
FORÇA-TAREFA DIGITAL TWIN BR: A COMPUTAÇÃO PARA O "PULMÃO" DO PLANETA?

A PREPRINT

Marcelo Pias*

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Centro de Ciências Computacionais (C3)
Rio Grande - Rio Grande do Sul
mpias@furg.br

Raimundo Macêdo

Universidade Federal da Bahia (UFBA)
LaSiD - Laboratório de Sistemas Distribuídos
Salvador - Bahia
macedo@ufba.br

October 11, 2021

Keywords Computação para o Planeta · Gêmeo Digital para o Brasil · Convergência de Silos de Dados · Tecnologias Digitais para o Planeta

1 A Computação e as Mudanças Climáticas

Eventos extremos tem ocorrido com maior frequência nos últimos anos. Chuvas sem precedência devastaram partes central da China e Europa continental, causando destruição de residências e deixando até o momento um saldo triste de 205 vítimas fatais na Alemanha, Bélgica e Holanda². Temperaturas em torno de 49 graus celsius assolaram o Canada, incluindo também a região de Seattle nos EUA, situação que vitimou centenas de pessoas. No Brasil, eventos de seca extrema, considerada histórica para os meses de maio a setembro, estão sendo observados em várias regiões³.

Esses recentes eventos parecem isolados considerando apenas o contexto de uma área geográfica. Entretanto, ao analisar os efeitos em uma escala global percebe-se que o aquecimento do planeta já antecipado pode ser a causa dessa sequência de eventos. A reunião do *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* da ONU publicou a primeira parte do relatório denominado *Sixth Assessment Report (AR6)*. Este é um marco pois atualizará as informações científicas estabelecidas no tema de emissões de gases efeito estufa, bem como ratificará as projeções para aquecimento e seu impacto no futuro. O relatório traz, além das informações relatadas em 2013, um novo olhar, com foco em condições extremas de tempo e impactos regionais⁴. O relatório faz um sumário de mais de 14.000 estudos em que os autores concluem que sem dúvida as pessoas aqueceram o planeta, causando mudanças rápidas e de grandes proporções aos oceanos e superfícies terrestres e de geleiras. Em quase todos os cenários de emissões, o aquecimento global deve atingir um aumento de 1,5 graus Celsius por volta de 2030. E com isto, o sistema climático continuará aquecendo caso o *net-zero* em emissões de CO₂ não seja alcançado. O relatório mostra cientificamente e de forma robusta que o *net-zero* é uma ferramenta eficaz para estabilizar ou até reduzir as temperaturas da superfícies.

Com isto, a mensagem direta é de que os governantes tem a obrigação de criar políticas agressivas com intuito de reduzir o mais rápido possível as emissões de CO₂ em seus territórios. Infelizmente, apesar da enorme consciência da problemática, ainda falta preparo aos governantes, situação que leva à quase inexistência de uma estratégia global coordenada para adaptação às mudanças climáticas. Entretanto, iniciativas positivas de muitos países lideram a corrida em busca do marco "*net zero*"⁵ para emissões de dióxido de carbono até o ano de 2050. O desafio é imenso, e

*Proponentes tem grande preocupação com o nosso meio ambiente. Algumas atividades: Cambridge Sensor Kit (CSK Energy) para monitorar a emissão de CO₂ em prédios governamentais; Projeto EC H2020 ASTRAL para criar gêmeos digitais na aquicultura sustentável; Indignação com o consumo desenfreado de computadores a que todos somos submetidos. Inúmeros são os impactos ambientais causados pela fabricação, utilização e armazenamento inadequado das sucatas dos computadores.

²<https://edition.cnn.com/2021/07/22/europe/germany-belgium-europe-floods-death-climate-intl/index.html>

³<https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/31/como-seca-historica-no-brasil-traz-risco-de-inflacao-e-acionamento-de-energia.ghtml>

⁴AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis (reports). <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

⁵*net zero* refere-se ao balanço entre a quantidade de gases de efeito estufa e a quantidade retirada destes gases da atmosfera.

chama por políticas públicas e intervenções para balancear as emissões de CO₂ com a sua remoção, seja por *offsetting* (deslocamento) ou eliminando as emissões pela sociedade, em transição para uma economia *green* (pós-carbono).

A **comunidade da computação** tem uma oportunidade ímpar de contribuir com estes esforços. O entendimento acerca das mudanças climáticas necessariamente deve passar por algoritmos e tecnologia digital. Este documento faz um chamado à comunidade da Sociedade Brasileira da Computação (SBC) ao propor uma **força-tarefa** com intuito de contribuir com a preparação de um diagnóstico e *roadmap* sobre tecnologias digitais para sustentabilidade do planeta, especificamente focalizando o Brasil, com uma área geográfica e biodiversidade consideradas como o **pulmão** da Terra.

Este documento, estruturado em cinco seções, primeiramente introduz duas visões de *Digital Twins para o planeta* com intuito de motivar a proposta da força-tarefa no âmbito da computação. Na Seção 3 é apresentada uma lista de perguntas para o escopo inicial. Por fim, as Seções 4 e 5 propõem o plano de trabalho, e a composição dos integrantes da força-tarefa, respectivamente.

1.1 Gêmeo Digital: abordagem evolucionária?

Digital Twin, ou gêmeo digital, é um conceito inicialmente concebido para os processos de produção industrial. O objetivo é otimizar as operações complexas por meio de um fluxo de trabalho altamente integrado, combinando uma réplica digital do processo com observações em tempo-real do sistema físico [Bauer et al., 2021a].

Digital Twin para o Planeta [Bauer et al., 2021b] é uma proposta ambiciosa do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*) para um sistema de réplica digital do estado e evolução temporal do sistema da Terra, respeitando as restrições de dados observacionais e as leis da física [Bauer et al., 2021b]. Esta visão de futuro, alinhada à uma frente de pensamento, preconiza os modelos de simulação baseados na física como a abordagem mais adequada para explorar mecanismos de adaptação e estratégias de mitigação. O *Digital Twin* destaca exatamente a convergência da modelagem física com a modelagem por aprendizado de máquina em cima dos dados de observação.

Esta abordagem de gêmeos digitais, aqui preliminarmente denominada por evolucionária, propõe modificar o processo de *assimilação de dados* desenvolvido, com métodos numéricos, nas últimas décadas pela comunidade de previsão de tempo (Figura 1). Este processo executa simulações de alta resolução do sistema Terra, e consolida dados de sensores IoT, incluindo satélites miniaturizados, drones com câmeras, cabos e boias instrumentadas em oceanos, sensores de solo na agricultura, dados de *smartphones* equipados com sensores na nova tendência de **ciência cidadã**.

A abordagem evolucionária capitaliza nos investimentos realizados nos últimos 40 anos em hardware e software sob medida. O código legado encontra-se escrito em FORTRAN. Portanto, re-escrevê-lo para a linguagem C/C++ traz o benefício do acesso às novas arquiteturas multiprocessadas escalares/vetoriais (ex. GPUs)⁶. Entretanto, este trabalho torna-se muito oneroso e possivelmente proibitivo se o custo da reprogramação for colocado na balança. A iniciativa do NOAA, ainda que na forma de um piloto, tem o mérito em criar um mecanismo de tradução automática de código FORTRAN para o C/C++ CUDA com intuito de acelerar aplicações por uso de GPUs [Govett et al., 2010].

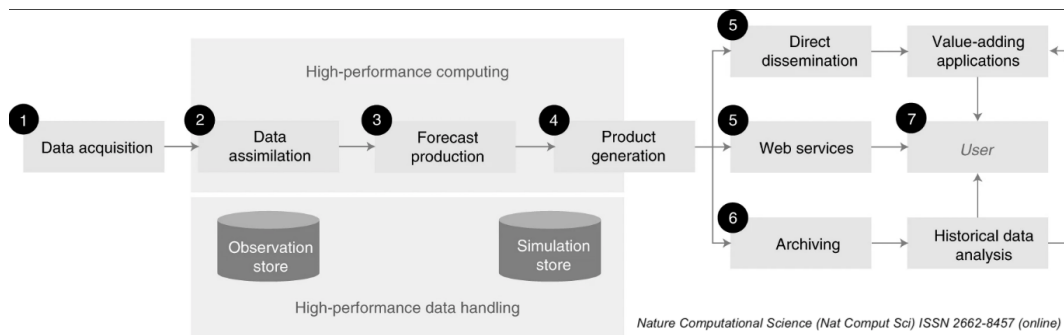


Figure 1: (1) aquisição de dados observacionais e pré-processamento; (2) assimilação de dados em modelos para o cálculo de condições iniciais para previsões (componente proposto como *Digital Twin*); (3) previsões usando modelos de simulação do "sistema-Terra"; (4) geração de resultados para os usuários; (5) disseminação direta de saída bruta e aplicações web; (6) armazenamento de dados para reuso em análises estatísticas e diagnóstico de desempenho; (7) aplicações específicas de usuários e data analytics.

⁶Perfect Storm: DSAs Embrace Deep Learning for GPU-Based Computer Vision, 2019, 32nd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images Tutorials (SIBGRAPI-T), 2019.

1.2 Digital Twin: Abordagem revolucionária?

A Royal Society em seu relatório *Digital technology and the planet: Harnessing computing to achieve net zero* [Society, 2020] apresentou uma visão de como tecnologias digitais devem contribuir para as questões de mudanças climáticas nas próximas décadas. A visão explora a IA e o IoT como parte do principal pilar de um ambicioso conceito que de forma progressiva integraria sistemas de dados de países e seus setores econômicos em um *Planetary Digital Twin* e *loop de controle* para monitorar, simular e otimizar a emissão de gases de efeito estufa pelos setores industriais, agricultura e consumidores.

Digital Twinning, na proposta da Royal Society, contextualiza a coleta de dados de sensores observando aspectos de um processo e desta forma os dados servem para criar uma simulação sobre a atividade. O *loop de controle* agora estabelecido utilizaria dados capturados sobre atividades econômicas do mundo real para retro-alimentar a simulação. O diagrama da Figura 2 exemplifica esse esquema de *Digital Twin*.

A visão é de que no futuro cada ativo contribuidor nas emissões de CO₂ conectaria-se à uma **infraestrutura digital**. Com este "barramento lógico", vislumbra-se um *loop de controle* para monitoramento, otimização e redução de emissões [Rolnick et al., 2019]. A infraestrutura lógica digital pode se organizar em tipos de topologia com diversos *twins* federados e até mesmo totalmente descentralizados (*peer-to-peer*), desta forma, abrindo oportunidades para novos sistemas distribuídos globais.

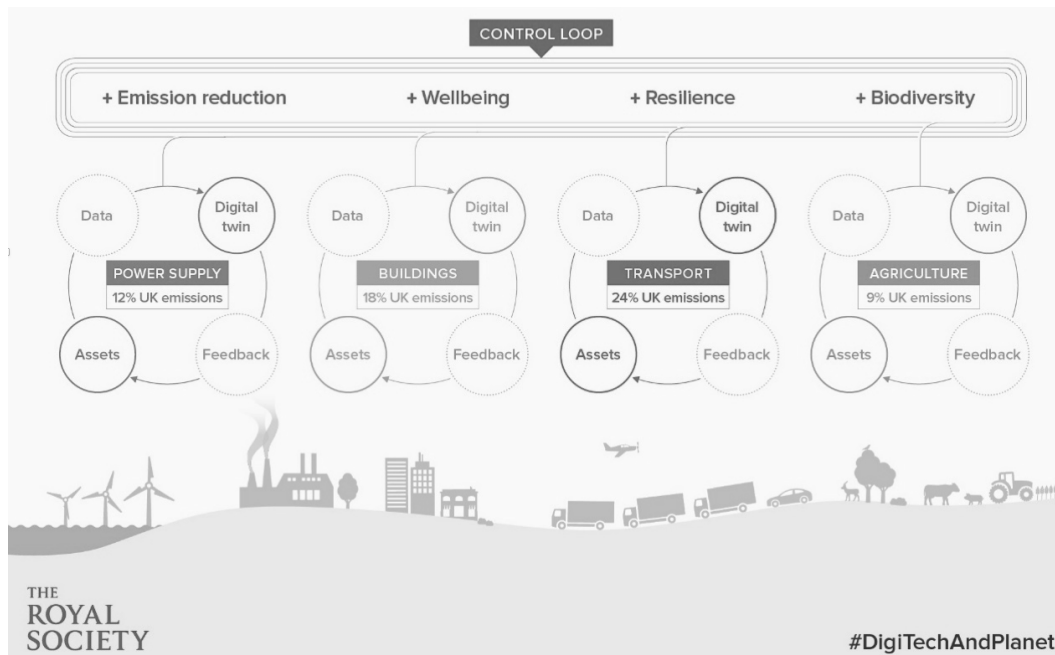


Figure 2: Visão de *Digital Twinning* com bastante enfoque nas emissões de CO₂ em setores econômicos. Parte do pressuposto de que "*planetary digital twin*" é mais do que uma previsão e portanto transita para ações de controle utilizando tecnologias digitais, políticas públicas e engajamento da sociedade. É um diagrama ambicioso que remete a um exercício de pensamento provocativo do papel da sociedade em alcançar o *net zero*. É importante o debate amplo deste tipo de visão e *roadmap* pela sociedade Brasileira, em especial, pelos grupos das áreas da computação no país.

1.3 Papel da Inteligência Artificial

A abordagem evolucionária (Seção 1.1) se beneficia do investimento realizado em infraestrutura de software e hardware para os sistemas de previsão de tempo e clima. Apesar da recente avalanche de projetos reportados nos eventos da CCAI ⁷, ainda é difícil antecipar como aprendizado de máquina deve delinear o desenvolvimento futuro de modelos de tempo e clima. A maioria desta comunidade científica mantém-se "discreta" em relação às ferramentas do tipo "caixa-preta". Uma proposta em debate é mover-se na direção de sistemas híbridos com intuito de explorar modelos de

⁷Climate Change AI (CCAI) é uma organização de voluntários com intuito de contribuir no enfrentamento do problema das mudanças climáticas por meio de novas ferramentas de IA. CCAI tem organizado *workshops* para o debate, normalmente co-localizados em conferências importantes nas áreas de IA. (ICML, NEURIPS e ICLR). <https://www.climatechange.ai/>

processos físicos integrados à ferramentas orientadas a dados [Bauer et al., 2021a]. Nota-se nesta circunstância uma atitude de cautela da comunidade de predição de tempo e clima com relação às mais recentes técnicas computacionais.

Por outro lado, a ótica da Royal Society centra na I.A. (Seção 1.2) como o propulsor para que o *loop de controle* avance na direção de recomendações acionáveis. Percebe-se, neste caso, uma perspectiva multidisciplinar, oriunda de um grupo com histórico de trabalho em várias áreas impactadas pela tecnologia digital.

No final de 2019, um *workshop* que ocorreu no Corpus Christi College (Universidade de Oxford) discutiu as oportunidades e desafios para o aprendizado de máquina na modelagem do tempo e clima. No relatório do evento [Chantry et al., 2021], salientou-se que a modelagem estatística para predição, ainda que considerada "antiquada" há apenas dez anos atrás, ganha nova dimensão na comunidade com o surgimento de **redes neurais profundas** e outras técnicas de aprendizado de máquina. Algumas das perguntas que nortearam as discussões foram:

- Os métodos de inteligência artificial substituirão os modelos numéricos do tempo e clima?
- E no caso de uma impossibilidade, os métodos de I.A poderiam complementar à modelagem numérica com o aprimoramento da qualidade das predições?

Cabe então explorar os tipos de predições candidatas à transformação por meio de gêmeos digitais [Chantry et al., 2021]. O *nowcasting* é uma predição de curto prazo que se utiliza da análise de dados do tempo, principalmente a precipitação, para produzir uma resposta aos usuários em tempo-real ou com abrangência temporal de algumas horas. As predições de médio prazo, de alguns dias a semanas, empregam a onda baroclínica cuja as características encontram-se bem resolvidas pelos modelos numéricos atuais para um espaçamento (*grid*) na ordem de 10km. Por último, a predição de mudanças climáticas, aquela de longo prazo, explora perguntas de como estatísticas relacionadas ao tempo mudam à medida que a concentração de gases de efeito estufa aumentam na atmosfera, em escalas temporais de décadas.

O relatório [Chantry et al., 2021] ainda acrescenta os conceitos de *Hard A.I.*, *medium A.I.* e *soft A.I.* em uma tentativa de categorização do espaço de aplicabilidade do aprendizado de máquina nos tipos de predição de tempo e clima. O termo *Hard A.I.* relaciona-se à pergunta: a predição em alguma ou todas as escalas temporais poderia ser substituída por I.A.? Neste caso, as aplicações de *nowcasting* parecem ser boas candidatas para o *Hard A.I.* dado que as restrições da física (ex. leis de conservação) se "relaxadas" não resultam no acúmulo de erros de forma significativa dentro da janela temporal de algumas horas. Um volume enorme de dados de sensores IoT, coletados por *smartphones*, tem sido cada vez mais utilizado nas predições de tempo (ex. *Citizen Science*⁸). No entanto, *Hard A.I.* enfrenta dificuldades técnicas nos casos de predições de médio prazo em que há a necessidade de representar equações de movimento e interações entre as *features* do sistema como agrupamentos de convecção profunda, ondas de gravidade, e outras dinâmicas.

Na escala temporal de mudanças climáticas, o uso da abordagem *Hard A.I.* torna complexa a tarefa de modelagem. Por exemplo, poucos são os dados que sustentam o consenso de que a cobertura global de nuvens está aumentando ou diminuindo [Chantry et al., 2021]. Isso posto, um esquema tipo "caixa-preta" torna-se inadequado como o único motor de predições no futuro. Desta forma, os participantes deste *workshop* apresentaram uma perspectiva que incorpora as leis da física como a melhor alternativa a novos modelos. Eles propuseram que para o equilíbrio seria importante evitar a troca por completo dos modelos numéricos, e discutem as abordagens:

- *Medium AI*: objetivo de aprimorar o *forecasting* se apropriando de ferramentas criadas a partir de dados de observações e aprendizado de máquina.
- *Soft AI*: "emular" *kernels* de modelos de predição de tempo com intuito de melhorar a eficiência da computação envolvida.

Em resumo, o *workshop* reuniu participantes de diversas disciplinas com intuito de evidenciar o fato de que a comunidade científica pode desenvolver soluções em colaboração, incluindo a participação ativa da comunidade da Computação. Esta é uma clara mensagem ao tipo de modelagem baseado em receitas (i.e. *cookbooks*) comumente empregada e que se utiliza de soluções desenvolvidas em outros contextos como reconhecimento de objetos em imagens [Krizhevsky et al., 2012]. As soluções customizadas devem necessariamente usar o entendimento da física para restringir o modelo como parte do núcleo do sistema. Tem-se desta forma o seguinte contraste para o aprendizado de máquina: informado pela física versus modelos livres.

⁸Comissão Européia define *Citizen Science*, ou ciência cidadã, como o engajamento do público em geral em atividades de pesquisa quando cidadãos contribuem ativamente para a ciência seja pelo esforço intelectual ou através de suas ferramentas e recursos computacionais (ex. *smartphones* e sensores). Participantes fornecem dados experimentais e levantam novas perguntas para um processo de co-criação de uma nova cultura científica.

2 Proposta da Força-Tarefa

Com os últimos avanços da I.A, incluindo o aprendizado profundo e outras áreas, a computação ganha cada vez papel fundamental no plano de ataque ao desafio das mudanças climáticas do planeta. A verdade é que todo este potencial depende da confiança das pessoas nos sistemas, e principalmente acreditar que o próprio setor de TIC pode atingir 'net zero' em *data centres* (*green computing*), e com isso, estender este impacto para os outros setores econômicos (ver Seção 2). A Royal Society, com toda a sua tradição de avançar o conhecimento, busca a inovação para a sustentabilidade nos pilares da pesquisa, desenvolvimento e implantação prática de sistemas [Society, 2020]. Torna-se pertinente algumas questões em busca de posicionamento da comunidade da computação no Brasil.

A força-tarefa aqui proposta objetiva fazer:

- um diagnóstico dos esforços nacionais no escopo do desafio de mudanças climáticas, devidamente contextualizado ao Brasil,
- elaborar uma visão de longo prazo e
- estabelecer ideias para uma *roadmap* Brasileiro e, busca de soluções para o enfrentamento das mudanças climáticas com auxílio das tecnologias digitais (*IA, IoT, CPS - cyber-physical systems, digital twin*).

Impactos Esperados

Neste contexto, a escrita de um relatório elucidando as ideias dos membros da SBC parece ser muito importante. Além disso, este documento poderia ser apresentado em meios de debate nas esferas pertinentes do Governo Federal responsáveis por políticas de monitoramento ambiental e intervenções públicas. Caso este cenário não se materialize, o fato do debate, da troca de conhecimento e experiências reportadas no artigo final já terá sido extremamente válida como iniciativa. Neste momento, muitas sociedades científicas de diversos países organizam fóruns com amplo debate sobre o desafio à frente. Similarmente, essa força-tarefa busca o mesmo tipo de discussão no âmbito do Brasil.

Potencial de Cooperação Internacional

Organizações científicas internacionais, com as quais mantemos cooperação, a exemplo da *International Federation for Information Processing (IFIP)* e a *Royal Society*, têm iniciativas voltadas para a sustentabilidade planetária. Em particular, sobre a relação e impacto das tecnologias de informação e comunicação na sustentabilidade em nosso planeta.

A IFIP foi criada aos auspícios da ONU, tendo, inclusive, status de instituição consultiva para a UNESCO. Hoje a IFIP representa mais de 40 países, através de mais de 120 grupos de trabalho e comitês técnicos, envolvendo cerca de 3500 cientistas das diversas áreas da computação. A SBC é membro da IFIP. Pretendemos explorar as relações com a IFIP para o desenvolvimento de nossa força tarefa, no uso das tecnologias digitais para a sustentabilidade, em uma perspectiva brasileira.

A *Royal Society*, fundada em 1660, é a academia de ciências do Reino Unido. A sociedade tem os papéis de (i) promover a ciência e seus benefícios, (ii) reconhecer excelência em ciência, (iii) incentivar a ciência de alto impacto, (iv) fornecer o aconselhamento científico para políticas públicas, incentivando a cooperação internacional, educação e engajamento com o público. A *Royal Society* teve Robert Boyle como um dos seus fundadores, e Sir Isaac Newton como *fellow* e presidente (1703-1727).

Esta força-tarefa tem agendado uma primeira reunião em 14/10/2021 às 9:00 (horário de Brasília) com o Prof. Andy Hopper, Vice-presidente da *Royal Society*. O objetivo da reunião é ouvir mais sobre a visão de *Digital Twins for the Planet* no Reino Unido e apresentar o escopo e objetivos desta força-tarefa no âmbito do Brasil.

3 Escopo de Trabalho

Algumas questões que podem nortear o escopo de trabalho da força-tarefa são apresentadas abaixo. Esta é apenas uma lista inicial, não exaustiva, e caberá ao grupo envolvido definir o escopo de atuação maximizando o tempo e resultado esperado.

1. Gêmeo Digital faz sentido como conceito *umbrella* para debater tecnologias digitais para meio ambiente?
2. Com o mapeamento e diagnóstico de projetos Brasileiros dentro do tema "mudanças climáticas", quais seriam os requisitos para uma visão e *roadmap* de Digital Twin Brasileiro?

3. Quais seriam as tecnologias digitais (hardware/software), capazes de fornecerem suporte à implantação deste *roadmap*? Como futuros projetos devem considerar a poluição eletrônica e eletromagnética⁹ causada pelo descarte, utilização e fabricação de equipamentos eletrônicos envolvidos nessas tecnologias?
4. Como seria um *roadmap* que especifica as maneiras pelas quais a I.A., IoT, Sistemas Cibernéticos-Físicos CPS e twin digital podem contribuir no longo prazo?
5. Os papéis de *Hard A.I.*, *medium A.I.* e *soft A.I.* são adequados para o contexto de *Digital Twin Brasileiro*?
6. Quais são as necessidades para uma infraestrutura digital, mesmo que no nível conceitual, que coordene a interconexão de novos *twins* e daqueles identificados em projetos executados no Brasil? Faz sentido a proposta de uma infraestrutura digital federada, em nível nacional e também global?
7. Como contemplar os esforços e projetos nacionais dentro de uma proposta que permita o compartilhamento de dados, simulações e estratégia de controle dos *twins*? Uma proposta de *Digital Twin* deve ser evolucionária, revolucionária ou híbrida?
8. A importância do **Dado (bruto ou derivado)** deve ser considerada no contexto de *Digital Twins*. Como pode-se incorporar estratégias de convergência através do gerenciamento de *datasets*, normalmente armazenados na forma de "Silos" dentro dos projetos relevantes? Dados formam elementos aglutinadores para o espaço de metodologias e soluções de tecnologias digitais.
9. *FAIR* [Wilkinson et al., 2016]: no contexto desta força-tarefa os princípios *FAIR* encoraja que os dados digitais sejam acionáveis pela utilização de aprendizado de máquina [Society, 2020]. Este modelo incentiva que os dados (a) possam ser facilmente encontrados (*findable*) para o benefício das pessoas e comunidades, (b) estejam acessíveis (*accessible*) incluindo autenticação e autorização; (c) tenham interoperabilidade (*interoperable*) pela capacidade de integração com outros dados, e (d) por último, possam se reusáveis (*reusable*).
10. Qual o papel de competências na formação de profissionais em cursos de computação no Brasil? Muitos esforços em escala global estão em andamento com intuito de promover atualizações curriculares nos cursos de computação. O ACM/IEEE-CS CC2020 estabelece alguns princípios para novos currículos dentro de uma nova proposta chamada de **modelo de competências**. Especificamente, a recém criada força tarefa ACM/IEEE-CS/AAAI CS202x¹⁰ pretende atualizar o currículo de ciência da computação CS2013, contando com o debate de competências na resolução de problemas complexos como os de mudanças climáticas.

4 Plano de Trabalho

1. A força-tarefa realizará um mapeamento e diagnóstico *bottom-up* sobre o tema "computação para o Planeta". Esta atividade contempla inicialmente as experiências de projetos (pessoal e/ou institucional) dos integrantes do grupo. [M1-M3]
2. Detalhamento da visão e *roadmap* contemplando uma lista de desafios no horizonte de 5 a 10 anos. Esta atividade conta com o feedback de colaboradores externos com intuito de solidificar o *roadmap*. Estão previstas também interações via webconf com os grupos da Royal Society, ECMWF e Alan Turing Institute (ATI) que desenvolvem trabalhos na área de Digital Twin para o Planeta. [M4-M8]
3. Como entrega, será preparado um relatório de 10 páginas no máximo, contendo os resultados das atividades desenvolvidas incluindo a visão de futuro, o *roadmap* e uma lista de grandes desafios. [M9]
4. A força-tarefa deverá propor a organização de um workshop sobre o tema para o congresso da SBC a realizar-se em 2022. Existe também a opção de propor este debate no evento SBC WCAMA 2022. De qualquer forma, espera-se que o relatório da força-tarefa auxilie na definição do escopo e objetivos desse workshop. [M9]
5. Para disseminar os resultados internacionalmente, uma atividade extra seria a escrita de um '*position paper*', bem fundamentado como contra-ponto ou complemento, por exemplo, às posições de Bauer et [Bauer et al., 2021b] e Royal Society [Society, 2020]. [M10]
6. A força-tarefa encerra suas atividades com a expectativa dos impactos esperados. A semente de uma iniciativa maior no Brasil validaria positivamente o esforço desse grupo de voluntários.

⁹<http://www.macedo.ufba.br/lixodigital.htm>

¹⁰ACM/IEEE-CS/AAAI Computer Science Curricula <https://csed.hosting.acm.org/>

5 Grupo de Trabalho

A força-tarefa pretende alcançar os membros da SBC em sua plenitude. Apesar do grupo de trabalho iniciar pequeno e focado, o feedback será solicitado continuamente durante a execução das atividades no período dos 9 meses. A força-tarefa está aberta à novas adesões de participantes.

- Alírio Sá (UFBA, BA)
- Esteban Clua (UFF, RJ)
- Eulanda Miranda dos Santos (UFAM, AM)
- José Laurindo Campos dos Santos (INPA, AM)
- Lúbia Vinhas (INPE, SP)
- Marcelo Pias (FURG, RS)
- Marilton de Aguiar (UFPEL, RS)
- Pedro Andrade (INPE, SP)
- Raimundo Macêdo (UFBA, BA)
- Tatiana Schor (UFAM, AM)

References

- P. Bauer, P. Dueben, T. Hoefler, T. Quintino, T. Schulthess, and N. Wedi. The digital revolution of earth-system science. *Nature Computational Science*, 1:104–113, 2021a. doi:<https://doi.org/10.1038/s43588-021-00023-0>.
- P. Bauer, B. Stevens, and W. Hazeleger. A digital twin of earth for the green transition. *Nature Climate Change*, 11: 80–83, 2021b. doi:<https://doi.org/10.1038/s41558-021-00986-y>.
- M.W. Govett, J. Middlecoff, and T. Henderson. Running the nim next-generation weather model on gpus. In *Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2010 10th IEEE/ACM International Conference on*, page 792–796. IEEE, 2010.
- Royal Society. *Digital technology and the planet: Harnessing computing to achieve net zero*. The Royal Society, London, 2020. ISBN 978-1-78252-501-1.
- David Rolnick, Priya L. Donti, Lynn H. Kaack, Kelly Kochanski, Alexandre Lacoste, Kris Sankaran, Andrew Slavin Ross, Nikola Milojevic-Dupont, Natasha Jaques, Anna Waldman-Brown, Alexandra Luccioni, Tegan Maharaj, Evan D. Sherwin, S. Karthik Mukkavilli, Konrad P. Kording, Carla Gomes, Andrew Y. Ng, Demis Hassabis, John C. Platt, Felix Creutzig, Jennifer Chayes, and Yoshua Bengio. Tackling climate change with machine learning, 2019.
- M. Chantry, H. Christensen, P. Dueben, and T. Palmer. Opportunities and challenges for machine learning in weather and climate modelling: hard, medium and soft ai. *Phil. Trans. R. Soc., A*, 2021. doi:<http://doi.org/10.1098/rsta.2020.0083>.
- Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, and Geoffrey E. Hinton. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In F. Pereira, C. J. C. Burges, L. Bottou, and K. Q. Weinberger, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems 25*, pages 1097–1105. Curran Associates, Inc., 2012. URL <http://papers.nips.cc/paper/4824-imagenet-classification-with-deep-convolutional-neural-networks.pdf>.
- M. Wilkinson, M. Dumontier, and I. et al. Aalbersberg. The fair guiding principles for scientific data management and stewardship. *Nature Sci Data*, 3, 2016. doi:<https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>.