúdos.

10.2.3 Transporte e edifícios

- ◆ Promover modos de transporte ativos e com baixas emissões de carbono, como as bicicletas e os transportes públicos na cidade.
- ◆ Promover a partilha de automóveis em zonas de baixa densidade através da aplicação de políticas de incentivo e de plataformas de partilha de automóveis entre utilizadores.
- ◆ Reduzir as emissões dos edifícios através de medidas de isolamento térmico e de poupança de energia (reduzir as temperaturas de aquecimento, reduzir a utilização de ar condicionado).
- ◆ Tornar controlável a utilização de energia nos edifícios para evitar o consumo de energia em salas de aula vazias.

10.2.4 Outro

Racionalizar os horários para evitar dias híbridos (uma parte à distância e uma parte presencial), a fim de mutualizar o impacto do transporte num número limitado de dias.

10. Recomendações

10.3 Ao nível das plataformas e dos fornecedores de conteúdos



- ◆ Estabelecer uma política de gestão de conteúdos para remover os conteúdos que já não são relevantes (não utilizados, não atualizados) e estudar a necessidade de novos conteúdos. Incentivar a atualização de conteúdos em vez da criação de novos conteúdos.
- ◆ Estabelecer uma política de gestão de funcionalidades para eliminar as funcionalidades que já não são relevantes e estudar se as novas funcionalidades respondem às necessidades reais dos clientes.
- ◆ Optar por uma economia de serviços baseada numa oferta de serviços e não de conteúdos, para evitar a duplicação e a subutilização de conteúdos nas instituições.
- ◆ Conceber a sua plataforma de forma ecológica.
- ◆ Aligeirar os conteúdos:
 - ▶ Reduzir a qualidade dos conteúdos (vídeo, imagens, etc.)
 - ▶ Reduzir a utilização de vídeo
 - ▶ Privilegiar um tipo de conteúdo mais leve (de podcast para vídeo, de ficheiro para conteúdo Web, de ppt para formato comprimido como PDF)
- ◆ Uma vez que os dispositivos do utilizador final representam uma parte importante do impacto ambiental da aprendizagem digital, é essencial que os criadores de programas e conteúdos maximizem a sua compatibilidade com todos os tipos de dispositivos do utilizador final para evitar a renovação antecipada.
 - ▶ Compatível com as máximas gerações
 - ▶ Compatível com o tipo máximo de equipamento
 - ▶ Compatível com uma taxa de fluxo baixa
 - ▶ Atualizações evolutivas e corretivas para permitir aos utilizadores manterem equipamentos incompatíveis com as últimas versões da sua plataforma, beneficiando simultaneamente das correções de segurança.

10.4 Formadores



- ◆ Estudar as necessidades de equipamento digital na sua turma.
- ◆ Estudar os serviços e conteúdos oferecidos pela sua instituição para evitar duplicações.
- ◆ Assegurar a compatibilidade dos serviços e conteúdos utilizados em todos os terminais utilizados pelos alunos para evitar obrigar os formandos a comprarem novos equipamentos.
- ◆ Participar nas discussões relativas à compra de equipamento, serviços e conteúdos para garantir que satisfazem as suas necessidades.

10.5 Formandos



- ◆ Aumentar o tempo de vida do seu equipamento.
- ◆ Utilizar transportes de baixo carbono, principalmente transportes públicos ou bicicleta.

Conclusão

A digitalização foi integrada na maioria dos contextos educativos na Europa, quer se trate de ensino síncrono ou assíncrono, presencial ou à distância. Apesar dos efeitos sociais benéficos no acesso à educação, a digitalização tem também consequências ambientais que devem ser tidas em conta pelo setor educativo.

Para propor uma primeira visão destes impactos, optámos por modelar a pegada de carbono de três cenários normais de educação digital na Europa. Realizaram-se grupos de foco em três países europeus para definir estes cenários e identificar os efeitos ambientais indiretos da aprendizagem digital.

Os resultados fornecidos pelo modelo revelam que o principal impacto provém do consumo excessivo de energia nas casas dos participantes e do transporte residual dos formandos. Os impactos causados pelos recursos digitais (terminais, redes e centro de dados) surgem em segundo lugar. Em todos os cenários, os terminais de utilizador representam o impacto mais significativo dos recursos digitais, devido ao número de dispositivos envolvidos no processo de aprendizagem (pelo menos, um por

pessoa). Em geral, os impactos incorporados (extração, fabrico e fim de vida dos equipamentos digitais) representam a maior parte dos impactos dos recursos digitais antes dos impactos relacionados com a fase de utilização. Esta distribuição (entre impactos de utilização e impactos incorporados) depende do país onde o processo tem lugar, sendo o cabaz energético dos países mais ou menos intensivo em carbono.

Também propusemos uma classificação dos efeitos indiretos induzidos pela aprendizagem digital. Podemos mencionar os efeitos de facilitação, em particular, a redução das deslocações dos participantes, a redução do consumo de energia das instalações educativas e os efeitos na educação. Além disso, destacámos também alguns efeitos de ricochete, tais como as novas viagens de curta e longa distância, assim como efeitos de obesidade de software e hardware, nomeadamente devido à falta de estratégias de compra e de desmantelamento das instituições. Por último, podemos também mencionar os efeitos buzzword que puxam o setor para novas soluções de alta tecnologia, o que pode levar a impactos de importação no futuro.

Estes resultados sugerem que a educação digital não pode ser vista como a única solução para reduzir os impactos ambientais da educação. A transição para uma educação mais sustentável depende sobretudo da nossa capacidade de atingir os nossos objetivos globais de sustentabilidade, como a descarbonização dos transportes e da mistura de eletricidade, assim como o isolamento dos edifícios. As instituições e os indivíduos podem agir marginalmente, adotando práticas sustentáveis como o prolongamento do tempo de vida dos seus equipamentos. Em última análise, os recursos digitais surgem como uma possibilidade educativa adicional que deve fazer parte de uma estratégia pedagógica global que tenha em conta o equilíbrio entre os benefícios educativos e os riscos ambientais.

Referências

- ARCEP & ADEME. Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective evaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France 2^{ème} volet de l'étude. Paris. (2022, 19 janvier). https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/etude-numerique-environnement-ademe-arcep-volet02_janv2022.pdf
- Les Verts EPT, Projet porté par GreenIT.fr, avec les membres de NegaOctet (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center). (2021, 7 décembre). TECHNOLOGIES NUMÉRIQUES EN EUROPE : une approche du cycle de vie environnemental <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-LCA-7-DEC-EN.pdf>
- Les Verts EPT, projet porté par GreenIT.fr, avec les membres de NegaOctet (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center). (2021, 7 décembre). AU-DELÀ DES CHIFFRES : comprendre l'impact des TIC sur l'environnement et agir. https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Final-Behind-the-figures-EN_compressed.pdf
- Les Verts EPT, Projet porté par GreenIT.fr, avec les membres de NegaOctet (DDemain, GreenIT.fr, LCIE CODDE Bureau Veritas, APL data center). (2021, 7 décembre). ANNEXES DU RAPPORT : Les technologies numériques en Europe : une approche environnementale du cycle de vie. <https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2021/12/EU-Study-Appendices-to-the-LCA-EN.pdf>
- DIMPACT. (2021, juin). Impact carbone du streaming vidéo. https://s22.q4cdn.com/959853165/files/doc_events/2021/Carbon-impact-of-video-streaming.pdf
- Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, Umweltbundesamt & Borderstep, pour la Commission européenne, 2018
- VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne. (2020, juillet). Étude d'impact des TIC. Commission européenne.
- Widdicks, K., Hazas, M., Bates, O. et Friday, A. (2019). Streaming, multi-écrans et YouTube. Actes de la conférence CHI 2019 sur les facteurs humains dans les systèmes informatiques. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300696>
- Suski, P., Pohl, J., & Frick, V. (2020). All you can stream. Compte rendu de la 7^e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401709>
- Börjesson Rivera, Miriam, Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt et Göran Finnveden. "Inclure les effets de second ordre dans les évaluations environnementales des TIC". *Environmental Modelling & Software* 56 (2014) : 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>.
- Bieser, J. C. et Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. *Progress in IS*, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- ADEME. (2020). Caractérisation des effets rebond induits par le télétravail,

- Grimal, L., Loreto, I. di, Burger, N., & Troussier, N. (2021). Conception d'une méthode d'évaluation interdisciplinaire pour la durabilité multi-échelle des projets informatiques. Un travail basé sur le cadre d'évaluation de l'informatique durable (SCEF). LIMITS Workshop on Computing within Limits. <https://doi.org/10.21428/bf6fb269.2ee80cf1>
- Schien, D., Shabajee, P., Chandaria, J., Williams, D. et Preist, C. (2021). Using behavioural data to assess the environmental impact of electricity consumption of alternate television service distribution platforms. Dans *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 91, p. 106661). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106661>
- Schien, D., Shabajee, P., Yearworth, M. et Preist, C. (2013). Modeling and Assessing Variability in Energy Consumption During the Use Stage of Online Multimedia Services (Modélisation et évaluation de la variabilité de la consommation d'énergie pendant l'étape d'utilisation des services multimédias en ligne). In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 17, Issue 6, pp. 800-813). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12065>
- Arushanyan, Y., Moberg, Å., Nors, M., Hohenthal, C. et Pihkola, H. (2014). Environmental Assessment of E-media Solutions.
- Malmodin, Jens, et Vlad Coroama. "Assessing ICT's Enabling Effect through Case Study Extrapolation - the Example of Smart Metering (Évaluer l'effet facilitateur des TIC par l'extrapolation d'études de cas - l'exemple des compteurs intelligents). 2016 *Electronics Goes Green 2016+ (EGG)*, 2016. <https://doi.org/10.1109/egg.2016.7829814>.
- ISO, ISO 14044:2006, Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices, 2006
- Arzoumanidis, I., D'Eusano, M., Raggi, A. et Petti, L. (2019). Critères de définition des unités fonctionnelles dans l'analyse du cycle de vie et l'analyse du cycle de vie social : A Discussion. *Perspectives on Social LCA*, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_1
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". *Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour la durabilité*, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Bieser, J. et Hilty, L. (2018). Évaluer les effets environnementaux indirects des technologies de l'information et de la communication (tic) : A systematic literature review. *Sustainability*, 10(8), 2662. <https://doi.org/10.3390/su10082662>
- Institut européen des normes de télécommunication - Ingénierie environnementale (ETSI EE). *Analyse du cycle de vie (ACV) des équipements, réseaux et services TIC ; méthodologie générale et exigences communes*. ETSI ES 203 199 (02/2015) : Version 1.3.1, 2015 50
- Secteur de la normalisation de l'Union internationale des télécommunications (UIT-T). *Méthodologie pour l'évaluation du cycle de vie environnemental des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication*. ITU-T L.1410., 2015

- Arushanyan, Y., Ekener-Petersen, E. et Finnveden, G. (2014). Lessons learned - Review of LCAs for ICT products and services (Leçons apprises - Examen des ACV pour les produits et services TIC). In *Computers in Industry* (Vol. 65, Issue 2, pp. 211-234). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.10.003>
- Raihanian Mashhadi, A., & Behdad, S. (2017). Évaluation de l'impact environnemental de l'hétérogénéité du comportement d'utilisation des consommateurs : An Agent-Based Modeling Approach. In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 22, Issue 4, pp. 706-719). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12622>
- Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer. 2015. Les TIC au service de la durabilité : Un champ de recherche émergent. Dans *ICT Innovations for Sustainability (Advances in Intelligent Systems and Computing)*, Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 3-36. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_1
- Hilty, L. M., Som, C. et Köhler, A. (2004). Assessing the Human, Social, and Environmental Risks of Pervasive Computing (Évaluation des risques humains, sociaux et environnementaux de l'informatique omniprésente). Dans *Human and Ecological Risk Assessment : An International Journal* (Vol. 10, Issue 5, pp. 853-874). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/10807030490513874>
- ADEME, Principes généraux de l'étiquetage environnemental des produits de consommation, Référentiel méthodologique pour l'évaluation environnementale des services numériques, juillet 2021
- Nations Unies. (2015). Accord de Paris. Nations unies. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- GIEC, 2022 : Changements climatiques 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Sous presse.
- WWF Suède, The potential global CO2 reductions from ICT use Identifying and assessing the opportunities to reduce the first billion tonnes of CO2, 2008.
- #SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges (Solutions TIC pour les défis du 21e siècle). (n.d.). https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Pierre-Yves Longaretti et Françoise Berthoud. " Le Numérique, Espoir Pour La Transition Écologique ? " *L'Économie Politique*, n° 90 (mai 2021) : 8-22. <https://doi.org/https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03233585>.
- Christopher L. Weber, Jonathan G. Koomey, H. Scott Matthews, The Energy and Climate Change Implications of Different Music Delivery Methods *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 10.1111/j.1530-9290.2010.00269.x
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. et Friday, A. (2021). Le climat réel et l'impact transformateur des TIC : Une critique des estimations, des tendances et des réglementations. *Patterns*, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>

- Roussilhe G. (Mars 2021). Que peut le numérique pour la transition écologique ? (s.d.). <https://gauthierroussilhe.com/pdf/NTE-Mars2021.pdf>
- Valls-Val, K. et Bovea, M. D. (2021). Carbon footprint in Higher Education Institutions : a literature review and prospects for future research. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(9), 2523-2542. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02180-2>
- Filimonau, Viachaslau, Dave Archer, Laura Bellamy, Neil Smith et Richard Wintrip. "The Carbon Footprint of a UK University during the COVID-19 Lockdown (L'empreinte carbone d'une université britannique pendant le verrouillage COVID-19). *Science of the Total Environment* 756 (février 2021) : 143964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143964>.
- Versteijlen, M., Perez Salgado, F., Janssen Groesbeek, M. et Counotte, A. (2017). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux Pays-Bas. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.004>
- Marieke Versteijlen, Bert van Wee, Arjen Wals. (2020). Exploring sustainable student travel behaviour in The Netherlands : balancing online and on-campus learning | Emerald Insight. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 22(8), 146-166. <https://doi.org/10.1108/IJSHE>
- Marieke Versteijlen, & Anda Counotte. (2018, 9 janvier). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux... *ResearchGate ; Elsevier*. https://www.researchgate.net/publication/322336985_Pros_and_cons_of_online_education_as_a_measure_to_reduce_carbon_emissions_in_higher_education_in_the_Netherlands
- Clément Auger, Benoit Hilloulin, Benjamin Boisserie, Maël Thomas, Quentin Guignard, et al. Estimateur de Bilan Carbone OpenSource : Développement et déclinaison universitaire. *Sustainability*, MDPI, 2021, 13 (8), pp.4315. [ff10.3390/su13084315](https://doi.org/10.3390/su13084315) [ff.fhal-03537646f](https://doi.org/10.3390/su13084315)
- Alharthi, A. D., Spichkova, M. et Hamilton, M. (2018). Exigences de durabilité pour les systèmes d'apprentissage en ligne : une analyse et une revue systématique de la littérature. *Requirements Engineering*, 24(4), 523-543. <https://doi.org/10.1007/s00766-018-0299-9>
- E. Allen & J. Seaman, Sizing the Opportunity, The Quality and Extent of Online Education in the United States, 2002 and 2003, The Sloan Consortium a Consortium of Institutions and Organisations Committed to Quality Online Education Sizing the Opportunit, n.d. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED530060.pdf>.
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". Actes de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Horner, Nathaniel C, Arman Shehabi, et Inês L Azevedo. "Known Unknowns : Effets énergétiques indirects des technologies de l'information et de la communication." *Environmental Research Letters* 11, no. 10 (1er octobre 2016) : 103001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/103001>.

- Santarius, Tilman, Johanna Pohl et Steffen Lange. "La numérisation et le débat sur le découplage : Les TIC peuvent-elles contribuer à réduire les incidences sur l'environnement alors que l'économie continue de croître ?" *Sustainability* 12, no. 18 (11 septembre 2020) : 7496. <https://doi.org/10.3390/su12187496>.
- Kunkel, Stefanie, et David Tyfield. "Digitalisation, industrialisation durable et rebond numérique - Poser les bonnes questions pour un agenda de recherche stratégique." *Energy Research & Social Science* 82 (décembre 2021) : 102295. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102295>.
- Bieser, J. C. T., & Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. *Progress in IS*, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- Kontio, Jyrki, Johanna Bragge et Laura Lehtola. "The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering". *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*, 2008, 93-116. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-044-5_4.
- Plummer, P. (2008, février). Focus group methodology Part 1 : Considerations for design. ResearchGate ; Mark Allen Healthcare. https://www.researchgate.net/publication/224011299_Focus_group_methodology_Part_1_Considerations_for_design
- Anita Gibbs (1997). Focus group. https://openlab.citytech.cuny.edu/her-macdonaldsbs2000fall2015b/files/2011/06/Focus-Groups_Anita-Gibbs.pdf
- Eva Ericsson, Hanna Larsson, Karin Brundell-Freij, Optimizing route choice for lowest fuel consumption - Potential effects of a new driver support tool, 10.1016/j.trc.2006.10.001, *Transportation Research Part C : Emerging Technologies*, 2006.
- Eurostat, (2022). Taille moyenne des ménages. Europa.eu. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_LVPH01__custom_1513607/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=b2cf2ee6-5c29-4f67-bda9-a6137bee6222
- Globalwebindex.com. 2020. Tendances des consommateurs en matière d'utilisation des appareils numériques - GlobalWebIndex. <https://www.globalwebindex.com/reports/device>
- Scarlat, Nicolae, Matteo Prussi et Monica Padella. "Quantification de l'intensité en carbone de l'électricité produite et utilisée en Europe". *Applied Energy* 305 (janvier 2022) : 117901. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117901>.
- Eurostat. (2020). Europa.eu. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- Aslan, Joshua, Kieren Mayers, Jonathan G Koomey, et Chris France. "Intensité électrique de la transmission de données sur Internet : Untangling the Estimates : Electricity Intensity Of..." ResearchGate. Wiley, août 2017. https://www.researchgate.net/publication/318845230_Electricity_Intensity_of_Internet_Data_Transmission_Untangling_the_Estimates_Electricity_Intensity_of_Data_Transmission.

- Malmodin, J. et Lunden, D. (2016). The energy and carbon footprint of the ICT and EaM sector in Sweden 1990-2015 and beyond. Actes de ICT for Sustainability 2016. <https://doi.org/10.2991/ict4s-16.2016.25>
- The shift project dirigé par Hugues ferreboeuf.(mars 2019).Lean ict vers la sobriété numérique rapport du groupe de travail dirigé par pour le think tank the shift project -mars. (s.d.).https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/lean-ict-report_the-shift-project_2019.pdf
- Vlad Constantin Coroama, & Hilty, L. M. (2014, février). Évaluation de l'intensité énergétique d'Internet : Un examen des méthodes et des résultats. ResearchGate ; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/259570379_Assessing_Internet_energy_intensity_A_review_of_methods_and_results
- Matheys, J., Van Autenboer, W., Timmermans, J.-M., Van Mierlo, J., Van den Bossche, P. et Maggetto, G. (2007). Influence de l'unité fonctionnelle sur l'évaluation du cycle de vie des batteries de traction. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(3), 191-196. <https://doi.org/10.1065/lca2007.04.322>
- Jens Malmodin (septembre 2020). The power consumption of mobile and fixed network data services - The case of streaming video and downloading large files (La consommation d'énergie des services de données des réseaux mobiles et fixes - Le cas du streaming vidéo et du téléchargement de fichiers volumineux). https://online.electronicsgoesgreen.org/wp-content/uploads/2020/10/Proceedings_EGG2020_v2.pdf#page=87
- Umweltbundesamt dirigé par Jens Gröge, Ran Liu, Dr. Lutz Stobbe, Jan Druschke, Nikolai Richter.(2021). Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu Umweltwirkungen des Cloud Computing. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf
- Guillaume Charret, Alexis Arnaud, Françoise Berthoud, Bruno Azeznik, Anthony Defize, et al. Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données. [Rapport de recherche] CNRS - GRICAD. 2020. hal-03573790
- Eurostat. (2022). Émissions moyennes de CO2 par km des voitures particulières neuves (source : AEE, DG CLIMA). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_30/default/table?lang=en
- Reitan, F. A. (2014). L'effet de rebond : Un modèle de simulation du télétravail. Ntnu.no. <https://doi.org/742058>
- Röder, D. et Nagel, K. (2014). Analyse intégrée de la consommation d'énergie des navetteurs. Procedia Computer Science, 32, 699-706. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.479>
- Van Lier, T., De Witte, A., & Macharis, C. (2012). L'impact du télétravail sur les externalités du transport : The Case of Brussels Capital Region. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 54, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.743>
- Caird, Sally ; Lane, Andrew ; Swithenby, Edward ; Roy, Robin et Potter, Stephen (2015). Design of higher education teaching models and carbon impacts. International Journal of Sustainability in Higher Education, 16(1) pp. 96-111.

- Perez Salgado F, de Kraker J, Boon J, Van der Klink M : Compétences pour l'éducation au changement climatique dans un contexte de mobilité virtuelle. *Int J Innov Sustain Dev* 2012, 1:53-65.
- Jevon, William Stanley. *The Coal Question ; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines (La question du charbon ; enquête sur les progrès de la nation et l'épuisement probable de nos mines de charbon)*. Londres, Royaume-Uni : Macmillan & Co, 1865.
- Energy-efficient Cloud Computing Technologies and Policies for an Eco-friendly Cloud Market, Umweltbundesamt & Borderstep, pour la Commission européenne, 2018
- VHK et Viegand Maagøe pour la Commission européenne. (2020, juillet). Étude d'impact des TIC. Commission européenne.
- Widdicks, K., Hazas, M., Bates, O. et Friday, A. (2019). Streaming, multi-écrans et YouTube. Actes de la conférence CHI 2019 sur les facteurs humains dans les systèmes informatiques. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300696>
- Suski, P., Pohl, J., & Frick, V. (2020). All you can stream. Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401709>
- Börjesson Rivera, Miriam, Cecilia Håkansson, Åsa Svenfelt et Göran Finnveden. "Inclure les effets de second ordre dans les évaluations environnementales des TIC". *Environmental Modelling & Software* 56 (2014) : 105–15. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.02.005>.
- Bieser, J. C. et Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. *Progress in IS*, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- ADEME. (2020). Caractérisation des effets rebond induits par le télétravail,
- Grimal, L., Loreto, I. di, Burger, N., & Troussier, N. (2021). Conception d'une méthode d'évaluation interdisciplinaire pour la durabilité multi-échelle des projets informatiques. Un travail basé sur le cadre d'évaluation de l'informatique durable (SCEF). *LIMITS Workshop on Computing within Limits*. <https://doi.org/10.21428/bf6fb269.2ee80cfl>
- Schien, D., Shabajee, P., Chandaria, J., Williams, D. et Preist, C. (2021). Using behavioural data to assess the environmental impact of electricity consumption of alternate television service distribution platforms. Dans *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 91, p. 106661). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106661>
- Schien, D., Shabajee, P., Yearworth, M. et Preist, C. (2013). Modeling and Assessing Variability in Energy Consumption During the Use Stage of Online Multimedia Services (Modélisation et évaluation de la variabilité de la consommation d'énergie pendant l'étape d'utilisation des services multimédias en ligne). In *Journal of Industrial Ecology* (Vol. 17, Issue 6, pp. 800-813). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12065>
- Arushanyan, Y., Moberg, Å., Nors, M., Hohenthal, C. et Pihkola, H. (2014). *Environmental Assessment of E-media Solutions*.

- Malmodin, Jens, et Vlad Coroama. "Assessing ICT's Enabling Effect through Case Study Extrapolation - the Example of Smart Metering (Évaluer l'effet facilitateur des TIC par l'extrapolation d'études de cas - l'exemple des compteurs intelligents). 2016 Electronics Goes Green 2016+ (EGG), 2016. <https://doi.org/10.1109/egg.2016.7829814>.
- ISO, ISO 14044:2006, Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices, 2006
- Arzoumanidis, I., D'Eusanio, M., Raggi, A. et Petti, L. (2019). Critères de définition des unités fonctionnelles dans l'analyse du cycle de vie et l'analyse du cycle de vie social : A Discussion. Perspectives on Social LCA, 1-10. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01508-4_1
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". Compte rendu de la 7e conférence internationale sur les TIC pour la durabilité, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Bieser, J. et Hilty, L. (2018). Évaluer les effets environnementaux indirects des technologies de l'information et de la communication (tic) : A systematic literature review. Sustainability, 10(8), 2662. <https://doi.org/10.3390/su10082662>
- Institut européen des normes de télécommunication - Ingénierie environnementale (ETSI EE). Analyse du cycle de vie (ACV) des équipements, réseaux et services TIC ; méthodologie générale et exigences communes. ETSI ES 203 199 (02/2015) : Version 1.3.1, 2015 50
- Secteur de la normalisation de l'Union internationale des télécommunications (UIT-T). Méthodologie pour l'évaluation du cycle de vie environnemental des biens, réseaux et services des technologies de l'information et de la communication. ITU-T L.1410., 2015
- Arushanyan, Y., Ekener-Petersen, E. et Finnveden, G. (2014). Lessons learned - Review of LCAs for ICT products and services (Leçons apprises - Examen des ACV pour les produits et services TIC). In Computers in Industry (Vol. 65, Issue 2, pp. 211-234). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.10.003>
- Raihanian Mashhadi, A., & Behdad, S. (2017). Évaluation de l'impact environnemental de l'hétérogénéité du comportement d'utilisation des consommateurs : An Agent-Based Modeling Approach. In Journal of Industrial Ecology (Vol. 22, Issue 4, pp. 706-719). Wiley. <https://doi.org/10.1111/jiec.12622>
- Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer. 2015. Les TIC au service de la durabilité : Un champ de recherche émergent. Dans ICT Innovations for Sustainability (Advances in Intelligent Systems and Computing), Lorenz M. Hilty et Bernard Aebischer (Eds.). Springer International Publishing, Cham, 3-36. https://doi.org/10.1007/978-3-319-09228-7_1
- Hilty, L. M., Som, C. et Köhler, A. (2004). Assessing the Human, Social, and Environmental Risks of Pervasive Computing (Évaluation des risques humains, sociaux et environnementaux de l'informatique omniprésente). Dans Human and Ecological Risk Assessment : An International Journal (Vol. 10, Issue 5, pp. 853-874). Informa UK Limited. <https://doi.org/10.1080/10807030490513874>
- ADEME, Principes généraux de l'étiquetage environnemental des produits de consommation, Référentiel méthodologique pour l'évaluation environnementale des services numériques, juillet 2021

- Nations Unies. (2015). Accord de Paris. Nations unies. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
- GIEC, 2022 : Changements climatiques 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du groupe de travail II au sixième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Sous presse.
- WWF Suède, The potential global CO2 reductions from ICT use Identifying and assessing the opportunities to reduce the first billion tonnes of CO2, 2008.
- #SMARTer2030 ICT Solutions for 21st Century Challenges (Solutions TIC pour les défis du 21e siècle). (n.d.). https://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report.pdf
- Pierre-Yves Longaretti et Françoise Berthoud. " Le Numérique, Espoir Pour La Transition Écologique ? " L'Économie Politique, n° 90 (mai 2021) : 8-22. <https://doi.org/https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03233585>.
- Christopher L. Weber, Jonathan G. Koomey, H. Scott Matthews, The Energy and Climate Change Implications of Different Music Delivery Methods Journal of Industrial Ecology, 2010, 10.1111/j.1530-9290.2010.00269.x
- Freitag, C., Berners-Lee, M., Widdicks, K., Knowles, B., Blair, G. S. et Friday, A. (2021). Le climat réel et l'impact transformateur des TIC : Une critique des estimations, des tendances et des réglementations. Patterns, 2(9), 100340. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100340>
- Roussilhe G. (Mars 2021). Que peut le numérique pour la transition écologique ? (s.d.). <https://gauthierroussilhe.com/pdf/NTE-Mars2021.pdf>
- Valls-Val, K. et Bovea, M. D. (2021). Carbon footprint in Higher Education Institutions : a literature review and prospects for future research. Clean Technologies and Environmental Policy, 23(9), 2523-2542. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02180-2>
- Filimonau, Viachaslau, Dave Archer, Laura Bellamy, Neil Smith et Richard Wintrip. "The Carbon Footprint of a UK University during the COVID-19 Lockdown (L'empreinte carbone d'une université britannique pendant le verrouillage COVID-19). Science of the Total Environment 756 (février 2021) : 143964. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143964>.
- Versteijlen, M., Perez Salgado, F., Janssen Groesbeek, M. et Counotte, A. (2017). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux Pays-Bas. Current Opinion in Environmental Sustainability, 28, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.09.004>
- Marieke Versteijlen, Bert van Wee, Arjen Wals. (2020). Exploring sustainable student travel behaviour in The Netherlands : balancing online and on-campus learning | Emerald Insight. International Journal of Sustainability in Higher Education, 22(8), 146-166. <https://doi.org/10.1108/IJSHE>

- Marieke Versteijlen, & Anda Counotte. (2018, 9 janvier). Avantages et inconvénients de l'enseignement en ligne comme mesure de réduction des émissions de carbone dans l'enseignement supérieur aux... ResearchGate ; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/322336985_Pro Pros_and_cons_of_online_education_as_a_measure_to_reduce_carbon_emissions_in_higher_education_in_the_Netherlands
- Clément Auger, Benoit Hilloulin, Benjamin Boisserie, Maël Thomas, Quentin Guignard, et al. Estimateur de Bilan Carbone OpenSource : Développement et déclinaison universitaire. Sustainability, MDPI, 2021, 13 (8), pp.4315. [ff10.3390/su13084315](https://doi.org/10.3390/su13084315)[ff. fhal-03537646f](https://doi.org/10.3390/su13084315)
- Alharthi, A. D., Spichkova, M. et Hamilton, M. (2018). Exigences de durabilité pour les systèmes d'apprentissage en ligne : une analyse et une revue systématique de la littérature. Requirements Engineering, 24(4), 523-543. <https://doi.org/10.1007/s00766-018-0299-9>
- E. Allen & J. Seaman, Sizing the Opportunity, The Quality and Extent of Online Education in the United States, 2002 and 2003, The Sloan Consortium a Consortium of Institutions and Organisations Committed to Quality Online Education Sizing the Opportunit, n.d. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED530060.pdf>.
- Coroamă, Vlad C., Pernilla Bergmark, Mattias Höjer et Jens Malmodin. "Une méthodologie pour évaluer les effets environnementaux induits par les services TIC". Actes de la 7e conférence internationale sur les TIC pour le développement durable, 2020. <https://doi.org/10.1145/3401335.3401716>.
- Horner, Nathaniel C, Arman Shehabi, et Inês L Azevedo. "Known Unknowns : Effets énergétiques indirects des technologies de l'information et de la communication." Environmental Research Letters 11, no. 10 (1er octobre 2016) : 103001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/103001>.
- Santarius, Tilman, Johanna Pohl et Steffen Lange. "La numérisation et le débat sur le découplage : Les TIC peuvent-elles contribuer à réduire les incidences sur l'environnement alors que l'économie continue de croître ?" Sustainability 12, no. 18 (11 septembre 2020) : 7496. <https://doi.org/10.3390/su12187496>.
- Kunkel, Stefanie, et David Tyfield. "Digitalisation, industrialisation durable et rebond numérique - Poser les bonnes questions pour un agenda de recherche stratégique." Energy Research & Social Science 82 (décembre 2021) : 102295. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102295>.
- Bieser, J. C. T., & Hilty, L. M. (2018). Une approche pour évaluer les effets environnementaux indirects de la numérisation basée sur une perspective d'utilisation du temps. Progress in IS, 67-78. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99654-7_5
- Kontio, Jyrki, Johanna Bragge et Laura Lehtola. "The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering". Guide to Advanced Empirical Software Engineering, 2008, 93-116. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-044-5_4.
- Plummer, P. (2008, février). Focus group methodology Part 1 : Considerations for design. ResearchGate ; Mark Allen Healthcare. https://www.researchgate.net/publication/224011299_Focus_group_methodology_Part_1_Considerations_for_design
- Anita Gibbs (1997). Focus group. https://openlab.citytech.cuny.edu/her-macdonaldsbs2000fall2015b/files/2011/06/Focus-Groups_Anita-Gibbs.pdf

- Eva Ericsson, Hanna Larsson, Karin Brundell-Freij, Optimizing route choice for lowest fuel consumption - Potential effects of a new driver support tool, 10.1016/j.trc.2006.10.001, Transportation Research Part C : Emerging Technologies, 2006.
- Eurostat, (2022). Taille moyenne des ménages. Europa.eu. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ILC_LVPH01__custom_1513607/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=b2cf2ee6-5c29-4f67-bda9-a6137bee6222
- Globalwebindex.com. 2020. Tendances des consommateurs en matière d'utilisation des appareils numériques - GlobalWebIndex. <https://www.globalwebindex.com/reports/device>
- Scarlat, Nicolae, Matteo Prussi et Monica Padella. "Quantification de l'intensité en carbone de l'électricité produite et utilisée en Europe". Applied Energy 305 (janvier 2022) : 117901. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117901>.
- Eurostat. (2020). Europa.eu. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/shares>
- Aslan, Joshua, Kieren Mayers, Jonathan G Koomey, et Chris France. "Intensité électrique de la transmission de données sur Internet : Untangling the Estimates : Electricity Intensity Of..." ResearchGate. Wiley, août 2017. https://www.researchgate.net/publication/318845230_Electricity_Intensity_of_Internet_Data_Transmission_Untangling_the_Estimates_Electricity_Intensity_of_Data_Transmission.
- Malmodin, J. et Lunden, D. (2016). The energy and carbon footprint of the ICT and EaM sector in Sweden 1990-2015 and beyond. Actes de ICT for Sustainability 2016. <https://doi.org/10.2991/ict4s-16.2016.25>
- The shift project dirigé par Hugues ferreboeuf.(mars 2019).Lean ict vers la sobriété numérique rapport du groupe de travail dirigé par pour le think tank the shift project -mars. (s.d.).https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/03/lean-ict-report_the-shift-project_2019.pdf
- Vlad Constantin Coroama, & Hilty, L. M. (2014, février). Évaluation de l'intensité énergétique d'Internet : Un examen des méthodes et des résultats. ResearchGate ; Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/259570379_Assessing_Internet_energy_intensity_A_review_of_methods_and_results
- Matheys, J., Van Autenboer, W., Timmermans, J.-M., Van Mierlo, J., Van den Bossche, P. et Maggetto, G. (2007). Influence de l'unité fonctionnelle sur l'évaluation du cycle de vie des batteries de traction. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(3), 191-196. <https://doi.org/10.1065/lca2007.04.322>
- Jens Malmodin (septembre 2020). The power consumption of mobile and fixed network data services - The case of streaming video and downloading large files (La consommation d'énergie des services de données des réseaux mobiles et fixes - Le cas du streaming vidéo et du téléchargement de fichiers volumineux). https://online.electronicsgoesgreen.org/wp-content/uploads/2020/10/Proceedings_EGG2020_v2.pdf#page=87
- Umweltbundesamt dirigé par Jens Gröge, Ran Liu, Dr. Lutz Stobbe, Jan Druschke, Nikolai Richter.(2021). Green Cloud Computing, Lebenszyklusbasierte Datenerhebung zu

- Umweltwirkungen des Cloud Computing. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-06-17_texte_94-2021_green-cloud-computing.pdf
- Guillaume Charret, Alexis Arnaud, Françoise Berthoud, Bruno Azeznik, Anthony Defize, et al. Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données. [Rapport de recherche] CNRS - GRICAD. 2020. hal-03573790
- Eurostat. (2022). Émissions moyennes de CO2 par km des voitures particulières neuves (source : AEE, DG CLIMA). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_12_30/default/table?lang=en
- Reitan, F. A. (2014). L'effet de rebond : Un modèle de simulation du télétravail. Ntnu.no. <https://doi.org/742058>
- Röder, D. et Nagel, K. (2014). Analyse intégrée de la consommation d'énergie des navetteurs. *Procedia Computer Science*, 32, 699-706. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.479>
- Van Lier, T., De Witte, A., & Macharis, C. (2012). L'impact du télétravail sur les externalités du transport : The Case of Brussels Capital Region. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 54, 240-250. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.743>
- Caird, Sally ; Lane, Andrew ; Swithenby, Edward ; Roy, Robin et Potter, Stephen (2015). Design of higher education teaching models and carbon impacts. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1) pp. 96-111.
- Perez Salgado F, de Kraker J, Boon J, Van der Klink M : Compétences pour l'éducation au changement climatique dans un contexte de mobilité virtuelle. *Int J Innov Sustain Dev* 2012, 1:53-65.
- Jevon, William Stanley. *The Coal Question ; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal Mines (La question du charbon ; enquête sur les progrès de la nation et l'épuisement probable de nos mines de charbon)*. Londres, Royaume-Uni : Macmillan & Co, 1865.

Apêndice

Quadro A1. Características de utilização dos dispositivos dos utilizadores finais

Dispositivo	Consumo elétrico anual (kWh/ano)	Tempo médio de utilização por ano (horas/ano)	Consumo médio de energia (Wh)
Computadores portáteis	30,96	1299	24
Tablets	18,6	1095	17
Smartphones	3,9	880	4,4
Computadores de secretária	104,39	1292	81
Segundos monitores	70	1387	50
Computadores de secretária + monitor	-	-	81+50=131

Quadro A2. Fator de impacto europeu da eletricidade consumida em baixa tensão (Scarlat & al. 2022)

País	Código	Fator de impacto (kgCo2eq./kWh)
Europa	EEE	0,334
Áustria	AUT	0,264
Bélgica	BEL	0,23
Bulgária	BGR	0,544
Croácia	HRV	0,372
Chipre	CYP	0,791
Dinamarca	DNK	0,158
Estónia	EST	0,472
Finlândia	FIN	0,141
França	FRA	0,098
Alemanha	DEU	0,422
Grécia	GRC	0,78
Hungria	HUN	0,338
Islândia	ISL	0,026
Irlanda	IRL	0,384
Itália	ITA	0,356
Letónia	LVA	0,325
Lituânia	LTU	0,321
Luxemburgo	LUX	0,338
Malta	MLT	0,463
Países Baixos	NLD	0,45
Polónia	POL	0,805
Portugal	PRT	0,324
Roménia	ROU	0,464
Eslováquia	SVK	0,346
Eslovénia	SVN	0,307
Espanha	ESP	0,279
Suécia	SWE	0,04

Quadro A3. Modelo Roder (2014) aplicado aos países europeus

País	Consumo variável por 1h adaptado de Roder (2014)	50 %	-50 %
União Europeia - 27 países	0,90	1,36	0,45
Bélgica	1,17	1,76	0,59
Bulgária	0,57	0,86	0,29
República Checa	1,09	1,64	0,55
Dinamarca	1,38	2,08	0,69
Alemanha	1,19	1,79	0,60
Estónia	1,17	1,76	0,59
Irlanda	1,05	1,58	0,53
Grécia	0,59	0,89	0,30
Espanha	0,51	0,76	0,25
França	0,97	1,45	0,48
Croácia	0,96	1,44	0,48
Itália	0,85	1,28	0,43
Chipre	0,70	1,05	0,35
Letónia	0,94	1,40	0,47
Lituânia	0,81	1,21	0,40
Luxemburgo	1,43	2,15	0,72
Hungria	0,83	1,24	0,41
Malta	0,37	0,55	0,18
Países Baixos	0,93	1,40	0,47
Áustria	1,27	1,91	0,64
Polónia	0,75	1,13	0,38
Portugal	0,49	0,74	0,25
Roménia	0,68	1,02	0,34
Eslovénia	0,08	0,12	0,04
Eslováquia	0,77	1,16	0,39
Finlândia	1,61	2,41	0,80
Suécia	1,08	1,62	0,54

Quadro A4. Intensidade de carbono de cada fonte de energia utilizada no setor da construção na Europa

SIEC (Etiquetas)	Mín (kgCO ₂ e q./kWh PCI)	Fonte	Máx (kgCO ₂ e q./kWh PCI)	Fonte	Comentário
Combustíveis fósseis sólidos turfa produtos de turfa xisto betuminoso e areias betuminosas	0,374	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,421	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Média de Charbon à coke, Charbon à vapeur, Charbon sous-bitumineux, Houille arrondis au 10eme
Gás natural	0,239	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,244	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Eur. Gás natural
Gás natural liquefeito	0,238	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,238	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Gás natural liquefeito (GNL)
Petróleo e produtos petrolíferos	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Gasóleo de aquecimento (FOD)
Gases de petróleo liquefeitos	0,27	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,27	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Propano / Butano
Outro queresone	0,312	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,312	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Queresone (jato A ou A1)
Gasóleo e diesel	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	0,329	https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?solides3.htm	Gasóleo de aquecimento (FOD)
Renováveis e biocombustíveis	0,0302	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/37	0,816	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/37	Biodiesel - cenário máximo de alteração do uso dos solos
Solar térmico	0	Hipótese	0,045	IPCC	
Calor ambiente (bombas de calor)	Fator elétrico/1	Fontes especializadas múltiplas	Fator elétrico/6	Fontes especializadas múltiplas	Eficiência de 3 kWh PCI por kWh de eletricidade
Biocombustíveis sólidos primários	0,0109	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/36	0,0174	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/36	Resíduos de madeira - "Adjuvante" (material triturado crivado sem sair do estatuto de resíduo não perigoso)". - Valor máximo
Biogás	0,014	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/462	0,142	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/462	Biopropano - à base de óleo de colza 0,142 kgCO ₂ e/kWh PCI
Eletricidade	Fator elet	Ver quadro 10	Fator elet	Ver quadro 10	
Calor	0,004	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene/index/page/Reseau_de_chaleur	0,455	https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene/index/page/Reseau_de_chaleur	

Quadro A5. Proporção do consumo final de energia nos agregados familiares em 2020 por país europeu - de [NRG_D_HHQ_custom_4463338]

SIEC (Etiquetas)	Combustíveis fósseis sólidos turfa produtos de turfa xisto betuminoso e areias betuminosas	Gás natural	Gás natural liquefeito	Petróleo e produtos petrolíferos	Gases de petróleo liquefeitos	Outros	Gasóleo e diesel	Renováveis e biocombustíveis	Solar térmico	Calor ambiente (bombas de calor)	Biocombustíveis sólidos primários	Biogás	Eletricidade	Calor
1-Europa	2,88 %	32,02 %	0,00 %	12,53 %	0,00 %	0,49 %	9,65 %	19,17 %	0,86 %	2,48 %	16,08 %	0,13 %	25,08 %	8,33 %
Bélgica	0,41 %	38,63 %	0,00 %	32,32 %	0,00 %	0,35 %	29,61 %	8,28 %	0,32 %	1,32 %	6,39 %	0,00 %	20,18 %	0,18 %
Bulgária	4,17 %	4,03 %	0,00 %	0,89 %	0,00 %	0,00 %	0,05 %	36,07 %	0,48 %	0,00 %	35,59 %	0,00 %	40,99 %	13,85 %
República Checa	9,99 %	25,65 %	0,00 %	0,66 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	31,23 %	0,20 %	2,58 %	28,45 %	0,00 %	18,98 %	13,49 %
Dinamarca	0,00 %	13,69 %	0,00 %	4,05 %	0,00 %	0,02 %	3,24 %	23,90 %	0,29 %	5,26 %	18,36 %	0,00 %	21,77 %	36,58 %
Alemanha	0,55 %	37,52 %	0,00 %	22,45 %	0,00 %	0,01 %	20,76 %	14,03 %	1,24 %	2,17 %	9,86 %	0,51 %	18,85 %	6,62 %
Estónia	0,11 %	5,96 %	0,00 %	0,73 %	0,00 %	0,00 %	0,20 %	41,81 %	0,00 %	0,00 %	41,81 %	0,00 %	18,21 %	33,17 %
Irlanda	11,56 %	18,83 %	0,00 %	42,98 %	0,00 %	31,44 %	8,86 %	2,58 %	0,45 %	1,31 %	0,83 %	0,00 %	24,04 %	0,00 %
Grécia	0,07 %	10,36 %	0,00 %	29,55 %	0,00 %	0,06 %	28,15 %	23,53 %	6,58 %	1,96 %	14,04 %	0,00 %	35,25 %	1,23 %
Espanha	0,32 %	24,08 %	0,00 %	17,13 %	0,00 %	0,00 %	11,17 %	15,84 %	1,85 %	1,24 %	12,68 %	0,00 %	42,62 %	0,00 %
França	0,05 %	27,78 %	0,00 %	11,13 %	0,00 %	0,41 %	8,77 %	21,97 %	0,46 %	6,09 %	15,42 %	0,00 %	35,87 %	3,20 %
Croácia	0,08 %	21,34 %	0,00 %	4,57 %	0,00 %	0,00 %	2,61 %	46,03 %	0,50 %	0,64 %	44,58 %	0,00 %	22,96 %	5,01 %
Itália	0,00 %	51,97 %	0,00 %	6,10 %	0,00 %	0,01 %	2,51 %	20,52 %	0,59 %	0,31 %	19,43 %	0,00 %	18,57 %	2,84 %
Chipre	0,00 %	0,00 %	0,00 %	30,20 %	0,00 %	3,67 %	16,81 %	27,22 %	17,24 %	3,80 %	4,22 %	0,00 %	42,58 %	0,00 %
Letónia	0,12 %	9,85 %	0,00 %	4,69 %	0,00 %	0,00 %	2,92 %	40,61 %	0,00 %	0,00 %	40,60 %	0,00 %	13,54 %	31,19 %
Lituânia	2,43 %	12,16 %	0,00 %	3,81 %	0,00 %	0,00 %	1,54 %	34,03 %	0,00 %	1,94 %	32,10 %	0,00 %	18,25 %	29,31 %
Luxemburgo	0,05 %	52,10 %	0,00 %	27,35 %	0,00 %	0,11 %	27,15 %	4,20 %	0,52 %	0,47 %	3,21 %	0,00 %	16,30 %	0,00 %
Hungria	1,20 %	64,36 %	0,00 %	1,69 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,58 %	0,31 %	0,22 %	26,92 %	0,00 %	22,18 %	10,00 %
Malta	0,00 %	0,00 %	0,00 %	14,67 %	0,00 %	0,00 %	0,15 %	13,33 %	4,88 %	7,12 %	1,34 %	0,00 %	72,00 %	0,00 %
Países Baixos	0,00 %	67,90 %	0,00 %	0,39 %	0,00 %	0,06 %	0,08 %	5,95 %	0,24 %	1,56 %	4,08 %	0,00 %	22,76 %	3,00 %
Áustria	0,30 %	21,26 %	0,00 %	14,04 %	0,00 %	0,00 %	13,61 %	29,53 %	1,68 %	2,58 %	25,09 %	0,00 %	23,12 %	11,75 %
Polónia	28,40 %	18,81 %	0,00 %	3,35 %	0,00 %	0,00 %	0,37 %	15,60 %	0,41 %	1,62 %	13,58 %	0,00 %	14,05 %	19,79 %
Portugal	0,00 %	9,74 %	0,00 %	14,92 %	0,00 %	0,00 %	1,76 %	36,33 %	2,01 %	8,47 %	25,41 %	0,00 %	38,98 %	0,03 %
Roménia	0,56 %	34,03 %	0,00 %	3,53 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	38,31 %	0,00 %	0,00 %	38,31 %	0,00 %	14,66 %	8,91 %
Eslovénia	0,00 %	9,84 %	0,00 %	12,38 %	0,00 %	0,00 %	9,95 %	41,64 %	0,96 %	4,41 %	36,27 %	0,00 %	29,14 %	6,99 %
Eslováquia	1,96 %	41,66 %	0,00 %	0,24 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	22,81 %	0,26 %	1,35 %	21,17 %	0,00 %	18,40 %	14,92 %
Finlândia	0,07 %	0,45 %	0,00 %	5,18 %	0,00 %	0,00 %	4,17 %	30,87 %	0,05 %	9,44 %	21,38 %	0,00 %	35,83 %	27,60 %
Suécia	0,00 %	0,26 %	0,00 %	3,07 %	0,00 %	0,00 %	1,47 %	12,35 %	0,14 %	0,00 %	11,96 %	0,25 %	50,88 %	33,43 %

Quadro A6. Intensidade carbónica do consumo final de energia nos agregados familiares em 2020 (kgCO2eq./kWh)

País	MÉDIA (kgCO2eq./kWh)	MÍN (kgCO2eq./kWh)	MÁX (kgCO2eq./kWh)
1-Europa	0,37	0,27	0,47
Bélgica	0,38	0,35	0,42
Bulgária	0,44	0,27	0,62
República Checa	0,35	0,19	0,51
Dinamarca	0,28	0,10	0,46
Alemanha	0,40	0,32	0,47
Estónia	0,36	0,12	0,60
Irlanda	0,47	0,45	0,48
Grécia	0,61	0,50	0,71
Espanha	0,34	0,28	0,41
França	0,28	0,18	0,37
Croácia	0,37	0,18	0,57
Itália	0,32	0,23	0,41
Chipre	0,64	0,52	0,76
Letónia	0,34	0,11	0,57
Lituânia	0,33	0,13	0,54
Luxemburgo	0,38	0,36	0,40
Hungria	0,27	0,24	0,30
Malta	0,46	0,39	0,53
Países Baixos	0,30	0,27	0,34
Áustria	0,36	0,22	0,51
Polónia	0,40	0,29	0,52
Portugal	0,38	0,22	0,53
Roménia	0,35	0,18	0,52
Eslovénia	0,39	0,21	0,58
Eslováquia	0,31	0,18	0,44
Finlândia	0,29	0,10	0,48
Suécia	0,17	0,04	0,29

Quadro A7. Valores de aprendizagem digital síncrona para o cenário europeu médio

Nome	Valor	Fonte
Geral		
Participantes	21,6 (média)	Inquérito - 263 participantes válidos
Duração	1 hora	Unidade funcional
NÍVEL 1		
Localização	Europa	Cenário europeu
Smartphone / Unidades	10,1	Inquérito - 123 (46,8%)
Smartphone / Tempo de utilização por processo	3,63 horas	Inquérito
Smartphone / Tempo de utilização por dia	2,41 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Smartphone / tempo de vida	2,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Potência média	4,43 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador portátil / Unidades	20,5	Inquérito - 249 (94,7%)
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	4,58 horas	Inquérito
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,56 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador portátil / Tempo útil	4 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador portátil / Potência média	23,83 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador de secretária / Unidades	5	Inquérito - 62 (23,6%)
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	4,96 horas	Inquérito
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,54 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador de secretária / vida útil	5,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador de secretária / Potência média	80,79 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Segundo monitor / Unidades	10,7	Inquérito - 130 (49,4%)
Segundo ecrã / Tempo de utilização por processo	4,37 horas	Inquérito
Segundo ecrã / Tempo de utilização por dia	3,8 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Segundo ecrã / Vida útil	6 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Segundo ecrã / Potência média	50,47 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Tablet / Unidades	3,7	Inquérito - 45 (17,1%)
Tablet / Tempo de utilização por processo	2,89 horas	Inquérito
Tablet / Tempo de utilização por dia	2 horas	Hipótese
Tablet / vida útil	3 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Tablet / Potência média	16,99 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)

NÍVEL 2		
Proxy de rede	por linha	
Tempo de ligação por processo	1 hora	
Utilização da Internet por dia por pessoa	3,3 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Número de utilizadores de Internet por linha	2,3	Dimensão média dos agregados familiares na Europa (27) do Eurostat (2020)
Rede móvel	30 %	Hipótese
Rede fixo	70 %	Hipótese
NÍVEL 3		
Localização	Europa	
Videoconferência / Horas	1 hora	Por definição do cenário
Videoconferência / Número de Participantes	21,6	Inquérito
Transporte		
Localização	Europa	
Método	Média	
Carros / Unidades	0,6	Inquérito - 5,7% têm de viajar, destes, 47% usam o carro pessoal
Distância média (km)	40 km	Inquérito
Consumo doméstico de energia (Habitação)		
Location	Europe	
Number of remote participants	20,37	Survey - 94,3% are not traveling

Quadro A8. Distribuição por fonte de aprendizagem digital síncrona para o cenário europeu médio

Nível 1	2,74E+00 kgCO2eq.
Nível 2	4,66E-01 kgCO2eq.
Nível 3	1,61E-02 kgCO2eq.
Transporte	3,11E+00 kgCO2eq.
Habitação	6,75E+00 kgCO2eq.
Habitação (mín)	2,45E+00 kgCO2eq.
Habitação (máx)	1,29E+01 kgCO2eq.

Quadro A9. Valores para o cenário do ensino universitário online em Portugal

Nome	Valor	Fonte
Geral		
Participantes	60	60 participantes
Duração	1 hora	Unidade funcional

NÍVEL 1		
Localização	Portugal	Cenário europeu
Smartphone / Unidades	20	Caso de utilização
Smartphone / Tempo de utilização por processo	1	Caso de utilização
Smartphone / Tempo de utilização por dia	2,41 horas	Caso de utilização
Smartphone / tempo de vida	2,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Potência média	4,43 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador portátil / Unidades	20	Caso de utilização
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	1	Caso de utilização
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,56 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador portátil / Tempo útil	4 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador portátil / Potência média	23,83 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador de secretária / Unidades	20	Caso de utilização
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	1	Caso de utilização
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,54 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador de secretária / tempo de vida	5,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador de secretária / Potência média	80,79 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
NÍVEL 2		
Tempo de ligação por processo	1 hora	
Utilização da Internet por dia por pessoa	3,3 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Número de utilizadores de Internet por linha	2,3	Dimensão média dos agregados familiares na Europa (27) do Eurostat (2020)
Rede móvel	30 %	Hipótese
Rede fixo	70 %	Hipótese
NÍVEL 3		
Localização	US	
Armazenamento / GB/ano	1 GB/ano	Caso de utilização
Videoconferência / Horas	1 hora	Caso de utilização
Videoconferência / Número de Participantes	60	60 participantes
Consumo doméstico de energia		
Localização	Portugal	Hipótese
Número de participantes remotos	60	60 participantes

Quadro A10. Distribuição por fonte para o caso de utilização 1

Nível 1	2,73E+00 kgCO2eq.
Nível 2	1,30E+00 kgCO2eq.
Nível 3	1,95E-01 kgCO2eq.
Transporte	0,00E+00 kgCO2eq.
Habitação	1,12E+01 kgCO2eq.
Habitação (mín)	3,30E+00 kgCO2eq.
Habitação (máx)	2,38E+01 kgCO2eq.

Quadro A11. Valores de aprendizagem digital síncrona para o cenário europeu médio

Nome	Valor	Fonte
General		
Duração	1 hora	Unidade funcional
NÍVEL 1		
Localização	Europa	Cenário europeu
Smartphone / Unidades	0,38	Inquérito - 73 (38%)
Smartphone / Tempo de utilização por processo	3,86 horas	Inquérito
Smartphone / Tempo de utilização por dia	2,41 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Smartphone / tempo de vida	2,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Potência média	4,43 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador portátil / Unidades	0,95	Inquérito - 179 (94,7%)
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	5,01 horas	Inquérito
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,56 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador portátil / Tempo útil	4 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador portátil / Potência média	23,83 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador de secretária / Unidades	0,22	Inquérito - 41 (21,7%)
Computador de secretária / Tempo de utilização por processo	5,07 horas	Inquérito
Computador de secretária / Tempo de utilização por dia	3,54 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador de secretária / tempo de vida	5,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador de secretária / Potência média	80,79 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)

Segundo monitor / Unidades	0,5	Inquérito - 94 (49,7%)
Segundo ecrã / Tempo de utilização por processo	5,68 horas	Inquérito
Segundo ecrã / Tempo de utilização por dia	3,8 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Segundo ecrã / Tempo de vida	6 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Segundo ecrã / Potência média	50,47 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Tablet / Unidades	0,15	Inquérito - 29 (15,3%)
Tablet / Tempo de utilização por processo	2,95 horas	Inquérito
Tablet / Tempo de utilização por dia	2 horas	Hipótese
Tablet / tempo de vida	3 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Tablet / Potência média	16,99 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)

NÍVEL 2		
Proxy de rede	por linha	
Tempo de ligação por processo	1 hora	
Utilização da Internet por dia por pessoa	3,3 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Número de utilizadores de Internet por linha	2,3	Dimensão média dos agregados familiares na Europa (27) do Eurostat (2020)
Rede móvel	30 %	Hipótese
Rede fixo	70 %	Hipótese
NÍVEL 3		
Localização	Europa	
Streaming / N.º de participantes	0,427	Inquérito - 42,7% têm conteúdos de vídeo
Streaming / Horas	1	
Transporte		
Localização	Europa	
Método	Média	
Carros / Unidades	0,02	Inquérito - 5,3% têm de viajar, destes, 30% usam o carro pessoal
Distância média (km)	81,2 km	Inquérito
Consumo doméstico de energia		
Localização	Europa	
Número de participantes remotos	0.947	Inquérito - 94,7% não estão a viajar

Quadro A12. Distribuição por fonte de aprendizagem digital assíncrona para o cenário europeu médio

Nível 1	1,18E-01 kgCO2eq.
Nível 2	2,16E-02 kgCO2eq.
Nível 3	1,05E-04 kgCO2eq.
Transporte	2,11E-01 kgCO2eq.
Habitação	3,14E-01 kgCO2eq.
Habitação (mín)	1,14E-01 kgCO2eq.
Habitação (máx)	5,99E-01 kgCO2eq.

Quadro A13. Valores para a plataforma de aprendizagem baseada no Moodle para o mercado belga

Nome	Valor	Fonte
General		
Participantes	300	300 participantes
Duração	1 hora	Unidade funcional
NÍVEL 1		
Localização	Bélgica	Cenário europeu
Computador portátil / Unidades	150	Caso de utilização
Laptop / Use time per process	1	Use case
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	1	Caso de utilização
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,56 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador portátil / Tempo de vida	4 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador portátil / Potência média	23,83 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador de secretária / Unidades	150	Hipótese
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	1	Hipótese
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,54 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador de secretária / tempo de vida	5,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
NÍVEL 2		
Dados trocados (GB)	150 GB	0,5 GB por pessoa (Hipótese)
Rede móvel	30 %	Caso de utilização
Rede fixo	70 %	Caso de utilização
NÍVEL 3		
Localização	Bélgica	Caso de utilização
Streaming / N.º de participantes	300	Caso de utilização
Streaming / Horas	1	Caso de utilização

Transporte		
Location	Belgium	Use case
Method	Average	
Cars / Units	75	Use case
Average distance (km)	25	Use case
Consumo doméstico de energia		
Location	Belgium	Use case
Number of remote participants	150	Use case

Quadro A14. Distribuição por fonte para o caso de utilização 2

Nível 1	2,01E+01 kgCO2eq.
Nível 2	7,54E+00 kgCO2eq.
Nível 3	1,63E-01 kgCO2eq.
Transporte	2,58E+02 kgCO2eq.
Habitação	6,76E+01 kgCO2eq.
Habitação (mín)	3,07E+01 kgCO2eq.
Habitação (máx)	1,11E+02 kgCO2eq.

Quadro A15. Valores de aprendizagem presencial para o cenário europeu médio

Nome	Valor	Fonte
General		
Participantes	26,7 (média)	253 participantes
Duração	1 hora	Unidade funcional
TIER 1		
Localização	Europa	Cenário europeu
Smartphone / Unidades	13,8	Inquérito - 131 (51,8%)
Smartphone / Tempo de utilização por processo	3,51 horas	Inquérito
Smartphone / Tempo de utilização por dia	2,41 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Smartphone / tempo de vida	2,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Smartphone / Potência média	4,43 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador portátil / Unidades	25,3	Inquérito - 240 (94,9%)
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	4,56 horas	Inquérito
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,56 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador portátil / Tempo de vida	4 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador portátil / Potência média	23,83 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Computador de secretária / Unidades	5,6	Inquérito - 53 (21%)
Computador portátil / Tempo de utilização por processo	4,12 horas	Inquérito
Computador portátil / Tempo de utilização por dia	3,54 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Computador de secretária / tempo de vida	5,5 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Computador de secretária / Potência média	80,79 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Segundo monitor / Unidades	8,7	Inquérito - 82 (32,4%)
Segundo ecrã / Tempo de utilização por processo	4,74 horas	Inquérito
Segundo ecrã / Tempo de utilização por dia	3,8 horas	Global Webindex Device Report (2020)
Segundo ecrã / Tempo de vida	6 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Segundo ecrã / Potência média	50,47 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Tablet / Unidades	3,9	37 (14,6%)
Tablet / Tempo de utilização por processo	4,03 horas	Inquérito
Tablet / Tempo de utilização por dia	2 horas	Hipótese
Tablet / tempo de vida	3 anos	VHK and Viegand Maagøe, (2020)
Tablet / Potência média	16,99 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)

Transporte		
Localização	Europa	
Método	Média	
Carros / Número de passageiros	12	Inquérito - 114 (45%)
Distância média (km)	57,8 km	Inquérito

Quadro A16. Distribuição por fonte de aprendizagem presencial para o cenário europeu médio

Nível 1	3,30E+00 kgCO2eq.
Transporte	9,00E+01 kgCO2eq.

Quadro A17. Valores da aula presencial de francês profissional

Nome	Valor	Fonte
General		
Participantes	10	10 participantes
Duração	1 hora	Unidade funcional
NÍVEL 1		
Localização	França	Caso de utilização
Tablet / Unidades	10	Caso de utilização
Tablet / Tempo de utilização por processo	1	Caso de utilização
Tablet / Tempo de utilização por dia	1 hora	Caso de utilização
Tablet / tempo de vida	1,5 anos	Caso de utilização
Tablet / Potência média	16,99 W	Quadro 9 de VHK and Viegand Maagøe (2020)
Transporte		
Localização	França	Caso de utilização
Método	Média	
Carros / Unidades	5	Caso de utilização
Carros / Número de passageiros	1	Caso de utilização
Distância média (km)	20	Caso de utilização

0100

Quadro A18. Distribuição por fonte para o caso de utilização 3

Nível 1	1,84E+00 kgCO2eq.
Transporte	1,33E+01 kgCO2eq.



GREEN IT FOR VET PROVIDERS



hubblo



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

