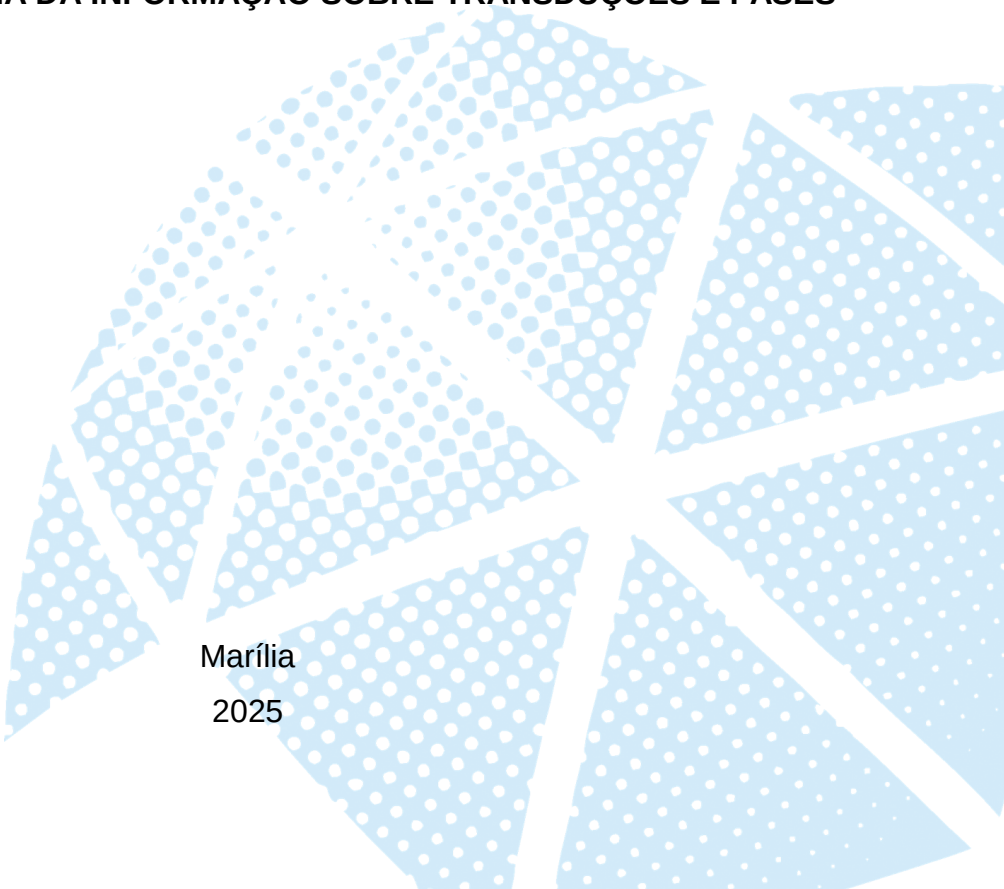
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Faculdade de Filosofia e Ciências - Campus de Marília
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação

PAULO GEORGE MIRANDA MARTINS

FLUXO DE DADOS E FLUXO DE CONTROLE: UM OLHAR DA CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO SOBRE TRANSDUÇÕES E FASES



Marília
2025

PAULO GEORGE MIRANDA MARTINS

FLUXO DE DADOS E FLUXO DE CONTROLE: UM OLHAR DA CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO SOBRE TRANSDUÇÕES E FASES

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Filosofia e Ciências, Campus de Marília, como requisito para obtenção do título de Doutor em Ciência da Informação.

Área de Concentração: Informação, Tecnologia e Conhecimento

Linha de pesquisa: Informação e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Ricardo César Gonçalves Sant'Ana

Marília

2025

M386f

Martins, Paulo George Miranda
Fluxo de dados e fluxo de controle : um olhar da Ciência da Informação sobre transduções e fases / Paulo George Miranda Martins. -- Marília, 2025
123 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Filosofia e Ciências, Marília
Orientador: Ricardo César Gonçalves Sant'Ana

1. Fluxo de dados. 2. Fluxo de controle. 3. Transdução informacional. 4. Sistemas complexos. 5. Sistemas de informação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A abordagem sobre o fluxo de dados e o fluxo de controle em sistemas complexos e dos processos transformativos, responsáveis por diversas conversões de dados em informações, esta pesquisa tem como objetivo contribuir com a ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, cujo objetivo principal é criar uma infraestrutura resiliente que promova a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação, especialmente a meta 9.4, que tem como objetivo modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com o uso de tecnologias eficientes e processos ambientais corretos (ONU, 2024). Ainda contribui com a ODS 7 - Energia Acessível e Limpa, especificamente com a meta 7.a, que busca reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso à pesquisa, infraestrutura e tecnologias de energia limpa e renováveis, cuja pesquisa sobre o processo de transdução informacional dos gases de exaustão de motores à reação em dados informacionais, pode contribuir para pesquisas sobre o acesso a fontes de energia fiáveis, sustentáveis e modernas, uma vez que as emissões de gases de motores aeronáuticos contribuem para o aquecimento global e a poluição atmosférica, impactando negativamente a produção de energia limpa e acessível. Ressalta-se que, a otimização da emissão dos gases de exaustão e o desenvolvimento de combustíveis de aviação sustentáveis são importantes para reduzir a pegada de carbono do setor aeronáutico e alcançar a meta de energia limpa, estabelecida pela ODS até 2030. Dessa maneira, esta pesquisa está alinhada a ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, cujo objetivo é adotar padrões de consumo e produção sustentáveis, alinhados a meta 12.c, que busca racionalizar e minimizar o uso de recursos naturais, materiais tóxicos, a geração de resíduos e a emissão de poluentes (Embrapa, 2018; ONU, 2024).

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The approach to data flow and control flow in complex systems and transformative processes, responsible for various conversions of data into information, this research aims to contribute to SDG 9 - Industry, innovation and infrastructure, whose main objective is to create a resilient infrastructure that promotes inclusive and sustainable industrialization, and foster innovation, especially target 9.4, which aims to modernize infrastructure and rehabilitate industries to make them sustainable, with the use of efficient technologies and environmentally friendly processes (UN, 2024). It also contributes to SDG 7 - Affordable and Clean Energy, specifically target 7.a, which seeks to strengthen international cooperation to facilitate access to research, infrastructure and clean and renewable energy technologies, whose research on the informational transduction process of exhaust gases from jet engines into informational data can contribute to research on access to reliable, sustainable and modern energy sources, since emissions of gases from aircraft engines contribute to global warming and air pollution, negatively impacting the production of clean and affordable energy. It is important to note that optimizing exhaust gas emissions and developing sustainable aviation fuels are important to reduce the carbon footprint of the aeronautical sector and achieve the clean energy target established by the SDG by 2030. Thus, this research is aligned with SDG 12 - Responsible Consumption and Production, whose objective is to adopt sustainable consumption and production patterns, aligned with target 12.c, which seeks to rationalize and minimize the use of natural resources, toxic materials, waste generation and pollutant emissions (Embrapa, 2018; UN, 2024).

PAULO GEORGE MIRANDA MARTINS

FLUXO DE DADOS E FLUXO DE CONTROLE:

UM OLHAR DA CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO SOBRE TRANSDUÇÕES E FASES

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Filosofia e Ciências, Campus de Marília, para obtenção do título de Doutor em Ciência da Informação.

Área de Concentração: Informação, Tecnologia e Conhecimento

Data da defesa: 31/03/2025

Banca Examinadora:

_____

Prof. Dr. Ricardo César Gonçalves Sant'Ana (Orientador)
UNESP - Universidade Estadual Paulista - Campus de Marília

_____

Prof. Dr. Rogério Aparecido Sá Ramalho
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

_____

Prof. Dr. Guilherme Ataíde Dias
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

_____

Profª. Drª. Jacquelin Tereza Camperos Reyes
Universidade Federal do Pará (UFPA)

_____

Prof. Dr. Fernando de Assis Rodrigues
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Dedico à minha amada Sandra pelo apoio, dedicação e companheirismo de todos os momentos e ao nosso amado filho Miguel, com todo meu amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que tem me proporcionado, dando-me saúde e força para superar todos os obstáculos impostos pela vida.

Aos meus amados pais, Antônio Valdir e Maria Inês, por serem a base de tudo para mim e pelos ensinamentos que orientaram a mim e minhas irmãs, Verana e Efigênia, para o caminho do bem. Amo muito vocês.

À minha amada esposa Sandra, a grande responsável pela realização desse sonho, pelo apoio, dedicação, carinho, incentivo, companheirismo em nossas lutas e sonhos e acima de tudo por ser minha inspiração de vida. E, ao nosso amado filho Miguel, por quem tudo isso vale a pena. Sem vocês, Meus Amores, nada disso seria possível.

Ao meu amigo Helton Graciano, pelo apoio e pelas longas horas de conversas sobre o tema dessa pesquisa e ajuda com as ferramentas de programação.

Às minhas irmãs de orientação, Danila, Amanda, Dayane e Natally, e a querida amiga Sônia Moutinho pelas longas trocas de experiências e colaboração ao longo dessa jornada.

Ao Fernando Tavelin, meu líder na empresa em que trabalho, pela compreensão e apoio ao longo dessa pesquisa.

Ao professor Ricardo Sant'Ana, meu orientador e Amigo, pela orientação valiosa, sabedoria compartilhada e pelo apoio nos momentos de incertezas sobre o caminho da pesquisa. Um Mestre, onde cada conversa é sempre uma oportunidade de se aprender.

À banca de avaliação composta pelos professores Rogério Ramalho e Guilherme Ataíde pelas riquíssimas contribuições, imprescindíveis para o amadurecimento da pesquisa.

A todos que fazem parte do PPGI da Unesp de Marília, por criarem um ambiente de aprendizado e pesquisa enriquecedor.

A todos os meus amigos e aqueles, que mesmo de longe e em pensamento torceram por mim ao longo dessa jornada, meu mais sincero e profundo agradecimento.

“O sonho é que leva a gente para frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.”
(Ariano Suassuna)

RESUMO

A produção expressiva de recursos informacionais vivenciadas na contemporaneidade tem provocado mudanças significativas no acesso e uso dos dados. Destaca-se nesse contexto, o uso de modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, relacionando-os com as técnicas de modelagem que descrevem o caminho percorrido pelos dados nas diversas camadas de interfaces maquínicas, passando por diversas transduções em sua estrutura e formato desde a coleta à recuperação em sistemas complexos e críticos. Nesse contexto, o objetivo geral foi analisar os modelos de fluxos em tais sistemas, identificando e descrevendo os tipos de transdução informacional que ocorrem nos dados ao longo de seu percurso. Para tanto, buscou-se analisar um sistema em especifico, o de monitoramento e controle dos gases de exaustão de motores aeronáuticos, explicitando os tipos de transduções informacionais e o papel do Ciclo de Vida dos Dados como um elemento integrador. Os procedimentos metodológicos adotados se caracterizam como uma abordagem qualitativa e de natureza aplicada e uma revisão sistemática de literatura, destacando quais os processos dos modelos de dados estudados, os atores envolvidos e quais contextos de uso de dados serão atendidos. Ressalta-se, a importância de se compreender os processos e etapas dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, bem como as tecnologias utilizadas para lidar com grandes conjuntos de dados, seu ciclo de vida e os tipos de transformações envolvidas. Conclui-se que, a Ciência da Informação pode desempenhar um papel fundamental com pesquisas que propiciem um novo olhar sobre a integração e relação entre as fases do ciclo de vida dos dados e os princípios de uso dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle em sistemas complexos e críticos, explicitando quais os caminhos percorridos pelos dados que impactam diretamente na qualidade, no controle, no acesso e uso nos sistemas de informação, sobretudo em tempo real para tomada de decisões.

Palavras-chave: Fluxo de dados; Fluxo de controle; Transdução informacional; Sistemas complexos; Sistemas de informação.

ABSTRACT

The significant production of information resources experienced in contemporary times has caused significant changes in access to and use of data. In this context, the use of data flow and control flow models stands out, relating them to modeling techniques that describe the path taken by data in the various layers of machine interfaces, going through various transductions in their structure and format from collection to recovery in complex and critical systems. In this context, the general objective was to analyze the flow models in such systems, identifying and describing the types of informational transduction that occur in the data along its path. To this end, we sought to analyze a specific system, that of monitoring and controlling exhaust gases from aircraft engines, explaining the types of informational transductions and the role of the Data Life Cycle as an integrating element. The methodological procedures adopted are characterized as a qualitative and applied approach and a systematic literature review, highlighting the processes of the data models studied, the actors involved and which data use contexts will be met. It is important to understand the processes and stages of the data flow and control flow models, as well as the technologies used to deal with large data sets, their life cycle and the types of transformations involved. It is concluded that Information Science can play a fundamental role with research that provides a new perspective on the integration and relationship between the phases of the data life cycle and the principles of using data flow and control flow models in complex and critical systems, explaining the paths taken by data that directly impact the quality, control, access and use in information systems, especially in real time for decision making.

Keywords: Data flow; Control flow; Information transduction; Complex systems; Information systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da pesquisa 37

Figura 2 – Diagrama do sistema de comunicação 43

Figura 3 – Componentes de um sistema controlado por computador 47

Figura 4 – Diagrama de fluxo de dados no controle de temperatura de motor 60

Figura 5 – Diagrama BPMN para controle de temperatura de motor 65

Figura 6 – Diagrama de fluxo de controle 67

Figura 7 – Ciclo de Vida dos Dados e os fatores transversais 75

Figura 8 – Transduções informacionais e o CVD do sistema de EGT 80

Figura 9 – Diagrama de fluxo de controle em processos dinâmicos 89

Figura 10 – Fluxo do sistema de EGT 91

Figura 11 – Perdas no processo de transdução informacional 93

Figura 12 – Funções de um sistema de informação 100

Figura 13 – Sistema de informação 102

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 – Protocolo da RSL 28

Quadro 2 – Resultados do termo de busca *dataflow* e *flujo de datos* 30

Quadro 3 – Resultados do termo de busca *control flow* e *flujo de control* 31

Quadro 4 – Resultados do termo de busca fluxo de dados na Brapci 32

Quadro 5 – Resultados do termo de busca transdução informacional 33

Quadro 6 – Dado e informação 39

Quadro 7 – Conceitos de fluxo de dados 56

Quadro 8 – Conceitos de fluxo de controle 62

Quadro 9 – Convergências e distinções entre o fluxo de dados e o fluxo de controle 68

Quadro 10 – Fases do CVD 75

Quadro 11 – Fatores contribuintes para perda de sinais 85

Quadro 12 – Perdas de sinais e seus impactos 95

Quadro 13 – Usuários e impactos na tomada de decisões 96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados recuperados 19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
BPMN	*Business Process Model and Notation*
BPMO	*Business Process Modeling Ontology*
CI	Ciência da Informação
CVD	Ciclo de Vida dos Dados
DFD	Diagramas de Fluxo de Dados
EEC	*Electronic Engine Control*
EGT	*Exhaust Gases Temperature*
FADEC	*Full Authority Digital Engine (or Electronics) Control*
FDR	*Flight Data Recorder*
GPTAD	Grupo de Pesquisa Tecnologias de Acesso a Dados
HF	*High Frequency*
PPGCI	Pós-Graduação em Ciência da Informação
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
VHF	*Very Hight Frequency*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA 20
1.2 OBJETIVOS 21
1.3 JUSTIFICATIVA 22
1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA 26
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 27
1.6 ESTRUTURA DA TESE 36
2 O CONTEXTO DOS DADOS EM SISTEMAS COMPLEXOS E CRÍTICOS 39
2.1 TEORIA DA INFORMAÇÃO E A NOÇÃO DE ENTROPIA 43
2.2 CONTROLE DOS SISTEMAS 46
3 FLUXO DE DADOS: DA ORIGEM À ESTRUTURAÇÃO 52
3.1 FORMATO E ESTRUTURA DOS DADOS 52
3.2 FLUXO DE DADOS 56
3.3 FLUXO DE CONTROLE 62
4 TRANSDUÇÃO INFORMACIONAL: DOS DADOS À INFORMAÇÃO . 71
4.1 O PROCESSO DE TRANSDUÇÃO 71
4.2 A ESTRUTURA DO CICLO DE VIDA DOS DADOS 74
4.3 TRANSDUÇÃO INFORMACIONAL DE DADOS DE SENSORES TÉRMICOS 78
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES 85
5.1 DADOS DIGITAIS INTERLIGADOS 98
5.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO 100
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 105
6.1 TRABALHOS FUTUROS 107
REFERÊNCIAS 110

1 INTRODUÇÃO

A produção expressiva de recursos informacionais vivenciadas na contemporaneidade tem provocado mudanças significativas na forma como os dados são coletados, armazenados, recuperados e usados nos diversos contextos de aplicação. Tais transformações têm favorecido o desenvolvimento de tecnologias com capacidade de lidar com grandes volumes de dados, possibilitando análises e aplicações cada vez mais assertivas para o uso efetivo dos dados.

Com o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) cada vez mais eficientes e com grande capacidade de processamento, intensificou-se a produção e o acesso a dados de forma mais rápida e em tempo real, a partir de processos maquínicos complexos que facilitam o intercâmbio e a interoperabilidade de dados entre os diversos domínios e sistemas, garantindo a consistência, a preservação e, de modo especial, a eficiência na localização e na recuperação do recurso demandado (Santos; Simionato; Arakaki, 2014; Doneda, 2021).

Nesse contexto, considerado um campo interdisciplinar dedicado ao estudo dos processos de geração, coleta, organização, interpretação, armazenamento, recuperação, disseminação e uso de dados (Borko, 1968), a Ciência da Informação (CI) pode oferecer um arcabouço teórico capaz de desempenhar um papel central na compreensão das técnicas e dinâmicas de fluxos informacionais, identificando os atores e os processos envolvidos.

Assim, diante da crescente quantidade de recursos informacionais disponíveis, mudanças significativas na forma como os dados são apresentados nos Sistemas de Informação (SI) têm sido objeto de pesquisa relacionadas à forma como os dados são processados, transformados e representados, uma vez que interfaces cada vez mais complexas são criadas para tornar a transmissão mais eficiente, abrangendo desde a coleta até a recuperação pelos usuários finais (Coneglian; Santarém Segundo; Sant'Ana, 2017; Sant'Ana, 2016).

Para Santos e Vidotti (2009), o uso de tecnologias cada vez mais eficientes no tratamento de volumes expressivos de dados gerados cotidianamente constitui um fator essencial diante dos desafios e potencialidades que envolvem sua aplicação. Assim, o objetivo central reside na operacionalização e transformação desses grandes conjuntos de dados em informações consistentes e relevantes, capazes de agregar

valor no contexto específico de uso e subsidiar processos decisórios com maior grau de confiabilidade e pertinência.

Com isso, o uso dos dados tem se tornado cada vez mais potencializado em função de sua ampla disponibilidade nos mais diversos domínios e contextos de aplicação. Tal cenário exige a adoção de uma estrutura conceitual que permita contextualizar os momentos de uso, as características dos dados, os requisitos informacionais e os fatores operacionais necessários ao seu aproveitamento eficaz, tomando o dado como elemento central na articulação entre informação, conhecimento e ação (Sant'Ana, 2016; Setzer, 1999).

Ademais, o acesso imediato aos dados tem permitido a criação de camadas de processamento com interfaces complexas, que transformam a estrutura e a forma dos dados ao longo de seu fluxo nos sistemas em conteúdos interpretáveis, tanto por máquinas quanto por humanos o que aumenta significativamente a relevância da participação dos dados na construção de perspectivas nos processos de tomada de decisão.

Em uma sociedade cada vez mais dependente das TIC para o acesso e o compartilhamento de uma vasta gama de recursos informacionais, a complexidade presente nas múltiplas interfaces maquínicas dos programas computacionais voltados ao tratamento de grandes volumes de dados (Sant'Ana, 2019a; 2021b) pode, paradoxalmente, tanto ampliar quanto restringir o acesso e o uso desses dados pelos usuários, dependendo da forma como tais sistemas são projetados e disponibilizados para atender às suas demandas informacionais (Rodrigues; Sant'Ana, 2013).

Nesse contexto, surgem novos desafios no campo da CI, que busca desenvolver um corpus teórico que possa contribuir para a compreensão do processo de produção, consumo e disseminação dos dados, uma vez que pode ser considerado "[...] a menor representação convencional e fundamental de uma informação (fato, noção, objeto, nome próprio, número, estatística, etc.) sob forma analógica ou digital" (Cunha; Cavalcanti, 2008, p. 112).

Diante da crescente e dinâmica interação entre humanos e máquinas, cada vez mais facilitada por interfaces eficientes, responsivas e ubíquas, observa-se o desenvolvimento contínuo de novas tecnologias voltadas ao gerenciamento e controle de dados em sistemas complexos. Além disso, permitem a utilização dos dados de forma estratégica em diferentes domínios e momentos, atendendo às exigências

operacionais diversas e ampliando as possibilidades de aplicação informacional (Dekker, 2011; Sant'Ana, 2021a).

O termo sistema complexo é adotado, no contexto dessa pesquisa, a partir da perspectiva de Thurner, Hanel e Klimek (2018) que definem tais sistemas como conjuntos de elementos interconectados que interagem entre si de maneira não convencionais, resultando em propriedades e comportamentos emergentes que não são facilmente previsíveis do ponto de vista das propriedades dos elementos individuais.

Para Dekker (2011, p.7, tradução nossa), devido ao crescente aumento da complexidade dos sistemas "[…] um grande número de partes interativas e diversas dão origem a resultados que são realmente difíceis, se não impossíveis, de prever", sendo necessário um controle mais eficiente em todo o processo de fluxo dos dados.

Desde a coleta até à recuperação os dados passam por diversas transformações, também conhecido por transduções, em sua estrutura, forma e energia durante o caminho percorrido nos modelos de fluxo de dados (Arvind; Culler, 1986; Davis; Keller, 1982; Morrison, 1994; 2010), sendo processados e convertidos por diferentes componentes computacionais encapsulados nos sistemas informatizados (Morrison, 2010; Sant'Ana, 2021a; Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021).

O processo de transdução permeia diversos campos do conhecimento humano, sendo considerado fundamental para o entendimento de processos biológicos, físicos e informacionais, englobando a conversão de uma forma de energia ou sinal em outro (Simondon, 1992; Mackenzie, 2002; Deleuze; Guattari, 1988; Taleisnik, 2006).

Considerando o escopo dessa pesquisa, que buscou analisar os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle e os processos transformativos dos dados em seu percurso em sistemas complexos, adota-se o termo transdução informacional, cunhado por Sant'Ana (2019a) no âmbito da área de Ciência da Informação, para se referir a esses processos.

Segundo Sant'Ana (2021a, p. 60), no que diz respeito ao tratamento dos dados em processos maquínicos "[...] a interação não se limita a mudanças de direção e sentido", mas também nas transformações de "[...] forma, estrutura, codificação e

energia em sucessivas camadas, exigindo funcionalidades de interface cada vez mais eficientes".

Amplamente difundido e aplicado na Ciência da Computação, o conceito de fluxo de dados refere-se à maneira como os dados fluem entre as diversas camadas operacionais dos sistemas (Johnston; Hanna; Millar, 2004; Morrison, 1994; 2010; Diván; Olsina, 2009) passando por diversas transduções durante seu percurso, até o usuário final.

Para Stevens (1982), o processo de fluxo de dados pode ser compatível com a visão natural humana de aplicativos e outras partes do processamento de dados, que para serem utilizados devem ser tratados por meio de transformações complexas como processamento distribuído e arquiteturas de alto desempenho.

Já o fluxo de controle, refere-se à ordem sequencial de execução das instruções de trabalho, bem como à lógica e os caminhos que os dados devem percorrer dentro dos sistemas, as possíveis interconexões e a sincronização dos dados entre diferentes tarefas computacionais (Yourdon, 2006; Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021; Wiener, 1948; Russell *et al*., 2006; Millan Naveas; Vargas Guzman, 2020).

Contudo, observa-se que a análise de grandes conjuntos de dados é uma tarefa complexa e o controle de forma eficiente de tais recursos requer o uso de tecnologias eficazes e de processos maquínicos eficientes para a localização, a interpretação e a disponibilização dos dados certos para a tomada de decisões.

Nesse sentido, Wiener (1948; 2017), Johnston, Hanna e Millar (2004) e Morrison (2010) observam que a regulação e o controle de sistemas complexos ocorrem por meio da interação e adaptação ao ambiente, bem como do processo de transdução informacional dos dados a partir de *feedback* contínuos, determinado como os dados devem fluir nas diversas interfaces dos fluxos de dados e de controle.

Para a análise da dinâmica de modelagem do fluxo de dado e de controle em sistemas complexos, considerou-se nessa pesquisa o uso da estrutura do Ciclo de Vida dos Dados (CVD), proposta por Sant'Ana (2013) para a área de CI, cujas fases e fatores transversais são fundamentais para o aproveitamento efetivo no acesso e uso dos dados.

Com efeito, a inteligibilidade do dado surge a partir da sua contextualização que se materializa por meio da agregação de elementos e atributos contextuais

essenciais à sua interpretação (Santos; Sant'Ana, 2015), cuja ausência pode ser um limitador para a compreensão plena e adequada pelo seu receptor, seja ele um sistema maquínico, eletrônico ou um agente cognitivo (Yourdon, 2006; Date, 2004).

Nesse contexto, a compreensão sobre os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, bem como do processo de transdução informacional e do papel desempenhado pelas fases do CVD: coleta, armazenamento, recuperação e descarte (Sant'Ana, 2013), pode viabilizar a construção de conexões entre a Ciência da Informação e outras áreas do conhecimento técnico aplicado, favorecendo o desenvolvimento de soluções mais eficazes para o tratamento e a gestão de grandes conjuntos de dados para tomada de decisões mais assertivas.

Assim, nessa pesquisa buscou-se analisar os modelos de fluxos de dados e de controle em um contexto de uso especifico, no sistema de monitoramento e controle do *Exhaust Gases Temperature* (EGT) ou dos gases de exaustão de motores aeronáuticos à reação, explicitando-se os tipos de transduções informacionais e o papel do CVD como um elemento integrador.

Ressalta-se que, os dados críticos do sistema de EGT passam por transduções informacionais complexas em sua estrutura e formato ao longo das diversas camadas de abstração maquínicas. Além disso, destaca-se a necessidade de um planejamento adequado de todas as fases do CVD para que os dados resultantes dos processos transformativos sejam disponibilizados para os usuários finais com elevado nível de qualidade, segurança e confiabilidade para a tomada de decisões (Dekker, 2016; Sant'Ana, 2021a).

Os dados críticos, nesse contexto, correspondem às informações essenciais para a operação segura e eficiente do sistema, sejam elas relacionadas ao monitoramento de processos, à previsão de falhas ou à adaptação às condições ambientais dinâmicas (Avizienis *et al.*, 2004).

Do ponto de vista da práxis, a complexidade do sistema de EGT se manifesta na necessidade de integrar diversos componentes físicos, computacionais e humanos em um ambiente cujo controle deve ser exercido não apenas sobre variáveis individuais, mas sobre as interações entre essas variáveis (Leveson, 2011; Dekker, 2016; Wiener, 1948).

Ademais, os processos de fluxo de dados e de controle em sistemas complexos, caracterizados pelo grande número de elementos e variáveis envolvidas,

também podem ser considerados sistemas críticos devido às suas características especiais, uma vez que não podem falhar e exigem um tempo de resposta específico e dentro de parâmetros estabelecidos.

Tais características, intrínsecas aos sistemas críticos, visam assegurar maiores níveis de confiabilidade e segurança operacional, cujas falhas podem desencadear eventos críticos com impactos significativos sobre os processos e as estruturas envolvidas (Perrow, 1999; Leveson, 2011; Beck, 2010).

Nessa perspectiva, a Ciência da Informação pode desempenhar um papel central em novas pesquisas sobre o fluxo de dados e de controle, contribuindo para a construção de um arcabouço teórico robusto e oferecendo novas perspectivas das ações realizadas e os atores envolvidos nesse processo, especialmente os maquínicos. Além disso, pode favorecer na identificação de gargalos e desconstruir barreiras relacionadas à complexidade encapsulada nas camadas de abstração, viabilizando o acesso democrático aos dados, sobretudo em tempo real, para a tomada de decisões.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O fluxo de dados desempenha um papel central em sistemas complexos e críticos, viabilizando a transmissão, transformação e utilização dos dados necessários para o funcionamento eficiente e confiável desses sistemas. Em sistemas caracterizados por múltiplas camadas de interação e interdependência entre componentes, o gerenciamento adequado do fluxo de dados é essencial para manter a integridade funcional do processo (Morrison, 2010; Stevens, 1982).

Da mesma forma, a eficiência dos dados em sistemas críticos, que não toleram falhas operacionais devido ao potencial impacto severo em áreas como segurança, aviação ou infraestrutura, dependem de mecanismos eficazes de processamento e transmissão de dados (Leveson, 2011). Nesses sistemas, o fluxo de dados em conjunto com o fluxo de controle deve contemplar não apenas a acurácia das informações transmitidas, mas também garantir tempos de resposta previsíveis e consistentes.

No que diz respeito à complexidade de tais sistemas, Chiesa, Fioriti e Viola (2012) consideram uma aeronave um sistema complexo, cujos sistemas e

subsistemas constituem-se um grupo de itens que trabalham harmonicamente integrados para desempenhar determinadas funções. Também, podem ser considerados críticos pela natureza de sua operação e necessidade imperativa de confiabilidade e segurança, na qual falhas podem resultar em consequências graves, incluindo perdas de vidas humanas ou danos ambientais significativos (Leveson, 2011).

Em contextos específicos, como o sistema EGT, uma pesquisa detalhada do fluxo de dados e de controle permite identificar gargalos potenciais, pontos de falha e oportunidades de otimização, contribuindo para o aprimoramento e resiliência sistêmica dos sistemas, frente às demandas operacionais e às eventualidades não previstas.

Diante da complexidade inerente a tais processos e considerando a crescente disponibilidade de dados, impulsionada por tecnologias que possibilitam seu acesso em tempo real, apresenta-se a seguinte questão de pesquisa: como o fluxo de dados e o fluxo de controle contribuem para a eficiência e qualidade dos dados em sistemas complexos e críticos?

Considera-se nesse contexto, os processos transformativos que ocorrem nos dados durante seu percurso nos sistemas e o papel da estrutura do ciclo de vida dos dados nesse processo.

Nessa perspectiva, destaca-se o papel central da Ciência da Informação para a compreensão e construção de um arcabouço teórico sobre o fluxo de dados e de controle e seus processos, uma vez que a área tem por objeto de estudo o acesso e uso dos dados, relacionando-o diretamente com sua produção, coleta, armazenamento, interpretação, recuperação e transmissão (Borko, 1968; Sant’Ana, 2016).

1.2 OBJETIVO

Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar o fluxo de dados e o fluxo de controle em sistemas complexos e críticos, identificando e descrevendo os tipos de transdução informacional que ocorrem na estrutura e no formato dos dados ao longo de seu ciclo de vida, desde a coleta até sua disponibilização para o usuário final, relacionando o fator integração nos modelos de fluxo de dados e de controle com base

nas fases do ciclo de vida dos dados de modo a conceituar e aprofundar a compreensão desse tema no âmbito da Ciência da Informação.

Para tanto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

a) Investigar e compreender o fluxo de dados e o fluxo de controle em processos de coleta de dados críticos;
b) Relacionar as etapas e fatores do ciclo de vida dos dados com os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, estudados;
c) Descrever as etapas e características do processo de transdução informacional na coleta estudada;
d) Analisar os tipos de transduções informacionais de dados críticos, em processos de coleta de dados maquínicos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A produção de recursos informacionais atingiu, no contexto contemporâneo, um patamar histórico sem precedentes. Nunca se produziu tantos dados em tão pouco tempo, configurando um cenário marcado pela intensificação dos fluxos informacionais e pela ubiquidade dos dispositivos digitais. Em contraste com períodos anteriores, em que os meios de comunicação como rádios alimentados por baterias enfrentavam limitações técnicas, como a baixa velocidade de banda de transmissão, observa-se a consolidação de tecnologias capazes de possibilitar a transmissão instantânea e em tempo real de grandes conjuntos de dados.

Tal transformação, associada ao avanço das tecnologias da informação e comunicação tem evidenciado uma mudança paradigmática nas formas de compartilhamento e produção dos dados, cujas implicações têm reflexo direto na forma como os dados são acessados e usados tanto nas esferas sociais quanto institucionais e órgãos governamentais.

Nesse cenário, a preocupação central passa a residir não apenas na capacidade de armazenamento de grandes volumes de dados, proporcionada pelo fenômeno do *big data*, mas também na forma como esses dados são coletados, organizados, estruturados e disponibilizados para os usuários de sistemas de informação. Tais questões envolvem diretamente os processos relacionados ao fluxo de dados e de controle e à dinâmica que condicionam a circulação, o acesso e a conversão dos dados em informação útil e significativa para a tomada de decisões, o planejamento estratégico e a formulação de ações efetivas para o contexto de uso correspondente.

É nesse contexto que emergem diversas inquietações teóricas e práticas, as quais constituem a base motivacional para o aprofundamento do entendimento acerca dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, das tecnologias e técnicas envolvidas, bem como dos sistemas de gerenciamento e dos mecanismos de controle de acesso aos dados.

Além disso, torna-se essencial compreender o percurso dos dados em cenários caracterizados por alta complexidade e criticidade, analisando os processos transformativos que ocorrem nos dados desde a coleta, passando pelas etapas de processamento, organização e armazenamento, até sua disponibilização como informação estruturada e útil para os múltiplos domínios de aplicação.

Dito isso, ainda que o volume e o formato dos dados disponíveis sejam um ponto desafiador no que diz respeito à coleta, o armazenamento, a análise e acesso, é inegável o fato de que as tecnologias e os processos que buscam integrar os dados semanticamente, devem ser projetados e gerenciados para maximizar a eficiência e a eficácia na transmissão de dados em sistemas complexos e críticos, como os sistemas de monitoramento e controle de aviões.

Tal cenário pode ser exemplificado por meio de uma situação hipotética, na qual o desconhecimento de um alerta indicando que um sistema crítico de um avião não está funcionando, combinado com uma informação climática sobre a temperatura específica e a altitude atual, resulta em dados independentes que, isoladamente, não têm significado algum. No entanto, quando combinados, os dados fornecem ao operador uma instrução crítica, requerendo uma ação imediata devido à situação de risco iminente. Tal exemplo ilustra como a integração de dados, por meio de um fluxo de dados e de controle adequado, é fundamental para a tomada de decisões informadas e seguras em sistemas complexos e críticos.

Nesse contexto, no âmbito da Ciência da Informação esta pesquisa se justifica pela necessidade de aprofundar o entendimento sobre o modelo de fluxo de dados e de fluxo de controle, explicitando como o processo de transdução informacional influencia a qualidade dos dados. Além disso, espera-se que esta abordagem possa contribuir para o desenvolvimento de métodos mais seguros de governança e controle de dados, além de possibilitar o aprimoramento das metodologias de gestão dos dados em sistemas complexos e críticos, garantindo maior eficiência, segurança e confiabilidade dos dados disponibilizados.

No âmbito científico, justifica-se pela sua relevância ao analisar o fluxo de dados e de controle em sistemas complexos e críticos, como o sistema de EGT, considerando os processos transformativos e o papel do ciclo de vida dos dados, sobretudo na fase de coleta, que é fundamental para garantia da qualidade dos dados demandados pelo contexto de uso, destacando a dinâmica dos modelos de fluxo estudados na integração entre as diversas interfaces existentes nos processos maquínicos.

No campo social, a pesquisa se justifica na medida em que possa proporcionar um arcabouço teórico para os profissionais da informação sobre os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, além de possibilitar uma compreensão sobre os processos maquínicos, as tecnologias e os atores envolvidos na transformação dos dados, contribuindo para o avanço interdisciplinar em áreas como Engenharia, Administração, Ciência de Dados e demais áreas da qual a Ciência da Informação possa contribuir de forma significativa para o gerenciamento, controle e acesso dos dados pelos usuários finais em suas demandas informacionais.

Considera-se, também, a relevância da pesquisa nos impactos relacionados aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), contribuindo com a ODS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, cujo objetivo principal é criar uma infraestrutura resiliente que promova a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação, especialmente a meta 9.4, que busca promover a modernização da infraestrutura e a reabilitação das indústrias, tornando-as sustentáveis a partir do uso de tecnologias eficientes e processos ambientais corretos (ONU, 2024).

Ainda, busca contribuir com a ODS 7 - Energia Acessível e Limpa, especificamente com a meta 7.a, que fomenta a cooperação internacional para facilitar o acesso à pesquisa, infraestrutura e tecnologias de energia limpa e renováveis, no qual a abordagem sobre o processo de transdução informacional de temperatura dos gases de exaustão de motores à reação em dados informacionais confiáveis, possa contribuir para pesquisas futuras sobre como aumentar a eficiência dos motores aeronáuticos a partir do uso de energias fiáveis, sustentáveis e modernas, uma vez que as emissões de gases dos motores contribuem para o aquecimento global e a poluição atmosférica, impactando negativamente a produção de energia limpa e acessível.

Ressalta-se que a crescente preocupação com as mudanças climáticas e seus impactos socioambientais tem impulsionado a busca por alternativas energéticas mais limpas e eficientes em diversos setores, incluindo o da aviação. Nesse contexto, pesquisas direcionadas ao monitoramento e controle do EGT, parâmetro diretamente relacionado ao consumo de combustível, são fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas que visão a redução da pegada de carbono do setor aeronáutico, favorecendo o alcance da meta de energia limpa estabelecida pela ODS até 2030.

Da mesma forma, espera-se que esta pesquisa possa contribuir com a ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, para a adoção de padrões de consumo e produção sustentáveis, alinhados à meta 12.c, que busca racionalizar e minimizar o uso de recursos naturais, materiais tóxicos, geração de resíduos e a emissão de poluentes no meio ambiente (Embrapa, 2018; ONU, 2024).

Com isso, destaca-se a relevância da pesquisa no contexto institucional, favorecendo o fortalecimento do Programa de Pós-Graduação em Ciência da Informação (PPGCI) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), vinculada ao Grupo de Pesquisa Tecnologias de Acesso a Dados (GPTAD), ao desenvolver pesquisas interdisciplinares alinhados com as necessidades da sociedade, cujo objetivo é a ampliação e o impacto do PPGCI no avanço da compreensão e desenvolvimento de abordagens, no campo da CI, sobre acesso e uso dos dados em contextos sociais, institucionais e organizacionais diversos.

Nesse contexto, tal abordagem torna-se essencial na construção de novos saberes para os profissionais da informação, uma vez que,

> Não se trata mais de dominar técnicas de registro em um suporte com marcações específicas que, quando observadas por outros, podem ser diretamente identificadas e interpretadas. Não basta mais a alfabetização: os conteúdos precisam ser registrados e disponibilizados por máquinas que funcionem com outras formas de energia e codificação. (Sant'Ana, 2021, p. 61).

Ademais, contribui com a oferta de um arcabouço teórico capaz de auxiliar na construção de novos caminhos para que os usuários possam acessar, utilizar e compreender como os dados são processados nos fluxos de dados e de controle, sobre o processo de transdução informacional e o papel integrador do CVD, além da perspectiva interdisciplinar do trabalho em conjunto com outras áreas do conhecimento como a Ciência da Computação, a Matemática e a Engenharia.

1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A análise do fluxo de dados e do fluxo de controle busca a compreensão dos mecanismos pelos quais sistemas complexos e críticos se autorregulam e se adaptam em decorrência das diversas transformações inerentes ao processo. Tal dinâmica ocorre por meio da retroalimentação ou *feedback* (Wiener, 1948) de dados, que desempenha um papel central na distinção entre os conjuntos de dados, possibilitando a interação entre o fluxo de dados, o fluxo de controle e as fases que compõem o CVD.

Dessa forma, observa-se que tais processos são fundamentais para que diferentes tipos de dados, sinais ou energia sejam convertidos em dados úteis e direcionados para o contexto adequado de uso. Assim, o *feedback* constitui um fundamento essencial para o controle de sistemas complexos, uma vez que viabiliza o gerenciamento e a regulação da dinâmica do fluxo de dados em resposta às variações provenientes do ambiente ao qual o processo está inserido.

Nesse contexto, esta pesquisa delimita-se na abordagem sobre a relação entre os princípios estruturais dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle e as transformações ocorridas nos dados ao longo de seu percurso desde a coleta à recuperação, sem para tanto se aprofundar na teoria da informação por considerar um tema conceitualmente ‘pantanoso’, dada a ambiguidade persistente entre os limites e interseções com a teoria da comunicação.

Desse modo, adota-se o termo teoria da informação a partir da inferência de que o foco principal da definição proposta por Shannon e Weaver (1949) concentrava-se na mensuração do conteúdo transmitido entre dois pontos, em um canal de comunicação, do emissor ao receptor. Tal compreensão é corroborada por Corning (2001), ao destacar o caráter quantificável do dado transmitido no contexto da comunicação técnica, dissociado, à época, de aspectos semânticos ou interpretativos.

No âmbito da Ciência da Informação, ressalta-se a relevância das discussões sobre as questões legais relacionadas ao acesso e uso dos dados, cujas implicações éticas se tornam particularmente evidentes no contexto do gerenciamento de sistemas de informação caracterizados por alta complexidade e criticidade, no qual o processo de transdução informacional dos dados apresenta-se como um elemento

estratégico, capaz de contribuir significativamente para a qualidade e a validação dos dados no domínio específico de uso.

No entanto, esta pesquisa não se propõe a responder às questões relacionadas aos desafios éticos envolvidos no uso de dados, tampouco tem como objetivo aprofundar as discussões referentes à garantia da privacidade, à segurança e ao uso responsável por parte de seus detentores.

Por fim, ressalta-se que tais temáticas podem ser exploradas em pesquisas futuras explicitando a complementaridade dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle e o papel da estrutura do CVD no planejamento estratégico de coleta de dados, garantindo a qualidade e a segurança no processo de integração entre as diversas fontes, bem como o desenvolvimento de sistemas de informação mais eficientes.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa se caracteriza como uma abordagem qualitativa e de natureza aplicada, uma vez que busca avaliar e relacionar a questão de pesquisa aos objetivos específicos propostos. Assim, ressalta-se que a pesquisa qualitativa “[...] está fortemente interessada na identificação de associações causais, correlativas ou de outros tipos, entre os eventos, processos e consequências que ocorrem nas vidas mentais e sociais dos seres humanos” (Lankshear; Knobel, 2008, p. 66).

No que diz respeito abordagem adotada, buscou-se “[...] compreender e analisar a realidade dos enfoques da pesquisa” (Treviños, 1987, p. 117), e todos os processos envolvidos no contexto explorado. Quanto aos objetivos propostos, a pesquisa se caracteriza como exploratória e descritiva, uma vez que se busca o conhecimento, a compreensão e a “[...] familiaridade com o objeto a ser investigado” (Gondim; Lima, 2006, p. 70), identificando os conceitos e as contribuições para o campo de estudo.

Como procedimento metodológico, a presente pesquisa adotou uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), centrando-se na análise de modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, considerados elementos essenciais para a compreensão dos processos que operam sobre os dados ao longo de seu percurso em sistemas complexos e críticos. A análise é fundamentada sob a perspectiva da

Ciência da Informação, a partir do uso da estrutura do ciclo de vida dos dados, que buscou-se identificar os tipos de transformações aos quais os dados são submetidos nas diversas camadas de abstração maquínicas, compreendendo desde a coleta até a disponibilização nas interfaces digitais de sistemas de informação (Sant'Ana, 2019a).

Segundo Morandi e Camargo (2015, p. 142), o emprego da RSL no mapeamento e avaliação detalhada de um projeto de pesquisa tem por objetivo, "[...] consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes sobre uma questão ou tópico específico, bem como identificar lacunas a serem preenchidas, resultando em um relatório coerente ou em uma síntese".

Dessa forma, o objetivo central da RSL é determinar se os resultados da pesquisa reproduzem uma orientação confiável para tomada de decisões práticas, fornecendo subsídios para quais diretrizes, programas e estratégias podem ser adotadas ou não, em um contexto ou público específicos (Hammersley, 2014, 2020).

Com isso, a partir da compreensão teórica dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, elaborou-se um diagrama para representar a estrutura dos modelos estudados com o objetivo de aplicar, de forma empírica, os conceitos analisados ao longo da pesquisa. A abordagem adotada considerou os processos transformativos aos quais os dados são submetidos, desde sua origem até sua disponibilização como informação significativa, contemplando as diversas camadas de abstração envolvidas.

Nesse percurso, os fluxos de dados e de controle foram tratados como elementos estruturantes para a análise das interações entre os componentes técnicos e informacionais do sistema em estudo, considerando as fases e fatores do CVD, que orientou a seleção dos critérios e das categorias utilizadas na interpretação dos processos de transdução informacional observados.

Para o constructo teórico, adotou-se como estratégia a coleta de artigos, manuais pertinentes ao escopo estudado, livros da literatura nacional e estrangeira, sem estabelecer uma linha temporal específica, uma vez que o tema proposto apresenta uma limitação de pesquisas na área de Ciência da Informação sobre o fluxo de dados e de fluxo de controle em sistemas complexos e críticos.

Após a coleta, as informações como autor, título e ano de publicação foram tabuladas a partir das estratégias baseadas no procedimento metodológico de revisão sistemática de Kitchenham (2004), como apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Protocolo da RSL

Designação	Descrição
Objetivo geral	Identificar as produções científicas na categoria de fluxo de dados e de fluxo de controle em sistemas complexos e os processos transformativos dos dados (Yourdon, 2016; Morrison, 2010; Sant'Ana, 2019a).
Critérios de elegibilidade e tipos de documentos	Temáticas relacionadas: *dataflow, control flow, informational transduction.* • Sem delimitação temporal; • Idiomas: português, inglês, espanhol; • Documentos em acesso aberto; • Artigo de periódico científico, livro, capítulo de livro, artigos publicados em anais de evento.
Base de dados	*Web of Science, Scopus*, Brapci, *Google Scholar,* DOAJ.
Termos de busca	Na literatura estrangeira: "dataflow" OR "data flow", "control flow" OR "controlflow", "informational transduction". Na literatura nacional: "fluxo de dados", "fluxo de controle" e "transdução informacional".
Campos de busca	Título, resumo ou palavra-chave.
Critérios de inclusão	Indicar realização da pesquisa sobre a temática proposta no título e/ou no resumo; Trabalhos realizados na área de Ciência da Informação e da Ciência da Computação.
Critérios de exclusão	Há apenas menção ao termo fluxo de dado e fluxo de controle, sem pesquisa realizada; Artigos distantes do escopo da pesquisa; Revisões de literatura.
Seleção dos textos (1ª fase)	Leitura do título, resumo e palavras-chave.
Análise de conteúdo (2ª fase)	Leitura da introdução, da metodologia, de elementos flutuantes e termos relacionados à pesquisa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da seleção dos documentos recuperados, realizou-se uma análise de conteúdo obedecendo aos critérios de reconhecimento, leitura exploratória, seletiva e reflexiva (Marconi; Lakatos, 2003), sendo excluídos os textos que não tinham pertinência com o escopo da pesquisa e considerados apenas, artigos, livros e documentos cujas aplicações, processos e técnicas mantinham coerência com a temática proposta.

Para seleção dos arquivos foram adotados os termos de busca apresentados no Quadro 1, sendo recuperados um total de cento e noventa e um

(191) artigos que corresponderam ao escopo proposto nesta pesquisa, nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus*, Brapci, *Google Scholar* e DOAJ.

Na Tabela 1, apresentam-se os dados obtidos a partir das fontes nacionais e internacionais, organizados segundo os termos de busca utilizados, as bases de dados consultadas e a quantidade de artigos recuperados e relacionados ao tema proposto nesta pesquisa e, sobre uso de dados sob a perspectiva da Ciência da Informação.

Tabela 1 – Dados recuperados

Base de Dados	**Termos de busca**		
	“dataflow” OR “data flow”; “fluxo de dados”; “flujo de datos”	“control flow” OR “controlflow”; “fluxo de controle”; “flujo de control”	"informational transduction"; “transdução informacional”; “transducción de información”
Web of Science	18	10	1
Scopus	13	53	19
Brapci	15	0	0
Google Scholar	15	10	9
DOAJ	2	26	0

Fonte: Dados de pesquisa recuperados em março de 2024.

Na etapa seguinte, deu-se início a análise do conteúdo na tentativa de identificar os conceitos pertinentes à temática proposta, correlacionando seus processos com as fases do ciclo de vida dos dados que compreende desde a coleta até a disponibilização dos dados e/ou informações nas interfaces de sistemas de informação, sendo selecionados setenta e dois (72) documentos para análise.

A partir dos critérios de inclusão e exclusão, apresentam-se no Quadro 2 e Quadro 3, respectivamente, os artigos selecionados para a fase de leitura e análise de conteúdo dos termos de busca “dataflow” e “flujos de datos”, com um total de vinte (20) artigos e dos termos “control flow” e “flujo de control”, também com um total de vinte (20) artigos, correspondendo aos artigos recuperados das bases de dados WoS, *Scopus, Google Scholar* e DOAJ, sendo selecionados os artigos com relevância e aderência ao escopo dessa pesquisa.

Quadro 2 – Resultados do termo de busca *dataflow* e *flujo de datos*

Autor(es)	**Título**	**Ano**
ACKERMAN, W.	Data flow languages.	1982
ARVIND, D.; CULLER, D. E.	Dataflow architectures.	1986
VEEN, A. H.	Dataflow machine architecture.	1986

MORRISON, J. P.	Flow-Based Programming: a new approach to application development.	1994
AUGUSTON, M.; DELGADO, A.	Iterative constructs in the visual data flow language.	1997
ROH, L. *et al*..	Resource management in dataflow-based multithreaded execution.	2001
ZIAVRAS, S. G.	Processor design based on dataflow concurrency.	2003
JOHNSTON, W. M.; HANNA, J. R. P.; MILLAR, R. J.	Advances in dataflow programming languages.	2004
MERCALDI, M. *et al.*.	Instruction scheduling for a tiled dataflow architecture.	2006
DIVÁN, M. J.; OLSINA, L.	Enfoque Integrado para el Procesamiento de Flujos de Datos: Un Escenario de Uso.	2009
BHATTACHARYYA, S. S.; DEPRETTERE, E. F.; KEINERT, J.	Dynamic and multidimensional dataflow graphs.	2010
JANNECK, J. W. *et al.*.	Synthesizing hardware from dataflow programs.	2011
KEE, H. *et al*..	Mapping parameterized cyclo-static dataflow graphs onto configurable hardware.	2012
GIRALDO, F. A.; LEON, E.; GOMEZ, J.	Caracterización de flujos de datos usando algoritmos de agrupamiento.	2013
BASGALL, M.J. *et al.*.	Clustering de un flujo de datos usando MapReduce.	2016
COLLINS, T. F.; WYGLINSKI, A. M.	Dataflow in MATLAB: algorithm acceleration through concurrency.	2017
JAGODE, H. *et al*..	Evaluation of dataflow programming models for electronic structure theory.	2018
NOWATZKI, T.; GANGADHAR, V.; SANKARALINGAM, K.	Heterogeneous Von Neumann/dataflow microprocessors.	2019
HASPERUÉ, W. *et al.*.	Procesamiento inteligente de grandes volúmenes de información y de flujos de datos.	2021
RIVERO-RIQUEME, D.; ORTIZ-CLAVIJO, L. F.	Esquema de Flujo de Datos para la Toma de Decisiones en el Sector Público.	2021

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 3 – Resultados do termo de busca *control flow* e *flujo de control*

Autor(es)	**Título**	**Ano**
ALLEN, F. E.	Control flow analysis.	1970
YOURDON, E.	Modern structured analysis.	1989
BECK, M; JOHNSON, R; PINGALI, K	From control flow to data-flow.	1991
LAM, M. S., WILSON, R. P.	Limits of control flow on parallelism.	1992
NICHOLS, M. A.; SIEGEL, H. J.; DIETZ, H. G.	Data management and control-flow aspects of an simd spmd parallel language compiler.	1993

KIEPUSZEWSKI, B.; TER HOFSTEDE, A. H. M.; VAN DER AALST, W. M. P.	Fundamentals of control flow in workflows.	2003
BAVERA, F.; NORDIO, M.; AGUIRRE, J.	Análisis de flujo de control y código móvil seguro.	2005
RUSSELL, N. *et al*..	Workflow control-flow patterns: a revised View.	2006
TALLAM, S.; GUPTA, R.	Unified control flow and data dependence traces.	2007
NOGUERA, M. *et al..*	Modelado del Flujo de Control en Tareas Colaborativas utilizando OWL-DL.	2008
GHODRAT, M. A.; GIVARGIS, T.; NICOLAU, A.	Optimizing control flow in loops using interval and dependence analysis.	2009
CASTRO, F. H.; FALLAS, J. M.	Flujo de control en iOS.	2012
LUKÁCS, D.; PONGRÁCZ, G.; TEJFEL, M.	Control flow based cost analysis for P4.	2020
MILLAN NAVEAS, G.; VARGAS GUZMAN, M.	Un algoritmo de control de flujo para redes de computadoras de alta velocidad.	2020
BUTT, A. S.; FITCH, P.	A provenance model for control-flow driven scientific workflows.	2021
ROSEMANN, J.; MOLL, S.; HACK, S.	An abstract interpretation for SPMD divergence on reducible control flow graphs.	2021
HASSELBRING, W.; WOJCIESZAK, M.; DUSTDAR, S.	Control flow versus data flow in distributed systems integration: revival of flow-based programming for the industrial internet of things.	2021
CAZORLA VANEGAS, N. P.; CALDERÓN, F.; AVILA-ORDÓÑEZ, E.	Control de Flujo en Rampas: Una Revisión de Literatura.	2022
FORSELL, M. *et al..*	Performance and programmability comparison of the thick control flow architecture and current multicore processors.	2022
CHENG, J. Y. *et al..*	Parallelising control flow in dynamic-scheduling high-level synthesis.	2023

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 4, são apresentados os artigos recuperados com o termo de busca “fluxo de dados” indexados na Brapci, sendo selecionados, após os critérios de inclusão e exclusão, dez (10) correspondentes a artigos científicos e dois (2) textos publicados em anais de evento, totalizando 12 artigos.

Quadro 4 – Resultados do termo de busca fluxo de dados na Brapci

Autor(es)	**Título**	**Ano**
SALVIATI, M. E.	Diagrama de fluxo de dados: um novo instrumento para representação gráfica de sistemas.	1982
PION, M.	Política de base de dados brasileiros.	1985

CARDIM, E. C. *et al.*.	Askgene, um sistema para processamento automatizado de dna.	2007
FERREIRA, R. R.; ROCHA, L. M. G. M.	Museus virtuais: entre termos, conceitos e formatos.	2014
CUNHA, F. J. A. P. *et al.*.	Análise de redes sociais como estratégia de monitoramento para a difusão de informações entre hospitais.	2016
CRUZ, L. R.	Novos modelos de negócio, vigilância ubíqua e as transformações no desenvolvimento da internet.	2016
ALVARENGA NETTO, C. A. *et al.*.	A janela de johari como ferramenta de análise da privacidade de dados pessoais.	2019
SILVA, H. B. G.; RICARDO, M. A. P.	5g e a governança pela tecnologia.	2022
MOREIRA, F. M. *et al.*.	Uso do campo informacional na interpretação de fluxos de dados: um estudo do processo de apuração do ICMS nas atividades agropecuárias.	2022
WITT, A. S., & SILVA, F. C. C.	Ciência cidadã e biodiversidade brasileira: fluxo de dados científicos.	2023
RODRIGUES, F. A.; SANTANA, R. C. G.	Privacidade e rede social on-line: um modelo para a análise da coleta de dados pessoais.	2023
NOVAIS, M. P. *et al*..	Análise, extração e migração do banco de dados do cadastro único para o sistema progredir.	2023

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que, no âmbito nacional as pesquisas na área de Ciência da Informação sobre o tema de fluxo de controle e de transdução informacional ainda são incipientes, não sendo possível a recuperação de artigos relacionados aos termos na base de dados da Brapci, no período de coleta de dados para esta pesquisa.

No entanto, ao efetuar a busca pelo termo “transdução informacional” no *Google Scholar* foi possível recuperar quatro (4) artigos acadêmicos desenvolvidos no âmbito nacional sobre o tema, na área de Ciência da Informação, por Sant’Ana nos anos de 2019 e 2021.

No Quadro 5, são apresentados os artigos recuperados, considerando a busca pelos termos “transdução” e “transdução informacional” e seus respectivos termos em inglês, “transduction” e “informational transduction” e o termo em espanhol “transducción de información”, sendo selecionados para esta fase de análise um total de 20 artigos.

Quadro 5 - Resultados do termo de busca transdução informacional

Autor (es)	Título	Ano
SIMONDON, G.	L’individuation: à la lumière des notions de forme et d’information.	2005 (1958)
VAN DUYN, D. C.; MIDDELHOEK, S.	Information transduction in solid-state transducers: a general thermodynamic systems approach, sensors and actuators.	1990

DELEUZE, G; GUATTARI, F	Mil Platôs: capitalismo e esquizofrenia.	1995
COHEN, H.; ROGERS, G. F. C.; SARAVANAMUTTOO, H. I. H.	Gas turbine theory.	1996
ESPINOZA, A. D. M.; HERRERA, J. R.; GOLD, S. E.	Las vías de transducción de señales en la patogénesis y la morfogénesis de hongos: los casos de Ustilago maydis y Magnaporthe grisea.	2000
MACKENZIE, Adrian	Transductions: bodies and machines at speed.	2002
DELEUZE, G.	Gilbert Simondon, o indivíduo e sua gênese físico-biológica.	2003
TALEISNIK, S.	Receptores celulares y la transducción de señales. Temas de Biología Celular.	2006
LLEDÓ RIQUELME, M.; CAMPOS MOLLO, E.; CUENCA, N.	La transducción visual.	2010
ESCÓSSIA, L da.	Individuação e informação em Gilbert Simondon. Informática na educação: teoria & prática.	2012
TANG, H. X. *et al.*.	Information transduction based on magnons.	2012
MAHMOUD, M. S. B.; PIROVANO, A.; LARRIEU, N.	Aeronautical communication transition from analog to digital data: a network security survey.	2014
PADOVANI, J. H.	Acerca da transdução: princípios técnicos, aspectos teóricos e desdobramentos.	2014
HANSEN, A. S.; O'SHEA, E. K	Limits on information transduction through amplitude and frequency regulation of transcription factor activity eLife.	2015
DENG, Y. *et al*..	Information transduction capacity reduces the uncertainties in annotation-free isoform discovery and quantification.	2017
LUCERO, J. N. E.	Energy and information transduction in strongly-coupled systems.	2019
SANT'ANA, R. C. G.	Transdução informacional: impactos do controle sobre os dados.	2019
SANT'ANA, R. C. G.	Campo informacional resultante da interação de ciclos de vida dos dados.	2019
SANT'ANA, R. C. G.	A transdução nos processos de mediação e a informação biodisponível.	2021
SANT'ANA, R. C. G.	Interoperabilidade de dados e a transdução informacional encapsulada no acesso a dados.	2021

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para representar os modelos estudados, foram utilizadas figuras de diagramas de fluxo de dados e de fluxo de controle com o objetivo de demonstrar a relação e complementaridade dos elementos estruturais dos modelos, bem como as etapas do processo de transdução informacional em um contexto específico de aplicação, o sistema de EGT de motores aeronáuticos, observando a possibilidade de uso integrado dos modelos de fluxos e as fases e fatores do CVD, permitindo uma compreensão do todo e dos atores envolvidos no fluxo de dados em sistemas complexos e críticos.

Nesse sentido, no âmbito da aviação é possível estabelecer uma compreensão e aplicação prática das teorias dos modelos de fluxo estudados, cujos dados processados nas diversas camadas de interfaces maquínicas, envolvidas nesse processo, são essenciais para a tomada de decisões em tempo real.

Diante do exposto, Sant'Ana (2019a) aponta que o processo de transdução informacional compreende as etapas de conversão de sinais em diferentes formatos, impactando diretamente as relações estabelecidas entre os seres humanos e as tecnologias. Assim, observa-se que a incorporação de tecnologias não apenas potencializa a velocidade e a eficiência desse processo, mas também pode viabilizar o surgimento de novos métodos de controle (Mackenzie, 2002).

Nesse contexto, com o objetivo de explicitar e aplicar os conhecimentos construídos a partir das contribuições teóricas de Oppenheim *et al*. (1992), Morrison (1994, 2010), Wiener (1948, 2017), Shannon e Weaver (1949), Gale *et al*. (1982), Von Moll *et al*. (2014), Veen (1986), Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021), FAA (2018, 2023) e Sant'Ana (2016, 2019a, 2019b), desenvolveu-se uma análise de um estudo de caso voltado à compreensão do fluxo de dados e do fluxo de controle e do processo de transdução informacional ocorridos desde a coleta até a recuperação dos dados provenientes de sensores termopares instalados nos sistemas de exaustão de motores aeronáuticos.

Tais sensores são empregados no monitoramento e controle das temperaturas dos gases, evidenciando a complexidade dos processos comunicacionais e informacionais envolvidos em sistemas de alta criticidade, fornecendo um cenário empírico adequado para a identificação das camadas e processos de transdução física, digital e semântica que se articulam ao longo do ciclo de vida dos dados. Além disso, possibilita a análise dos mecanismos de conversão, interpretação e disponibilização dos dados à luz dos referenciais teóricos adotados.

Destaca-se que, o diagrama apresentado na subseção 4.3 foi elaborado com base na experiência técnico-profissional do autor desta pesquisa, cuja atuação no setor aeronáutico ultrapassa duas décadas, aliada à análise de conteúdos técnicos extraídos dos manuais de treinamento e das regulamentações de segurança operacional disponibilizados pela *Federal Aviation Administration* (FAA, 2018; 2023) e pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2020). Dessa forma, a combinação entre vivência prática e referencial documental técnico permitiu a construção de uma

representação fiel aos processos operacionais e informacionais observados no contexto investigado, conferindo maior robustez à modelagem do estudo de caso.

Por fim, ressalta-se que a utilização de sensores para o monitoramento do sistema de EGT apresenta aplicabilidade transversal a diferentes configurações propulsoras, podendo ser empregada em distintas instâncias de controle tanto em motores a pistão quanto em motores à reação. Tal versatilidade evidencia a relevância dos dispositivos de sensoriamento no âmbito do controle e do desempenho operacional de sistemas complexos e críticos.

1.6 ESTRUTURA DA TESE

A presente tese está estrutura nas seguintes seções, como apresentada na estrutura da Figura 1.

Na seção 1 – INTRODUÇÃO, apresenta-se uma síntese do contexto da pesquisa com conceitos iniciais sobre as temáticas abordadas. Em suas subseções, apresenta-se a caracterização do problema de pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos, a justificativa, as delimitações do tema e os procedimentos metodológicos, associando os principais conceitos e autores que compõem os resultados expostos nessa pesquisa.

Na seção 2 – CONTEXTO DOS DADOS EM SISTEMAS COMPLEXOS E CRITICOS, são apresentados a dimensões e o contexto de uso dos dados, bem como uma abordagem sobre as definições conceituais da teoria da informação e a noção de entropia e, os sistemas de controle no contexto proposto.

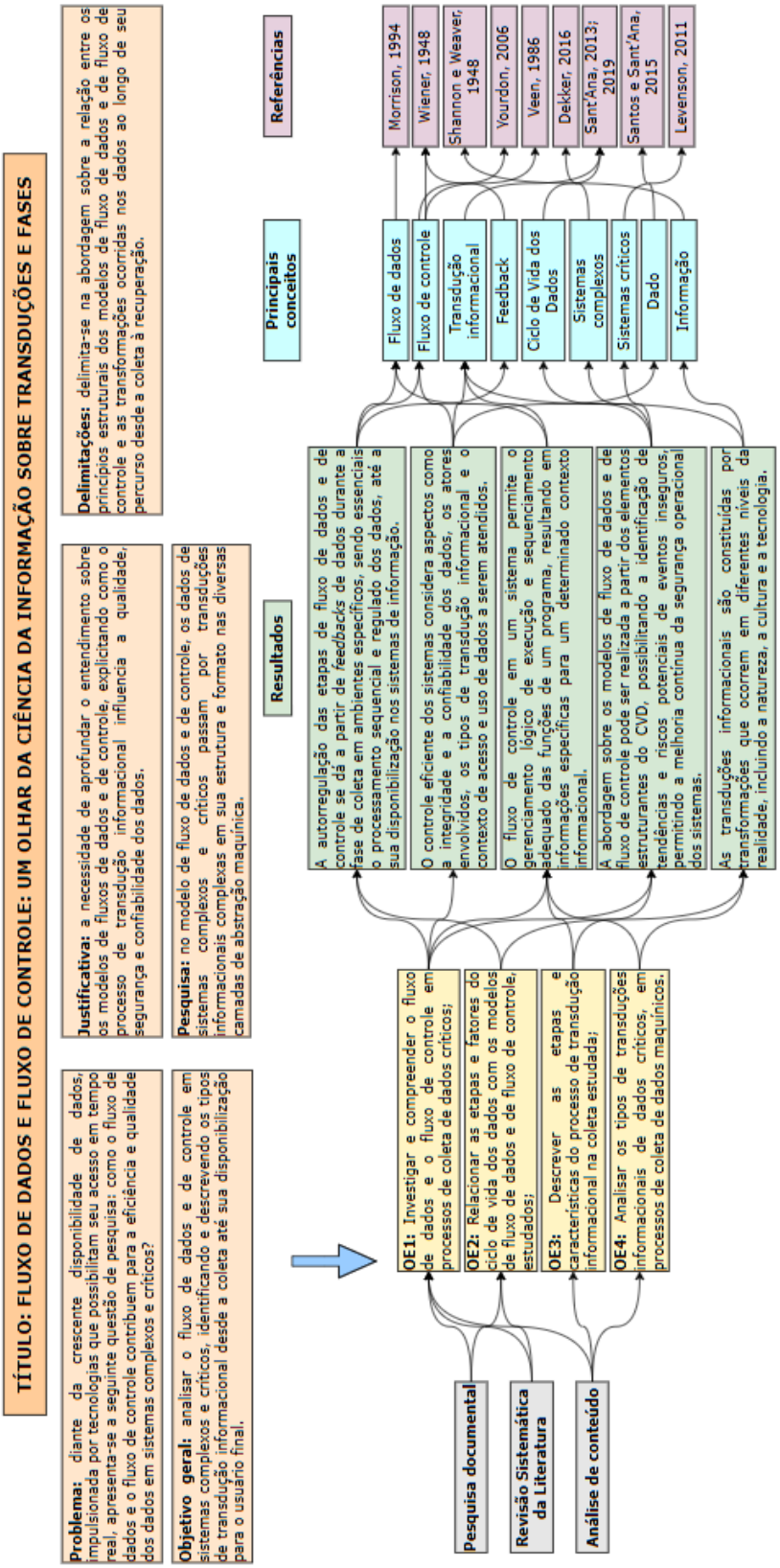
Na seção 3 – MODELOS DE FLUXO DE DADOS, discorre-se sobre os diferentes tipos, formatos e a estrutura dos dados e o uso das tecnologias de informação e comunicação no processamento de grandes volumes de dados; o fluxo de dados e o fluxo de controle, respectivamente, e a maneira como os dados fluem e são transformados nas diversas interfaces de um sistema operacional.

Na seção 4 – TRANSDUÇÃO INFORMACIONAL, apresenta-se o conceito de transdução informacional, sua origem e características; aborda a estrutura do ciclo de vida dos dados e o papel das fases e fatores nos modelos de fluxo estudados e, traz um estudo de caso aplicado a um determinado contexto de uso dos dados.

Na seção 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES, apresenta-se os resultados das análises dos modelos de dados estudados, correlacionando os conceitos explorados com a criação de um diagrama para explicitar o fluxo de dados em um sistema específico. Os resultados são apresentados a partir de figuras e quadros para melhor visualização e compreensão da temática abordada no contexto de sistemas complexos e críticos. Ademais, destaca-se a importância do tema para o desenvolvimento de sistemas de informação mais seguros e democráticos quanto ao acesso e uso dos dados.

E, na seção 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS, traz-se as reflexões e conclusões sobre os tópicos abordados na pesquisa e a possibilidade de pesquisas futuras.

Figura 1 – Estrutura da pesquisa



Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2022).

2 O CONTEXTO DOS DADOS EM SISTEMAS COMPLEXOS E CRÍTICOS

O intenso fluxo de dados vivenciados na contemporaneidade fomenta o desenvolvimento de pesquisas na área de Ciência da Informação com vistas a compreender como as tecnologias de comunicação e informação podem desempenhar papel central no compartilhamento de uma gama, cada vez maior, de recursos informacionais.

Diante de um cenário tão desafiador, faz-se necessário, também, a compreensão de como os dados podem ser controlados para prover cada vez mais resultados significativos que atendam demandas específicas em tempo real, atentando-se à complexidade envolvida para possibilitar maior agilidade no acesso, sobretudo em sistemas complexos.

Para tanto, é importante explorar, minimamente, os conceitos intrínsecos à teoria da informação abordadas por Shannon (1948) e Wiener (1948) e quais as contribuições no âmbito dos aspectos sociais e maquínicos envolvidos nos processos de fluxo de dados e de controle, nos sistemas. Contudo, não se pretende aprofundar nos constructos teóricos que dizem respeito à teoria da comunicação em si (Shannon, 1948), mas sim no que diz respeito ao processo de transmissão de dados entre uma fonte e um receptor.

Nesse contexto, observa-se que à época a proposição da teoria da comunicação de Shannon (1948), em sua gênese, provavelmente não priorizou a distinção conceitual entre dado e informação, mas sim na forma como o conteúdo poderia ser transmitido nos canais de comunicação, considerando para tanto as possíveis perdas ou ruídos inerentes ao processo.

Dessa forma, propõe-se que o olhar de Shannon (1948) recaiu, inicialmente, sobre a dimensão quantitativa e eficiência da transmissão de um conteúdo do ponto de origem A, para um ponto de destino B como forma de mensurar o que estava sendo transmitido, ampliando a perspectiva de análise da tecnologia proposta, em detrimento de uma análise semântica detalhada.

Com a explosão informacional proporcionada pelo uso acelerado das tecnologias de informação e comunicação na chamada Era da informação (Davenport; Prusak, 1998), faz-se necessário estabelecer uma distinção mais clara entre os termos dado e informação, no qual um dado pode ser considerado como “[...] fatos

coletados e normalmente armazenados, [...] podendo estar em formato eletrônico, analógico ou digital" (Amaral, 2016, p.3), enquanto a informação são os dados analisados, tratados e com maior valor semântico agregado para gerar valor a um determinado contexto de uso (Davenport; Prusak, 1998; Amaral, 2016).

Davenport e Prusak (1998, p. 2) observam que, os dados podem estar relacionados ao "[...] conjunto de fatos distintos e objetivos, relativos a eventos, descritos utilitariamente, no contexto organizacional, como registros estruturados de transações", atendendo a contextos de demandas especificas.

Um dado também pode ser definido como algo "[...] para se referir ao que realmente é armazenado no banco de dados e informações para se referir ao significado desses dados para determinado usuário" (Date, 2004, p. 5).

Para Setzer (1999), o dado é considerado como um recurso que pode ser representado em suportes computacionais, sendo que:

> Não é possível processar informação diretamente em um computador. Para isso, é necessário reduzí-la a dados. [...] A representação da informação pode eventualmente ser feita por meio de dados. Nesse caso, pode ser armazenada em um computador. Mas, atenção, o que é armazenado na máquina não é a informação, mas a sua representação em forma de dados. (Setzer, 1999, p. 10).

Diante deste cenário, é relevante salientar que a definição precisa de dado é fundamental para compreender as etapas e processos que envolvem o fluxo de dados e de controle em sistemas complexos e críticos, uma vez que a tomada de decisões dependerá da qualidade dos dados coletados e disponibilizados nos sistemas de informação.

No Quadro 6, apresenta-se alguns elementos estruturais que diferem o dado de uma informação e como tais conceitos podem ser compreendidos nos ambientes informacionais e organizacionais, a partir da perspectiva de Davenport e Prusak (1998).

Quadro 6 – Dado e informação

Dado	**Informação**
Simples observações sobre o estado do mundo	Dados dotados de relevância e propósito
Facilmente estruturado	Requer unidade de análise
Facilmente obtido por máquinas	Exige consenso em relação ao significado
Frequentemente quantificado	Exige necessariamente a mediação humana

Facilmente transferível	

Fonte: Adaptado de Davenport e Prusak (1998, p. 18).

No entanto, diante do crescente desenvolvimento de suportes tecnológicos capazes de lidar com grandes quantidades de dados e do aumento da produção dos mais variados tipos de recursos informacionais digitais, Santos e Sant'Ana (2015, p. 201) propõem que o conceito de dado deve ser redimensionado sob novas perspectivas, sendo, inclusive, "[...] entendido e percebido como elemento fundamental nos fluxos informacionais", de modo a atender a um contexto de uso cada vez mais crescente em relação ao acesso a dados, sobretudo em tempo real.

A partir das contribuições teóricas de Davenport e Prusak (1998); Santos e Sant'Ana (2002; 2015); Sayão e Sales (2020); Setzer (1999); Amaral (2016) e Date (2004), é perceptível que a distinção entre dado e informação ainda é imprecisa, o que requer uma análise mais aprofundada desses conceitos para que haja uma compreensão clara do campo informacional de cada um na geração do conhecimento humano.

No âmbito do escopo dessa pesquisa, que aborda os processos de fluxo de dados e de controle considera-se a definição do termo dado a partir da perspectiva de Santos e Sant'Ana (2015), que o descrevem como um tipo especial de informação, caracterizado por apresentar baixa carga semântica em sua estrutura, necessária para ser absorvido por outros elementos maquínicos.

Para Santos e Sant'Ana (2015), a estrutura de um dado é essencialmente constituída pela tríade entidade, atributo e valor <e,a,v>. Para os autores, os dados podem ser inicialmente estruturados pela relação entidade-atributo <e,a>, que representa a menor granularidade possível de um contexto específico. Nesse estágio primário, o dado é caracterizado por sua capacidade de descrever e relacionar elementos, mas carece da precisão semântica conferida pela atribuição de um valor. Assim, a formação da tríade completa <e,a,v> ocorre quando um valor <v> específico é associado a um determinado atributo de uma entidade, o que possibilita a concretização do dado, tornando-a operacionalizável e passível de interpretação (Santos; Sant'Ana, 2015).

Nesse contexto, a granularidade de um dado refere-se ao nível de detalhamento ou especificidade com que o dado é representado, sendo determinado pela quantidade de atributos que compõem o conjunto de dados e pela diversidade

de valores que esses atributos podem assumir (Santos; Sant'Ana, 2015, p. 206), influenciando diretamente a capacidade analítica, a precisão e o potencial de uso dos dados em questão.

Considerando que os dados podem ser coletados das mais diversas fontes, suas origens podem ser categorizadas a partir de:

- Sensores: equipamentos que captam dados do ambiente físico, como temperatura, pressão e movimento (ex.: sensores em componentes aeronáuticos, sistemas de monitoramento ambiental e carros autônomos);
- Transações: registros de interações e eventos comerciais, como compras *online*, transações bancárias e pagamentos com cartão de crédito;
- Interações *Online*: dados gerados das atividades em plataformas digitais, como pesquisas na *internet*, interações em redes sociais e visualizações de vídeos;
- Dispositivos Móveis: dados coletados por smartphones, *tablets* e outros dispositivos móveis, como localização, dados de sensores e histórico de navegação;
- Sistemas de Gestão: dados coletados em sistemas de gestão de empresas e organizações como CRM e ERP;

Dessa forma, com o aumento da complexidade dos processos e na dinâmica de produção de dados e o crescente impacto das tecnologias digitais, apresenta-se o desafio de desenvolvimento de novas práticas e processos para o acesso e uso eficiente dos dados (Ramalho; Suave; Martins, 2024).

No que diz respeito à eficácia de tais processos, Sayão e Sales (2020, p. 32) destacam a necessidade de "[...] uma infinidade de debates que conectam aspectos tecno-sociais com abordagens epistemológicas, que enriquecem os estudos e debates em Ciência da Informação".

Nesse contexto, as tecnologias de informação e comunicação se configuram como um meio necessário para administrar grandes conjuntos de recursos informacionais e proporcionar maior agilidade no compartilhamento de dados entre os diversos setores em uma organização (Davenport; Prusak, 1998).

2.1 TEORIA DA INFORMAÇÃO E A NOÇÃO DE ENTROPIA

A abordagem dos modelos de fluxo de dados e de controle pode permitir aos usuários de sistemas de informações maior capacidade no acesso e uso dos dados em ambientes propositivos (Corning, 2001), possibilitada por uma nova perspectiva sobre os processos que permeiam os fluxos informacionais (Jamil, 2001, Valentim, 2010).

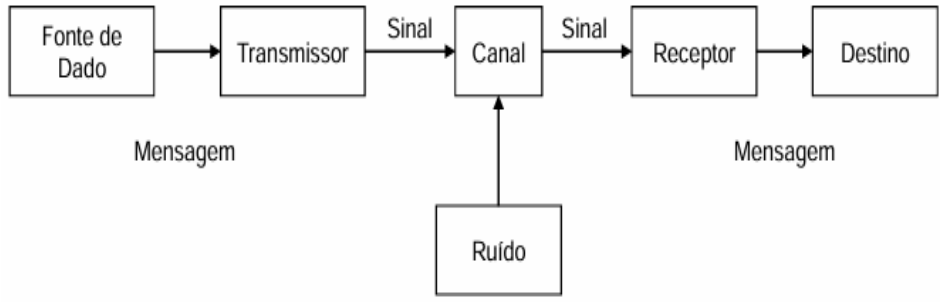
A partir das definições conceituais propostas por Shannon e Weaver (1949), estabeleceram-se as bases para uma comunicação mais eficaz, sobretudo no contexto das tecnologias da informação e comunicação, cujo modelo influenciou significativamente a compreensão dos fluxos de dados, bem como o desenvolvimento de mecanismos de codificação, decodificação e criptografia aplicados em sistemas complexos e críticos.

Ressalte-se que tais contribuições estabeleceram pilares fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao fluxo de dados e ao fluxo de controle em sistemas complexos, bem como dos processos neles envolvidos.

Dito isso, esta pesquisa propôs-se a analisar a articulação conceitual entre os fundamentos estabelecidos por Shannon (1948) e os processos de transmissão de dados observados nos modelos de fluxos estudados em um sistema mecânico complexo e crítico: o sistema de EGT de motores aeronáuticos. Assim, buscou-se compreender como tais fundamentos se manifestam na dinâmica do fluxo de dados e de controle nesse sistema, considerando sua relevância para a segurança operacional e a eficiência no monitoramento e resposta.

Nesse processo, Shannon e Weaver (1949, p. 3, tradução nossa) observam que do ponto de vista da transmissão de dados entre um emissor e um receptor, Figura 2, há de se considerar os ruídos, sendo que “[...] o problema fundamental da comunicação é reproduzir em um ponto, exatamente ou aproximadamente a mensagem selecionada em outro ponto".

Figura 2 - Diagrama do sistema de comunicação



Fonte: Adaptado de Shannon e Weaver (1949, p. 2).

No diagrama representado na Figura 2, os dados podem ser coletados de diversas fontes e enviados para um transmissor, que será o responsável por operar a mensagem de tal forma que produza um sinal desejado a ser transmitido por um canal de comunicação, para um receptor. Assim, o canal pode ser uma banda de radiofrequências ou um feixe de luz, cujos sinais podem sofrer influência externa como ruídos ou perturbações com capacidade para alterar seu significado durante o fluxo no sistema (Shannon; Weaver, 1949).

Diante de tais influências, cabe ao receptor a função de decodificar a mensagem recebida, aplicando os ajustes e correções necessários para que se aproxime o máximo possível da mensagem original, assegurando sua integridade e compreensibilidade no domínio de destino (Shannon; Weaver, 1949).

Nesse contexto, Corning (2001) observa que a teoria da informação tinha por objetivo minimizar os problemas relacionados à incerteza e/ou previsibilidade na transmissão de mensagens entre um remetente e um destinatário, no qual o conteúdo transmitido se refere à capacidade de reduzir a incerteza estatística desse processo. Para o autor, um fator de eliminação do grau de incerteza informacional decorrente desse processo seria o uso do *bit* binário como uma unidade de medida necessária para eliminar as incertezas no canal de comunicação (Corning, 2001).

Com isso, é possível quantificar os dados associados a uma variável ou contexto aleatório de sinais, cuja ideia principal é demonstrar que eventos prováveis ou previsíveis, transmite uma quantidade menor de dados do que eventos improváveis (Corning, 2001; Ashby, 1957; Rid, 2016; Ruyer, 2023).

Tal fato pode estar relacionado à entropia da informação (Shannon; Weaver, 1949; Wiener, 1948), que se refere à medida de incerteza ou aleatoriedade associada a uma fonte de dados, sendo seu entendimento fundamental para compreensão tanto a quantificação dos dados em um sistema quanto a capacidade

de um canal de comunicação transmitir o limite máximo de dados com qualidade e fidelidade.

No entanto, ressalta-se que apesar da abordagem desta pesquisa estar relacionada ao sistema de EGT, o conceito de entropia da informação não pode ser confundido com o conceito de entropia aplicável à teoria da segunda lei da termodinâmica, que se refere a uma grandeza que mede o grau de desordem ou aleatoriedade de dados em um sistema físico, podendo ser utilizado para descrever o estado de um sistema termodinâmico, representando a energia que não pode ser convertida em trabalho útil (Ruyer, 2023).

Segundo Shannon e Weaver (1949), a entropia da informação pode ser compreendida como uma medida de incerteza que quantifica os dados contidos em uma mensagem ou em um sistema, considerando para tanto os dados por unidade de símbolo ou *bit* em uma sequência de símbolos, ou *bits* (Shannon; Weaver, 1949; Corning, 2001).

Também pode estar associada as mensagens e sinais gerados no processo de comunicação, sendo determinado "[...] pelo caráter estatístico do processo, pelas várias probabilidades de chegar a situações de mensagem e de escolher, quando nessas situações, os próximos símbolos" (Shannon; Weaver, 1949, p. 17, tradução nossa). Dessa maneira,

> O transmissor, num caso como o da telefonia, apenas transforma o sinal de voz audível em algo (a corrente elétrica variável no fio telefônico) que é ao mesmo tempo, claramente diferente, mas claramente equivalente. No entanto, o transmissor pode realizar uma operação muito mais complexa na mensagem para produzir o sinal. Poderia, por exemplo, pegar uma mensagem escrita e usar algum código para cifrar essa mensagem, digamos, em uma sequência de números; esses números são então enviados pelo canal como sinal. (Shannon; Weaver, 1949, p. 17, tradução nossa).

Contudo, a eficiência de um canal de comunicação deve ser "[...] descrita em termos da sua capacidade de transmitir o que é produzido a partir da fonte de uma determinada informação" (Shannon; Weaver, 1949, p. 16, tradução nossa).

> Se a fonte for de um tipo simples em que todos os símbolos têm a mesma duração de tempo (que é o caso, por exemplo, de telecomunicação), se a fonte for tal que cada símbolo escolhido represente *s bits* de informação (sendo escolhido livremente entre 2 símbolos), e se o canal pode transmitir, digamos, *n* símbolos por segundo, então a capacidade de *C* do canal é definida como *ns bits* por segundo. (Shannon; Weaver, 1949, p. 16, tradução nossa).

Nessa perspectiva, o ponto central da teoria de Shannon e Weaver (1949) reside na preocupação com a transmissão de mensagens e a redução da incerteza nos canais de comunicação durante seu fluxo dos dados entre um emissor e um receptor (Corning, 2001).

Assim, considera-se que o controle desse processo tem uma dependência da demanda de uso dos dados nos modelos de fluxos estudados, uma vez que é sempre relacional e dependente do contexto (Corning, 2001), que é definido pela interação entre os usuários e o ambiente de aplicação dos dados.

2.2 CONTROLE DOS SISTEMAS

Em sistemas complexos e críticos, a ideia de controle pode estar associada a um modelo de gerenciamento do fluxo e transmissão de dados que possibilita garantir o retorno do *status* da operação, definindo quais ações são necessárias para permitir maior segurança e confiabilidade do sistema.

Conceitualmente, os princípios de controle dos sistemas são abordados por Norbert Wiener em seu livro *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*, e descrevem como os sistemas podem ser controlados e regulados tanto em máquinas quanto em organismos vivos, destacando como o processo de retroalimentação ou *feedback* pode garantir o controle eficiente de sistemas complexos e críticos, desde termostatos até organismos biológicos (Wiener, 1948).

Dessa forma,

> [...] o uso de algoritmos e *feedback* em sistemas projetados [...] inclui exemplos como circuitos de *feedback* em amplificadores eletrônicos, controladores de ponto de ajuste em processamento de produtos químicos e materiais, sistemas "*fly-by-wire*" em aeronaves e até mesmo protocolos de roteador que controlam o fluxo de tráfego na *Internet*. As aplicações emergentes incluem sistemas de *software* de alta confiança, veículos e robôs autônomos, sistemas de gerenciamento de recursos em tempo real e sistemas de engenharia biológica. (Åström; Murray, 2021, p. 5, tradução nossa).

Åström e Murray (2021, p. 5, tradução nossa), destacam a relevância do controle em sistemas informatizados no contexto contemporâneo, no qual "[...] em sua essência, o controle é uma Ciência da Informação e inclui o uso da informação em representações analógicas e digitais".

No que diz respeito ao papel do *feedback* nesse processo, Rid (2016, p. 47, tradução nossa) destaca a “[...] capacidade de qualquer mecanismo de usar sensores para receber informações sobre o desempenho real, em oposição ao desempenho esperado”, sendo possível realizar as correções necessárias para os desvios apresentados. Como por exemplo:

> O *feedback* dirá ao mecanismo de abertura da porta se o elevador realmente chegou atrás das portas de correr e só então abrirá as portas para os passageiros que aguardam; não usar *feedback* aumentaria o risco de erro, possivelmente permitindo que pessoas desavisadas entrassem em um poço de elevador vazio. (Rid, 2016, p. 47, tradução nossa).

Em sistemas complexos e críticos, o *feedback* contribui para a relevância e melhoria da qualidade e da pertinência dos dados coletados para um determinado contexto de uso, ao favorecer ajustes nos processos com base nos elementos que compõem a estrutura do ciclo de vida dos dados, especialmente no âmbito dos fluxos de dados e de controle, promovendo o equilíbrio, estabilidade e autorregulação.

Segundo Åström e Murray (2021, p. 6, tradução nossa), as propriedades resultantes do processo de *feedback* possibilitam “[...] projetar sistemas precisos a partir de componentes imprecisos e fazer com que quantidades relevantes em um sistema mudem de maneira prescrita”.

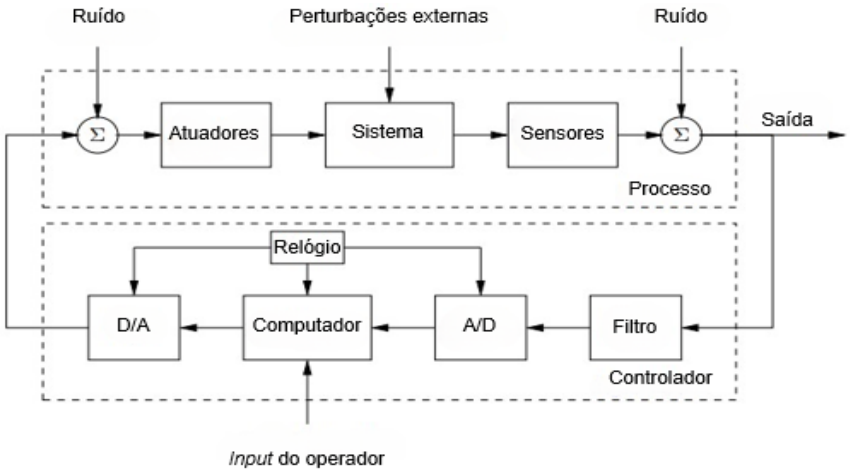
Dessa maneira, no escopo abordado nesta pesquisa, pode-se inferir que um sistema complexo e crítico é influenciado constantemente por estímulos externos ou forças que atuam na correção de falhas, seja pelo automatismo ou pela ação de um agente externo (Åström; Murray, 2021). Nesse caso, o *feedback* atua como uma resposta às variáveis existentes entre dois ou mais sistemas, permitindo uma melhor sincronia e interconexão entre eles (Wiener, 1948; Åström; Murray, 2021).

Em sistemas informatizados, o *feedback* pode ser representado por um sistema de *loop* conhecido como *feedback* negativo que influencia a dinâmica de outro sistema, cujos dados de saída podem ser retornados ao ponto inicial de coleta e utilizados para alimentar novos dados de entrada, possibilitando correções de distúrbios ou falhas e ajustes no processo, reduzindo a diferença entre o valor desejado e o valor real, melhorando a estabilidade, o controle e o desempenho do sistema (Wiener, 2017, 1948; Åström; Murray, 2021), como apresentado na Figura 3.

Outro tipo de *feedback* é o positivo (Wiener, 1948, 2017; Franklin; Powell; Emani-Naeini, 2009; Åström; Murray, 2021), que ocorre quando a saída de um sistema

é utilizada para aumentar a diferença entre o valor desejado e o valor real como, por exemplo, a captura de som dos alto-falantes resultando em um *loop* de realimentação que causa microfonia. Ressalta-se que, esta pesquisa não pretende explorar os tipos de *feedback* existentes, por não fazer parte do escopo delimitado.

Figura 3 - Componentes de um sistema controlado por computador



Fonte: Traduzido de Åström e Murray (2021, p. 5).

No diagrama apresentado na Figura 3, a parte superior representa a dinâmica do processo que está sendo monitorado e controlado, na qual se incluem dispositivos como sensores e atuadores do sistema. A influência de ruídos de comunicação e eventos de perturbações externas, inerentes ao meio ambiente no qual o sistema está atuando, podem influenciar a dinâmica do processo, requerendo a intervenção de um agente externo para realizar as correções e ajustes necessários para manter o controle do sistema.

A parte inferior representa o encapsulamento de controle do sistema, consistindo do filtro dos conversores de sinais analógico-digital (A/D) e digital-analógico (D/A) e, o computador que implementa as ações de controles corretivos no sistema. Além disso, um relógio regula a operação e programação de tempo do agente, sincronizando os processos de A/D, D/A e dos processos computacionais que recebem comandos de entrada externa, do operador que realiza o monitoramento de todo o processo (Åström; Murray, 2021).

Segundo Ashby (1957), as contribuições de Wiener (1948) podem ser compreendidos como a arte da direção, uma vez que possibilitam estabelecer a coordenação, regulação e controle de sistemas, lidando com todas as formas de comportamento de fluxo de dados na medida em que sejam processos regulares,

determinados e reprodutíveis. Além disso, ampliam o conhecimento da estrutura na qual todas as máquinas podem ser ordenadas e integradas entre as diversas etapas de um sistema (Ashby, 1957).

> Máquinas são sobre comunicação. Um piloto precisa se comunicar com a aeronave para pilotá-la. Mas a aeronave também precisa se comunicar com o piloto para voar. Os dois formam uma entidade: o piloto não pode voar sem o avião e o avião não pode voar sem o piloto. Mas estas entidades homem-máquina já não estão isoladas. Elas não estão limitadas a um homem e uma máquina, com uma interface mecânica de manoplas, aceleradores e medidores. Mas provavelmente, as máquinas contêm um computador, ou vários, e estão conectadas a outras máquinas em uma rede (Rid, 2016, p. 10, tradução nossa).

Nesse cenário, ao considerar o fluxo de dados e o fluxo de controle nas interfaces maquínicas de sistemas complexos, Ashby (1957) destaca que o modelo desenvolvido para lidar com grandes fluxos de dados,

> [...] caracteriza-se essencialmente por lidar sempre com um conjunto de possibilidades; tanto os seus dados primários como as suas afirmações finais são quase sempre sobre o conjunto como todo, e não sobre algum elemento individual do conjunto (Ashby, 1957, p. 3, tradução nossa).

Entende-se que, em sistemas com alto nível de complexidade o desenvolvimento de métodos e modelos eficazes na coleta, organização e armazenamento de grandes conjuntos de dados, devem permitir maior integração entre as diversas fontes, interligando-as de forma sincronizada para o bom desempenho do sistema.

Segundo Pfohl (2001, p.109), para que os sistemas operem com maior controle e eficiência é necessário “[...] monitorar, regular e modificar os circuitos dinâmicos de *feedback* que governam a continuidade” de um processo, cujo fluxo de dados são modelados pela interação entre as diversas interfaces existentes através da retroalimentação de dados, alterando o estado dos sistemas.

Assim, no contexto dos fluxos de dados e de controle, torna-se fundamental considerar os aspectos relacionados à eficiência dos processos, uma vez que a transmissão de dados pode ocorrer por meio de sinais elétricos, químicos ou outras formas de energia que viabilizem sua transferência, tanto no interior de um sistema quanto entre diferentes sistemas inseridos em uma mesma estrutura.

Na práxis, o *feedback* em sistemas complexos e críticos desempenha um papel essencial no controle e na manutenção da estabilidade dos sistemas técnicos,

na adaptação a novos desafios e na otimização do desempenho dos processos maquínicos. Isso porque, em tais contextos, não necessariamente o valor reside na adoção de tecnologias mais recentes, mas naquelas que melhor se adequam à resolução de problemas específicos. Dessa forma,

> Máquinas têm a ver com controle. As máquinas dão mais controle aos humanos: controle sobre o seu ambiente, controle sobre as suas próprias vidas, controle sobre os outros. Mas obter controle através de máquinas significa também delegá-lo a máquinas. Usar a ferramenta significa confiar nela. E os computadores, cada vez mais poderosos, cada vez mais pequenos e cada vez mais ligados em rede, deram cada vez mais autonomia aos nossos instrumentos. Confiamos no dispositivo, no avião e no telefone, confiando-lhe a nossa segurança e a nossa privacidade. A recompensa: um aparelho servirá como extensão dos nossos músculos, dos nossos olhos, dos nossos ouvidos, das nossas vozes e do nosso cérebro (Rid, 2016, p. 10, tradução nossa).

Nessa perspectiva, ao delimitar o escopo dessa pesquisa na análise de fluxo de dados e de fluxo de controle em sistemas complexos e críticos, como o de EGT de motores aeronáuticos, esta pesquisa buscou destacar, dentre outros aspectos, a importância dos dados críticos, considerados fundamentais para o desenvolvimento de um controle mais seguro e eficiente de sistemas como os da aviação.

Segundo Avizienis *et al*. (2004), dados críticos são aqueles cuja integridade, disponibilidade e confiabilidade são essenciais para a segurança operacional, o cumprimento da missão do sistema, a continuidade de processos vitais e a tomada de decisões em tempo real. Além disso, os dados coletados não apenas fornecem informações vitais sobre o estado operacional do sistema, mas também são fundamentais para a detecção precoce de falhas e para o planejamento de manutenção preditiva.

No entanto, embora o sistema de EGT esteja intrinsecamente ligado ao domínio dos sistemas críticos de segurança (Perrow, 1999), cujas falhas podem resultar em consequências graves (Leveson, 2011, Beck, 2010), a pesquisa não pretende se aprofundar nas especificidades desse *framework* e, nem dos conceitos teóricos em torno de sistemas críticos.

Por si só, a natureza crítica desses sistemas reside na necessidade de uma operação segura, exigindo níveis elevados de confiabilidade em todas as fases de seu ciclo de vida, uma vez que falhas ou mau funcionamento podem acarretar em

consequências significativas e, muitas vezes, catastróficas, com impacto direto na segurança humana, no meio ambiente, na infraestrutura essencial ou na estabilidade econômica (Leveson, 2011; Perrow, 1999).

Para Sterman (2002) e Thurner, Hanel e Klimek (2018), a natureza cíclica e interdependente das relações em sistemas complexos e críticos configura um ambiente em que as relações de causa e efeito não se apresentam de forma linear. Com isso, torna-se essencial adotar uma abordagem que contemple as múltiplas interações e os mecanismos de feedback entre as diversas interfaces do sistema, uma vez que a segurança e a eficiência operacional dependem diretamente da compreensão e da gestão adequada dos dados gerados.

Nessa perspectiva, acredita-se que a Ciência da Informação possa exercer um papel relevante ao desenvolver pesquisas com um olhar sobre os fluxos de dados e o fluxo de controle, uma vez que é uma área que se preocupa com a integridade e a confiabilidade dos dados e busca oferecer um arcabouço teórico robusto para a construção de interfaces eficazes entre os usuários de sistemas de informação e os dados de que necessitam para à tomada de decisões.

3 FLUXO DE DADOS: DA ORIGEM À ESTRUTURAÇÃO

Esta seção apresenta uma fundamentação teórica acerca dos formatos e estrutura dos dados, do fluxo de dados e a maneira como os dados fluem entre as diversas interfaces de um sistema operacional e do fluxo de controle e suas instruções e processamento sequenciais de trabalho.

Nesse contexto, considera-se o papel fundamental das TIC para a eficiência do fluxo de dados ao proporcionar maior capacidade nas fases de coleta, armazenamento, análise e disseminação de grandes conjuntos de dados.

Ruas e Bax (2020, p. 4), definem os fluxos informacionais como um processo transformador nos contextos de aplicação dos dados e informações, sendo possível “[...] sua utilização e compreensão nos mais diversos ambientes organizacionais, sociais e individuais”, uma vez que “[...] os fluxos e circulação da informação passam por um ciclo, que define as etapas e caminhos percorridos”, até sua disponibilização para os usuários.

Além disso, o fluxo informacional e a gestão eficiente dos dados em uma organização facilitam a tomada de decisões, favorecendo a inovação e possibilitando que as organizações respondam rapidamente às mudanças do ambiente externo e interno (McGee; Prusak, 1994; Valentim, 2010).

Nessa perspectiva, entende-se que o fluxo de informação pode compreender uma série de outros fatores que envolvem, inclusive, o fluxo de dados e o fluxo de controle em sistemas complexos e críticos, no qual se estabelece requisitos e definições específicas do processo pelo qual o dado é gerado, coletado, processado, armazenado, disponibilizado e utilizado.

3.1 FORMATO E ESTRUTURA DOS DADOS

O acesso a grandes volumes de dados em tempo real tem promovido transformações significativas em diversas áreas do conhecimento humano e, diante da crescente produção de recursos informacionais, torna-se imprescindível adotar um enfoque específico sobre as questões relacionadas ao acesso e ao uso dos dados.

Disponibilizados em diversos tipos, especialmente em ambientes digitais, os dados podem ser organizados em distintos formatos e estruturas, o que impacta

diretamente os processos de armazenamento e de processamento nas interfaces de sistemas informatizados.

Dessa forma, os dados podem ser classificados em três categorias principais: não estruturados, caracterizados por dados que ainda não foram processados, geralmente apresentadas em formato de código binário; semi-estruturados, que apresentam certo grau de organização, mas não seguem um esquema rígido, como é o caso de arquivos nos formatos XML e JSON; e estruturados, que são organizados em tabelas compostas por colunas e linhas, como ocorre nos bancos de dados relacionais.

Assim, devido à quantidade de dados produzidos há a convergência para um novo contexto em que cada vez mais as instituições e organizações buscam atender suas demandas informacionais com grandes volumes de dados, sendo exigido para tanto uma infraestrutura eficiente e robusta para coleta, armazenamento e análise.

No entanto, nem sempre os dados recuperados trazem em seu escopo valor agregado que seja significativo para atender demandas específicas, pois necessitam de uma análise mais detalhada para geração de valor, requerendo o uso de tecnologias altamente eficazes, muitas utilizadas no contexto do *big data* (Laney, 2001).

Nesse contexto, o termo *big data* (Brown; Chui; Manyika, 2011; Davenport, 2014) refere-se a conjuntos massivos de dados que demandam tecnologias com elevado poder de processamento, possibilitando a geração de benefícios significativos a partir do uso efetivo dos dados resultantes e obtidos por meio de análises complexas, contribuindo, assim, para a tomada de decisões por parte do usuário final.

Inicialmente, as tecnologias desenvolvidas nesse contexto tinham como objetivo principal proporcionar maior agilidade nas fases de coleta, processamento e gerenciamento de dados, enfatizavam os fundamentos característicos dos recursos informacionais disponíveis, como:

- Volume – os dados coletados das mais diversas fontes são armazenados em plataformas com grande capacidade de armazenamento;
- Velocidade – grande capacidade de compartilhamento de dados em tempo real com diversos atores simultaneamente; e,

- Variedade – os dados podem ser recuperados em todos os tipos de formatos, como, por exemplo: áudio, vídeos, fotos e imagens. As tecnologias usadas no *big data* traduzem-se em um novo conceito de recuperação, análise, uso e emprego da informação na contemporaneidade (Laney, 2001).

Com o aumento da produção de conteúdos e a intensificação da velocidade no fluxo de dados, como os provenientes de sensores, por exemplo, os sistemas tradicionais de gerenciamento e controle mostraram-se insuficientes para lidar com volumes expressivos de dados, exigindo a adoção de tecnologias e processos mais eficientes, especialmente no que diz respeito à disponibilização de dados em tempo real.

Com isso, novas dimensões estruturais de confiabilidade e segurança foram incorporadas fenômeno do *big data*, como:

- Veracidade – representa a falta de confiabilidade inerente a algumas fontes de dados, na qual o *big data* recorre a ferramentas para gerenciamento e mineração de dados incertos;
- Variabilidade e Complexidade – a variabilidade faz referência à variação nas taxas de fluxo de dados e, a complexidade, refere-se ao fato de que grandes dados são gerados de uma infinidade de fontes, o que impõe o desafio de conectar, combinar, limpar e transformar esses dados; e,
- Valor – os dados recuperados têm valor agregado muito baixo se comparado ao seu volume, sendo possível obter alto valor somente após análise e uso (Zikopoulos *et al*., 2012; Gandomi; Haider, 2015).

Para Kaisler *et al*. (2013), a geração de valor está associada a uma compreensão mais aprofundada das necessidades organizacionais, podendo resultar em ações mais eficazes e na adoção de tecnologias específicas, uma vez que não apenas orientam a tomada de decisões, mas também contribuem de forma articulada para as estratégias adotadas, bem como para o planejamento prévio quanto à aplicação e ao uso dos dados.

Nesse contexto, torna-se cada vez mais relevante a participação dos dados na construção de perspectivas decisórias, favorecendo a criação de novos requisitos para a construção de pontes entre os usuários e os sistemas de informação (Sant'Ana,

2021a) para o uso efetivo daqueles que dele necessitam para atender suas demandas (Rodrigues; Sant'Ana, 2013).

Contudo, no que se refere ao uso estratégico dos dados para a tomada de decisões, Conceição e Paz (2019) ressaltam que, acima de tudo, é fundamental identificar a ideia central que motivou sua geração, compreender de que forma esses dados serão analisados e movimentados, bem como definir a finalidade a que se destinam, de modo a garantir que efetivamente gerem valor.

Como resultado de todo esse processo, tem-se:

> [...] o gerenciamento das informações recebidas pela organização afim de que elas tragam retorno à mesma [...] vem atuar trazendo um direcionamento para o conhecimento produzido na organização com a ajuda dos fluxos de informação e as tecnologias que a acompanham [...] nos quais as pessoas possam utilizar e administrar este ativo intangível que deve ser sociabilizado, possibilitando a disseminação do conhecimento para toda a organização. (Porém; Santos; Belluzo, 2012, p. 189).

Nesse cenário, o campo da CI exerce um papel relevante no desenvolvimento de técnicas que viabilizem o acesso e o uso eficiente dos dados, identificando e estudando fatores e características que favoreçam a ampliação do equilíbrio entre os agentes envolvidos no processo, bem como a otimização do uso dos dados, independentemente do suporte tecnológico em que estejam armazenados (Sant'Ana, 2021a; Capurro, 2003; Le Coadic, 2004).

Dito isso, torna-se imperativo compreender os modelos de fluxo estudados, bem como as etapas que integram os processos de transformação dos dados, incluindo a análise dos mecanismos de controle exercidos sobre o fluxo de dados nas distintas camadas de interface dos sistemas complexos e críticos, considerando a estrutura do CVD.

Ressalta-se que, com o aumento crescente da complexidade dos sistemas,

> O crescimento da complexidade na sociedade tem superado nossa compreensão de como sistemas complexos funcionam e falham [...] somos capazes de construir coisas, de plataformas de petróleo em águas profundas a parafusos e obrigações de dívida colaterizadas, cujas propriedades podemos modelar e entender isoladamente. Mas, quando liberados em sociedades competitivas e nominalmente reguladas, suas conexões proliferam, suas interações e interdependências se multiplicam, suas complexidades se multiplicam. E somos pegos de surpresa. (Dekker, 2011, p. 6, tradução nossa).

Com isso, surge o desafio de otimizar e integrar, de forma cada vez mais eficaz, os processos relacionados aos dados, por meio de tecnologias com elevada capacidade analítica, cuja otimização envolve o uso de modelos e estruturas de dados que favoreçam o sequenciamento adequado durante seu percurso, possibilitando sua transformação e posterior disponibilização nos sistemas de informação.

Contudo, cabe ressaltar que:

> As diversas interfaces envolvidas nesse processo transformativo, ao mesmo tempo em que viabilizam os seus usos e interpretação, necessariamente erguem barreiras à percepção dos usuários sobre as transduções exigidas para que os conteúdos possam ser tratados pelos dispositivos digitais, que, por sua essência, dependem totalmente dos algoritmos disponibilizados pelos detentores. (Sant'Ana 2019a, p. 125).

Nessa perspectiva, observa-se que a qualidade e a confiabilidade dos dados estão condicionadas às diversas transduções informacionais ocorridas durante a coleta e aos aspectos relacionados à integração entre os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle nos sistemas, cuja modelagem pode ser previamente estabelecida de acordo com o contexto de uso desejado.

3.2 FLUXO DE DADOS

Com a criação dos mais diversos tipos de recursos informacionais, novos desafios são apresentados ao lidar com dados provenientes de variadas fontes e formatos, sejam estruturados ou não estruturados, cujos suportes tecnológicos devem possibilitar maior eficiente na coleta, armazenamento e análise de grandes conjuntos de dados, permitindo, inclusive, seu acesso em tempo real (Santos; Sant'Ana, 2015; Davenport, 2014; Johnston; Hanna; Millar, 2004).

Durante décadas o conceito em torno da programação baseada em fluxo tem sido fundamental para a evolução de modelos de fluxos de dados e das linguagens de programação que buscam integrar cada vez mais os sistemas operacionais, oferecendo vantagens significativas em termos de usabilidade e rapidez de desenvolvimento, essenciais para lidar com a complexidade crescente de sistemas modernos.

Ao longo dos anos, a programação baseada em fluxo contribuiu substancialmente para a popularização do conceito e técnicas do fluxo de dados e os

processos transformativos dos dados, proporcionando o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais eficientes a partir da reutilização de sistemas computacionais modulares, cujos componentes e/ou *software* podem ser substituídos, ou atualizados sem prejuízo para o restante do sistema (Stevens, 1982; Morrison, 2010, 2016).

Nesse contexto, o conceito de *Dataflow* ou fluxo de dados refere-se à maneira como os dados fluem entre as diversas aplicações de um sistema operacional (Johnston; Hanna; Millar, 2004; Morrison, 2010), passando por diversas transformações em sua estrutura e formato ao longo de seu percurso.

Devido à variedade de conceitos em torno desta temática, apresenta-se no Quadro 7 alguns conceitos atribuídos ao paradigma de fluxo de dados, amplamente difundido por Morrison (1994; 2010), destacando autores com estudos desenvolvidos que apresentam maior relevância no tema, sendo considerados os seis mais citados no período de 1970 a 2024, da busca realizada no *Google Scholar*.

Ressalta-se que, por delimitação de escopo da pesquisa a abordagem sobre fluxo de dados se dá apenas no âmbito conceitual, não sendo exploradas as estruturas de modelos de fluxo de dados.

Quadro 7 - Conceitos de fluxo de dados

Conceito de Fluxo de Dados	**Autor**
Estrutura orientada por dados, cujos grafos de fluxos de dados correspondem às instruções ou nós de modelagem em um programa, definindo o caminho dos dados entre as instruções. A principal característica é que a execução das instruções representa uma operação e a ativação de cada operação depende da disponibilidade de dados.	Veen (1986)
Modelo computacional baseado em grafos que representam o fluxo de dados, cujas operações são realizadas de forma assíncrona com a disponibilidade de dados. Sua estrutura representa programas computacionais paralelos por meio de um grafo direcionado, no qual as instruções representam as operações e a ordenação com que os dados fluem entre as instruções no sistema.	Arvind e Culler (1986)
Modelo onde os dados são tratados como sequências contínuas, sendo manipulados como listas ordenadas por componentes individuais (atores) e transmitido por canais, cuja organização se dá em forma de grafo direcionado que define a sequência das operações.	Lee e Parks (1995)
“Um algoritmo de fluxo de dados e seu ambiente são descritos como um grafo direcionado. Os vértices representam linguagens que transformam fluxos de dados de entrada em fluxos de saída. Um ator pode ser atômico ou um subgrafo especificado hierarquicamente”	Bilsen *et al*. (1996, p. 397)
Modelo no qual os dados são processados com fluxos contínuos e sequenciais, fluindo através de um grafo direcionado que representa unidades de processamento com regras específicas e definem a execução e o controle do fluxo de dados.	Johnston, Hanna e Millar (2004)

Modelo onde os dados são manipulados como sequências, ou fluxos, que fluem em um grafo direcionado, cujos vértices representam as operações e as conexões do grafo indicam o fluxo de dados no sistema. Os dados processados pelo modelo de fluxo de dados podem ser alterados, filtrados ou agregados a outras etapas de processamento definidas pelas conexões do grafo.	Murray *et a*l. (2013)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para Veen (1986), Morrison (2010), Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021) e Sant'Ana (2021a), os processos relacionados ao fluxo de dados podem ser compreendidos como uma técnica de modelagem que descreve o caminho percorrido pelos dados em um sistema, sendo processados e transformados por processos maquínicos complexos nas diversas camadas de abstração.

Dessa forma, a modelagem do fluxo de dados permite que programas sejam desenvolvidos como combinações de funções independentes, sendo conectadas somente por fluxos correspondentes e descritas a partir de um diagrama (Stevens; 1982).

> O mais importante nesse processo é a facilidade com que funções e/ou combinações de funções desenvolvidas anteriormente podem ser usadas e reutilizadas. As melhorias de produtividade da reutilização de funções podem ser tão significativas que esse benefício sozinho pode justificar basear o desenvolvimento do aplicativo na abordagem de fluxo de dados. As funções podem gerar dados sem nomear as funções de destino. O destino de cada fluxo de dados é especificado externamente à função na definição de rede. (Stevens, 1982, p. 163, tradução nossa).

Destaca-se que, a programação baseada em fluxo de dados é considerada

> [...] um paradigma de programação cujo modelo de execução pode ser representado por um gráfico direcionado, representando o fluxo de dados entre nós, de forma semelhante a um diagrama de fluxo de dados, [...] cada nó é um bloco executável que possui entradas de dados, realiza transformações sobre ele e depois os encaminha para o próximo bloco. (Sousa, 2012, não paginado, tradução nossa).

Com isso, uma das principais vantagens do uso da programação baseada em fluxo de dados é que diversas instruções de entrada (*input*) podem ser realizadas simultaneamente, na qual uma série de transformações ocorrem nos dados durante o seu percurso para produzir dados de saída (*output*) desejados, atendendo o contexto de uso predeterminado no desenvolvimento do sistema (Morrison, 2010; Johnston; Hanna; Millar, 2004).

Segundo Johnston, Hanna e Millar (2004, p. 17, tradução nossa), com o constante desenvolvimento das arquiteturas do fluxo de dados a "[...] linguagem de

“máquina” de programas projetados para serem executados em arquiteturas de hardware de fluxo de dados é o grafo de fluxo de dados”. Com isso, a maioria das linguagens de fluxo de dados textuais foram traduzidas para esses grafos para serem programadas e interpretadas por dispositivos maquínicos, possibilitando uma melhor comunicação entre os sistemas e os atores envolvidos no desenvolvimento dos programas.

Ao considerar a arquitetura dos dados Arvind e Culler (1986) destacam dois modelos principais de exceção de fluxo de dados: o fluxo de dados estáticos[1] e o fluxo de dados dinâmicos[2], cujo objetivo é minimizar os desafios de implementação de modelos idealizados para ambientes específicos, visualmente representados como setas em um grafo de fluxo de dados.

O fluxo de dados estático permite no máximo um *token*[3] por arco em grafos de fluxo de dados e, portanto, “[...] apenas aproxima o modelo abstrato onde o armazenamento ilimitado de *tokens* por arco é assumido”. Já arquiteturas dinâmicas marcam cada *token*, e os mantêm em um “[...] ambiente comum de armazenamento, permitindo assim uma melhor aproximação do modelo abstrato” (Arvind; Culler, 1986, p. 1, tradução nossa).

> Podemos visualizar o gráfico de fluxo de dados como uma linguagem de máquina para uma máquina paralela, onde um nó em um gráfico de fluxo de dados representa uma instrução de máquina. O formato de instrução para uma máquina de fluxo de dados é essencialmente uma representação de lista de adjacência do gráfico de programa: cada instrução contém um código operacional e uma lista de endereços de instrução de destino. (Arvind; Culler, 1986, p. 5, tradução nossa).

Um modelo de fluxo de dados puro possui duas abordagens de

---

[1] *The one-token-per-arc restriction can be incorporated in the model by extending the firing rule to require that all output arcs of a node be empty before that node is enabled. With this restriction, storage for tokens can be allocated prior to execution, since the number of arcs is fixed for a given graph. The basic instruction format is expanded to include a slot for each operand. Distributing tokens to destination instructions involves little more than storing data values in the appropriate slots. The slots have presence flags to indicate whether or not a value has been stored. Thus, when a token is stored, it is straightforward to determine if the other inputs are all present* (Arvind; Culler, 1986, p. 6).

[2] *Each token in a static dataflow machine must carry the address of the instruction for which it is destined. This is already a tag. Suppose, in addition to specifying the destination node, the tag also specifies a particular firing of the node. Then, two tokens participate in the same firing of a node if and only if their tags are the same. Another way of looking at tags is simply as a means of maintaining the logical First-in-First-out (FIFO) order of each arc, regardless of the physical arrival order of tokens* (Arvind; Culler, 1986, p. 9).

[3] Um *token* é considerado um elemento fundamental que carregam valores de dados ao longo dos arcos que conectam as várias instruções (ou nós) em um grafo de fluxo de dados, determinando a execução de instruções e o fluxo geral dos dados (Arvind; Culler, 1986).

implementação teórica principais, que diferem em como os nós são acionados para execução, sendo um que é acionado por dados e o que é acionado por demanda, cujas abordagens operam no conceito fundamental de que a execução do programa é guiada pela orientação ou disponibilidade de dados (Johnston; Hanna; Millar, 2004).

Na abordagem orientada por dados ou por disponibilidade, um nó torna-se ativo e pronto para execução quando os dados estão disponíveis em todas as suas entradas, tendo um mecanismo de gerenciamento centralizado como responsável pelo monitoramento do estado das entradas que executa a operação especificada e disponibiliza os resultados nas suas saídas. Esta abordagem é caracterizada por um processo de duas fases: ativação do nó após a disponibilidade dos dados de entrada e consumo de dados de entrada e, produção de saída (Johnston; Hanna; Millar, 2004).

Segundo Johnston, Hanna e Millar (2004), em contraste com a abordagem orientada por dados, na abordagem orientada por demanda um nó só é ativado quando há uma solicitação explícita para os dados que ele produz. Ou seja, quando há uma solicitação em sua saída, o nó demanda os dados necessários de suas entradas e executa as operações necessárias, transmitindo os resultados para o nó solicitante.

O processo orientado por demanda envolve quatro fases: o ambiente solicita os dados; o nó é ativado e solicita dados de suas entradas; as entradas fornecem os dados solicitados e, o nó calcula e fornece os dados solicitados (Johnston; Hanna; Millar, 2004).

Quanto a modelagem de sistemas baseados em fluxo de dados, também pode ser realizada com o uso de Diagramas de Fluxo de Dados (DFD) para representação de “[...] como uma coleção de processos se interconectam para realizar uma atividade complexa” (Appel, 2003, p. 23), possibilitando a recuperação de dados de forma mais intuitiva devido ao encapsulamento da complexidade nas camadas de abstração.

Ao considerar a modelagem de sistemas com DFD e sua aplicação, Yourdon (2006, p. 151, tradução nossa) destaca que tais “[...] fluxos representarão de fato dados, isto é, *bits*, caracteres, mensagens, números de ponto flutuante e vários outros tipos de informações com os quais os programas podem lidar”. Contudo, o autor enfatiza que, além dessa aplicação,

> [...] os DFDs também podem ser usados para modelar outros sistemas além dos sistemas automatizados e informatizados; podemos optar,

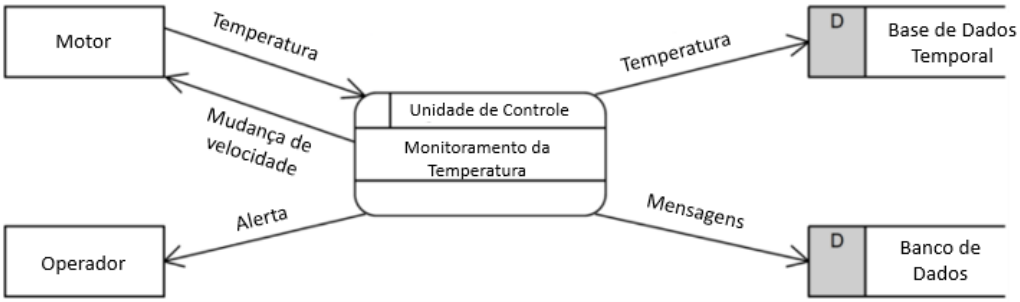
> por exemplo, por usar um DFD para modelar uma linha de montagem na qual não há componentes computadorizados. Nesse caso, os pacotes ou pedaços transportados pelos fluxos serão tipicamente materiais físicos. Para muitos sistemas complexos do mundo real, o DFD mostrará o fluxo de materiais e dados. (Yourdon, 2006, p. 151, tradução nossa).

Li e Chen (2009) destacam que, o DFD é uma ferramenta visual de análise e *design* utilizada para representar modelos lógicos em um sistema, detalhando as transformações ocorridas nos dados na programação de fluxo dos dados, não sendo considerado um método de modelagem de processos ou procedimentos.

Com isso, o uso dos DFDs nesses processos facilita a visualização dos dados resultantes do processo de fluxos de dados, sendo uma ferramenta acessível tanto para desenvolvedores de sistemas quanto para os usuários em suas buscas informacionais (Date, 2004; Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021).

Na Figura 4, apresenta-se um exemplo de diagrama de fluxo de dados usado no monitoramento de temperatura de um motor, demonstrando-se o caminho percorrido pelos dados, desde a coleta à recuperação.

Figura 4 – Diagrama de fluxo de dados no controle de temperatura de motor



Fonte: Traduzido de Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021, p. 7).

Segundo Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021), após coletados os dados do motor são enviados para uma unidade de controle de temperatura, que irá realizar o monitoramento das indicações mínimas e máximas de temperatura permitidas para o sistema (Figura 4). Os dados processados na unidade de controle podem ser enviados para o motor, para a autorregulação dos níveis de temperatura registradas, bem como podem ser enviadas como um sinal de alerta, para o monitoramento em tempo real dos parâmetros gerados, tanto pelo operador quanto pelo fabricante do componente (Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021).

Além disso, os dados podem ser armazenados em *Data Stores*, item D da Figura 4, representando um repositório de dados manipulados no processo, podendo

ser um banco de dados temporal do próprio sistema ou um banco de dados externo, para acesso e uso futuro do conteúdo armazenado.

De acordo com Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021), o armazenamento de dados em repositórios específicos é usado para representar uma situação em que o sistema deve armazenar os dados para atender demandas em tempo real ou acesso posterior, para análise e tomada de decisões direcionadas.

Já o fluxo dos dados, na Figura 4, é representado pelas setas e demonstra a interação das diversas interfaces do processo com os componentes e atores do sistema.

Nessa perspectiva, a qualidade e a acurácia dos dados disponibilizados nas interfaces de controle e monitoramento de sistemas complexos e críticos são diretamente influenciadas pelas diversas transduções informacionais que ocorrem na estrutura, no tipo e no formato dos dados ao longo de seu percurso até a disponibilização para os usuários finais. Assim, considera-se que as transduções sejam determinadas por uma sequência de ações predefinidas, que estabelecem a ordem de processamento dos dados com base em modelos de fluxo de controle, conforme discutido a seguir.

3.3 FLUXO DE CONTROLE

As estruturas de modelos de dados são desenvolvidas para possibilitar conversões automáticas de grandes conjuntos de dados, uma vez que as regras preestabelecidas nos programas e linguagens de programação lidam com dados em larga escala, promovendo um fluxo de controle adequado em todas as etapas de seu percurso (Kernighan; Ritchie, 1988).

Empregado, sobretudo, na Ciência da Computação, o termo *Control flow* ou fluxo de controle descreve a ordem ou a sequência na qual as instruções de trabalho em programas computacionais são executadas. Assim, os modelos de fluxo de controle definem o caminho da execução em um programa e determinam quais condições os dados devem obedecer em uma sequência predefinida para seu correto processamento (Gustafson, 1981; Beck; Johnson; Pingali, 1991; Liskov, 1975; Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021).

Além disso, o conceito de fluxo de controle tem sido amplamente utilizado para o desenvolvimento de modelos e programas computacionais cada vez mais eficientes, cuja estrutura é essencial na programação e no gerenciamento de dados, desempenhando um papel central no controle das operações em sistemas dinâmicos.

Nesse contexto, o fluxo de controle pode ser considerado como,

> [...] o caminho que a execução segue em um programa, e a programação sequencial que se concentra no fluxo de controle explícito usando estruturas de controle como loops ou instruções condicionais é chamada de programação imperativa. Em um modelo imperativo, os dados podem seguir o fluxo de controle, mas a questão principal é sobre a ordem de execução. (Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021, p. 2, tradução nossa).

Para Kiepuszewski, Ter Hofstede e Van Der Aalst (2003), a modelagem de fluxo de controle deve ser orientada por padrões específicos, cujas estratégias de desenvolvimento envolvem a manipulação e a sincronização de estruturas influenciadas por dados, ampliando a capacidade de interligação entre as diversas camadas de abstração, descrevendo a ordem e a execução das atividades nos sistemas.

Diante da diversidade de conceitos existentes em torno do termo e o seu uso nos diversos contextos de aplicação, inclusive para a criação de padrões de fluxo de trabalho, apresenta-se no Quadro 8 alguns conceitos de fluxo de controle, destacando autores com estudos desenvolvidos que apresentam maior relevância no tema, sendo considerados os seis (6) mais citados no período de 1970 a 2024, nas buscas realizadas no *Google Scholar*.

Ressalta-se que, a seleção dos conceitos apresentados deu-se devido à aderência ao escopo delimitado nesta pesquisa, não sendo explorada a estrutura de modelagem do fluxo de controle e nem de fluxo de trabalho, as quais são usadas apenas para representar o comportamento dos dados durante seu fluxo.

Quadro 8 – Conceitos de fluxo de controle

Conceito de Fluxo de Controle	**Autor**
Sequência de instruções em um programa, utilizando a analogia de grafos direcionados para representar a ordem sequencial das instruções, cuja modelagem do programa é realizada por grafos associados as conexões das etapas, orientando o caminho pelo qual os dados devem ser propagados e processados, no programa.	Allen (1970)

Fluxo de controle está diretamente relacionado ao modo como os programas estão organizados e a sequência em que as instruções são executadas no programa. A forma sequencial ou concorrente das instruções, podem incluir aspectos de análise da dependência de controle para otimizar quais instruções podem ser executadas em paralelo, dependendo do modelo do programa.	Lam e Wilson (1992)
Sequência ordenada em que as instruções de um programa são executadas, determinando a lógica e o caminho que os dados irão percorrer, cujos erros e anomalias do processo podem ser monitoradas e controladas para se determinar a próxima instrução a ser executada. A detecção de erros ocorre quando o fluxo de controle do sistema utilizado se desvia da sequência predefinida no planejamento do programa original.	Oh, Shirvani e McCluskey (2002)
Refere-se à ordem e estrutura com que as atividades em um processo são sequenciadas e executadas, incluindo concorrência no qual podem representar a criação de fluxos de execução, decisões e sincronizações das etapas.	Kiepuszewski, Ter Hofstede e Van der Aalst (2003)
Sequência de ações em um processo, incluindo o caminho e etapas percorridos pelos dados, as decisões tomadas em cada ponto do processo, as possíveis ramificações, repetição e sequenciamento de envio dos dados e as sincronizações existentes entre as diferentes tarefas predefinidas. O fluxo de controle representa a estrutura dinâmica em um processo, cuja modelagem e critérios definem como as atividades devem ser realizadas e interagem com as demais etapas do processo.	Russel *et al*. (2006)
Parte integrante do processo de desenvolvimento de software, influenciando o comportamento do programa, a segurança, o tratamento de erros, o gerenciamento de recursos e a lógica geral do programa, garantindo que a execução sequencial do programa siga um caminho pré-determinado dentro de um Grafo de Fluxo de Controle	Abadi *et al*. (2009)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Sutherland (1966), Veen (1986) e Chinosi e Trombetta (2012), a definição dos processos que permeiam o fluxo de controle são considerados conceitos fundamentais na programação de sistemas, cujas operações de transdução informacional dos dados de entrada permitem o gerenciamento lógico da execução e sequenciamento adequado das funções de um programa, resultando em informações específicas para um determinado contexto, possibilitado pela interação e a execução condicional das instruções (Wiener, 1948).

Nesse sentido, Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021) destacam que a estrutura dos modelos de fluxo de controle é desenvolvida para programar a movimentação dos dados durante seu percurso nos sistemas, sendo utilizada para o desenvolvimento de estruturas de processos de negócios, denominados de modelos de fluxo de trabalho (*workflow*) como o modelo *Business Process Model and Notation* (BPMN) (Chinosi; Trombetta, 2012) ou Modelo de Processo de Negócios e Notação e o *Business Process Modeling Ontology* (BPMO) (Cabral; Norton; Domingue, 2009) ou Ontologia de Modelagem de Processos de Negócios, que define os conceitos e

atributos de modelagem de processos de negócios, fornecendo construções de fluxo de controle como um componente integral de uma ontologia (Butt; Fitch, 2021).

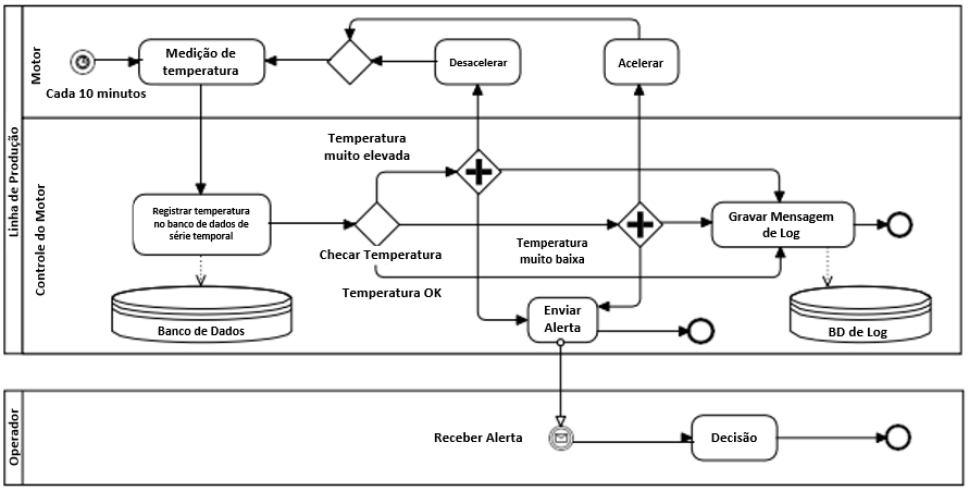
Desenvolvidos para uso em contextos específicos, os modelos de fluxo de controle, como o BPMN, podem ser adotados como padrões para modelagem do fluxo de trabalho em processos de sistemas de gerenciamento de negócios, sendo considerado para tanto, três perspectivas distintas como: a perspectiva do controle, descrevendo a ordem lógica das tarefas; a perspectiva dos dados, descrevendo a troca de informações entre tarefas; e a perspectiva dos recursos, descrevendo a origem das tarefas (Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021).

Nesse contexto, Kiepuszewski, Ter Hofstede e Van Der Aalst (2003) destacam que o fluxo de controle é considerado um elemento fundamental no desenvolvimento de modelos de fluxo de trabalho eficientes, uma vez que sua estrutura é determinante para orientar as instruções sequenciais dos dados, definindo a semântica formal dos elementos do processo e como os dados fluem.

Para Russell *et al.* (2006), em processos institucionais e organizacionais o fluxo de controle refere-se à ordem nas quais as atividades são executadas, cuja eficiência depende, proporcionalmente, do quão bem projetado e implementado o fluxo de controle foi.

Na Figura 5 é apresentado um diagrama de fluxo de trabalho baseado no modelo BPMN para controle de temperatura de motores em linha de produção, na qual a estrutura projetada determina o sequenciamento dos dados, explicitando o automatismo do sistema que retroalimenta a entrada (fase de coleta) com os dados de saída, promovendo o controle do processo e o monitoramento de forma síncrona e assíncrona, a partir de ações corretivas realizadas pelo próprio sistema ou pela intervenção de um agente externo.

Figura 5 – Diagrama BPMN para controle de temperatura de motor



Fonte: Traduzido de Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021, p. 5).

No diagrama, Figura 5, um sensor de temperatura monitora, constantemente, as variações de temperatura do motor, enviando os dados coletados para uma unidade de controle que analisa a temperatura e realiza as ações necessárias, de acordo com as indicações encontradas. Caso a temperatura esteja muito elevada ou muito abaixo dos níveis requeridos, um sinal é enviado para o sistema de controle do motor para realizar a diminuição ou elevação da temperatura, respectivamente.

Já os dados coletados são registrados em um banco de dados de séries temporais, para análises posteriores. Além disso, paralelamente à verificação de temperatura as mensagens geradas com as indicações de temperatura são gravadas no banco de dados de *log* e, caso a temperatura esteja fora dos limites máximo e mínimo aceitáveis, o operador do sistema é alertado para realizar as ações corretivas necessárias (Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021), garantindo a segurança operacional do sistema.

Para Abadi *et al*. (2009), a segurança dos sistemas é um fator importante a ser considerado ao adotar um modelo de fluxo de controle, cujas técnicas de integridade podem ser usadas para aumentar a eficiência dos processos contra falhas do *software* ou alterações no processamento predefinido.

No que diz respeito à modelagem, o fluxo de controle assume a função de codificação das relações de fluxo dentro do programa para facilitar a otimização das instruções, representando o programa como um grafo direcionado, chamado de grafo de fluxo de controle, cujos nós representam blocos básicos de códigos e as arestas

representam possíveis caminhos de execução entre os blocos, determinando a ordem no qual as operações podem ser realizadas e identificando possíveis otimizações, como a eliminação de um código redundante (Allen, 1970).

Contudo, Lam e Wilson (1992) observam que o fluxo de controle pode limitar severamente o paralelismo disponível em determinados programas, uma vez que a dependência de um grande volume de dados é elevada, sendo necessária a definição prévia do contexto de aplicação para o uso de arquiteturas que suportem a execução de múltiplos fluxos de controle, melhorando o desempenho de sistemas com alto grau de paralelismo.

Com isso, a escolha do modelo de fluxo de controle constitui-se um desafio, uma vez que o seu papel na criação de um fluxo de trabalho eficiente reside na capacidade de ordenar o fluxo de dados, definindo quando e sob quais condições as ordens são executadas (Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021) e, direcionando o fluxo com base no *feedback* das atividades anteriores ou de eventos externos, possibilitando a retroalimentação dos dados ao ponto inicial de coleta, aumentando a segurança e confiabilidade Russell *et al*., 2006).

Considerando a integração dos modelos de fluxo estudados, Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021) destacam que os fluxos de controle e de dados operam de forma integrada e complementar. Enquanto a programação do fluxo de controle é responsável por acionar funções e iniciar sua execução no sistema, estabelecendo os caminhos de execução e as restrições de precedência entre diferentes operações, o fluxo de dados, por sua vez, tem a função de transportar os parâmetros necessários para essas operações.

De modo geral, o fluxo de dados tem sua origem na coleta de dados provenientes de diversas fontes, como sensores, e descreve o percurso desses dados entre as diferentes interfaces de um sistema. Por outro lado, o fluxo de controle define a ordem das operações no sistema, determinando a sequência de ações e os caminhos de execução por meio de mecanismos de *feedback* de controle.

Quanto ao desenvolvimento da arquitetura de sistemas operacionais, destaca-se que,

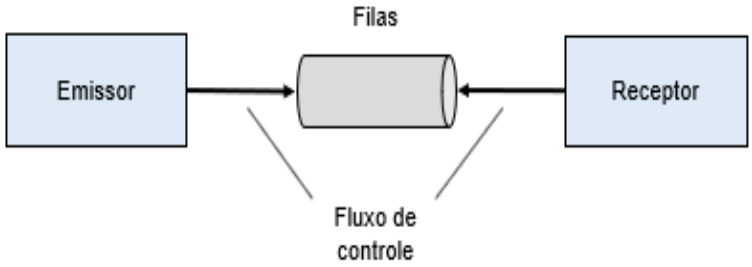
> Na maioria das linguagens de programação imperativas, o fluxo de controle refere-se a instruções de ramificação e loop. Esse fluxo de controle também existe em sistemas, onde várias entidades executam fluxos de controle local. Por exemplo, um destinatário pode estar em um loop aguardando dados, enquanto um remetente pode enviar uma

> mensagem sempre que um usuário clica em um botão. Esses fluxos de controle assumem linearidade, o que significa que uma coisa acontece depois outra: uma instrução determina qual ramificação será executada. (Hohpe, 2024, não paginado, tradução nossa).

Para Hohpe (2024, não paginado, tradução nossa), uma maneira de descrever as diferenças entre o fluxo de dados e o fluxo de controle, é que no primeiro os “[...] dados descrevem o que está sendo trocado e transformado ao longo do caminho”, enquanto o segundo “[...] descreve como os dados chegam”, no destino.

Em sistemas operacionais, a representação visual do diagrama de fluxo de controle pode ser representada por setas, similar ao fluxo de dados. Contudo, Hohpe (2024, não paginado, tradução nossa) observa que, a indicação do fluxo de controle é da “[...] direita para a esquerda, pois o destinatário chama ativamente o remetente para buscar dados”, sendo interconectas por “filas”, consideradas o “[...] elemento principal que fornece localização e desacoplamento temporal entre o remetente e o destinatário”, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Diagrama de fluxo de controle



Fonte: Traduzido de Hohpe (2024, não paginado).

No diagrama apresentado na Figura 6, uma “fila” conecta dois elementos ativos do sistema, um emissor que envia os dados para a fila e outro que necessita dos dados e os recupera da fila. Assim, o fluxo de controle vai do emissor para a fila, como do receptor para a fila, cujos dados podem ser melhorados por meio do *feedback*, resultando em dados desejáveis para o receptor.

Segundo Hohpe (2024), as filas promovem uma estabilidade necessária no sistema como um todo, embora, na maioria dos programas seja um elemento encapsulado dada a complexidade existente.

Nesse cenário, Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021) e Hohpe (2024) ressaltam que a integração entre o fluxo de dados e de controle é um fator importante a ser considerado na arquitetura de dados, ocorrendo, principalmente no nível de

processo, uma vez que os dados de entrada são transformados em saídas utilizáveis, permitindo que as decisões e ações sejam tomadas com base em dados processados.

Baseado nas contribuições teóricas de Allen (1970), Lam e Wilson (1992); Johnston, Hanna e Millar (2004), Arvind e Culler (1986), Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021), Morrison (2010) e Hohpe (2024), apresenta-se no Quadro 9 os principais pontos de convergência e distinção entre os fluxos de dados e de controle, cujos requisitos estruturais devem ser predefinidos quando da concepção do projeto e do tipo de domínio a ser atendido.

Quadro 9 - Convergências e distinções entre o fluxo de dados e o fluxo de controle

Aspectos	Convergências	Distinções
Foco principal	Lidam com o processamento de informações em sistemas computacionais.	Fluxo de controle foca na ordem de execução de instruções, enquanto fluxo de dados foca na transformação e movimento dos dados.
Representação	Ambos podem ser representados por grafos direcionados, onde os nós representam operações e as arestas representam o fluxo de informações.	Fluxo de controle é representado por grafos de fluxo de controle, enquanto fluxo de dados é representado por grafos de dependência de dados.
Otimização	Podem ser otimizados para melhorar o desempenho do sistema.	Otimizações de fluxo de controle visam reduzir o número de instruções executadas, enquanto otimizações de fluxo de dados visam aumentar o paralelismo e a localidade dos dados.
Paralelismo	Ambos podem ser paralelizados para aumentar o desempenho do sistema.	Paralelismo de fluxo de controle é limitado pela dependência de controle entre instruções, enquanto paralelismo de fluxo de dados é limitado pela dependência de dados entre operações.
Hardware	São implementados em hardware em processadores modernos.	Unidades de controle são responsáveis pelo fluxo de controle, enquanto unidades funcionais são responsáveis pelo fluxo de dados.
Software	Ambos são manipulados por compiladores e sistemas operacionais.	Compiladores otimizam o fluxo de controle e o fluxo de dados em programas, enquanto sistemas operacionais gerenciam o fluxo de controle e o fluxo de dados entre processos.
Segurança	Vulnerabilidades em ambos podem ser exploradas por atacantes.	Ataques de fluxo de controle visam manipular a ordem de execução de instruções, enquanto ataques de fluxo de dados visam manipular os dados em trânsito.

Verificação	Podem ser verificados para garantir a correção do sistema.	Verificação de fluxo de controle busca garantir que o programa siga o fluxo de controle correto, enquanto verificação de fluxo de dados busca garantir que os dados sejam manipulados corretamente.
Modelagem	Ambos podem ser modelados usando diferentes formalismos.	Redes de Petri podem ser usadas para modelar o fluxo de controle e o fluxo de dados, enquanto máquinas de estados finitos podem ser usadas para modelar o fluxo de controle.
Aplicações	Usados em diversas áreas da computação.	Fluxo de controle é essencial para a implementação de linguagens de programação, enquanto fluxo de dados é essencial para o processamento de sinais e imagens.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa perspectiva, a crescente complexidade dos sistemas e a necessidade de processamento de dados, em tempo real, têm impulsionado estudos que possibilitam uma compreensão mais clara do comportamento dos dados em diversos contextos como: sistemas complexos e críticos, redes de comunicação, sistemas de controle aeronáutico e plataformas de processamento de dados em larga escala, como dados gerados por sensores.

Assim, assegurar a qualidade e a segurança dos dados nesse contexto requer a utilização de modelos complexos capazes de processar grandes volumes de dados, por meio de transdução informacional, garantindo a integração e a disponibilidade eficiente dos dados, cuja resultante impactam diretamente na integridade, na confiabilidade e no controle dos sistemas, conforme abordado a seguir.

4 TRANSDUÇÃO INFORMACIONAL: DOS DADOS À INFORMAÇÃO

A sociedade contemporânea encontra-se imersa em um volume crescente e incessante de dados, provenientes de diversas fontes, como sensores, transações online, dispositivos móveis e redes sociais. No entanto, os dados brutos, isoladamente, carecem de significado e é por meio de diversas transformações que envolvem a reestruturação e a reformatação desses dados que se torna possível extrair valor, atribuir relevância e subsidiar a tomada de decisões de forma eficaz.

Nesse sentido, essa seção discorre sobre o processo de transdução informacional que ocorre nos dados durante seu percurso em sistemas complexos e críticos, a estrutura do ciclo de vida dos dados e a importância de suas fases nesse processo. Além disso, apresenta-se uma análise de um contexto de aplicação específica, descrevendo o processo de transdução informacional dos sinais de sensores térmicos em dados úteis para o monitoramento e controle do sistema de EGT, sob a perspectiva da Ciência da Informação.

4.1 O PROCESSO DE TRANSDUÇÃO

De origem do latim *transducere*, que significa conduzir através, o termo transdução encontrou relevância no campo da biologia, especificamente na área da genética e comunicação. No entanto, com o avanço da ciência e tecnologia o conceito em torno do processo de transdução ganha maior relevância, influenciando diversas áreas do conhecimento.

Sendo um termo utilizado desde áreas como a biologia até áreas técnicas como a engenharia, a transdução passa a ter maior notoriedade com o fenômeno físico-técnico nos estudos de Gilbert Simondon sobre técnica e individuação, no qual o processo de transdução pode ser compreendido com uma,

> [...] operação física, biológica, mental, social, pela qual uma atividade se propaga ponto a ponto no interior de um domínio, fundando tal propagação sobre a estruturação de um domínio de lugar em lugar: cada região da estrutura constituída serve à região seguinte como princípio de constituição, de maneira que uma modificação se estende assim progressivamente ao mesmo tempo que essa operação estruturante (Simondon, 2005, p. 27, tradução nossa).

Para Padovani (2014, não paginado), esse é um processo que está associado à “[...] transmissão de um sinal e à sua concomitante conversão de um determinado meio energético para outro”.

> Trata-se, enfim, de fazer com que um sinal captado a partir de determinado dispositivo ou elemento técnico module um outro suporte ou meio energético de maneira que seja possível reconhecer os traços específicos do sinal original durante tal processo. Isto é, de maneira que, mesmo ao ser alterado, transformado ou até mesmo distorcido devido às características intrínsecas aos mecanismos técnicos em questão, possa-se reconhecer ou identificar a prevalência de características do sinal original no sinal resultante. (Padovani, 2014, não paginado).

Assim, as transduções são constituídas por processos transformativos que ocorrem em diferentes níveis da realidade, incluindo a natureza, a cultura e a tecnologia (Simondon, 1992, Styhre, 2009, Mackenzie, 2002).

Na neurociência, esse é um processo essencial que possibilita aos organismos perceberem e interagirem com o mundo ao seu redor por meio de mecanismos de transduções específicas, convertendo diferentes formas de energia como a luz, som, calor, pressão e substâncias químicas em sinais elétricos que podem ser interpretados pelo sistema nervoso (Hansen; O’Shea, 2015).

Na engenharia, tais princípios são utilizados para o desenvolvimento de tecnologias que impactam diversos setores da sociedade, como a criação de sensores e transdutores, considerados dispositivos essenciais na automação industrial, controle de processos, monitoramento ambiental, equipamentos médicos e dispositivos eletrônicos.

No âmbito da indústria, o processo de transdução pode ser utilizado, por exemplo, em sensores e dispositivos de medição que monitoram parâmetros críticos em processos industriais como temperatura, pressão, vazão e nível, sendo tais dispositivos essenciais para garantir a eficiência, segurança e qualidade dos processos (Shi *et al.*, 2018; Van Duyn; Middelhoek, 1990).

Nesse cenário, a evolução da tecnologia favoreceu a criação de sensores cada vez mais precisos, miniaturizados e de baixo custo, possibilitando um uso crescente em áreas como a *Internet of Things* (IoT) ou internet das coisas e a Indústria 4.0, para transmissão de grandes quantidades de dados, sobretudo em tempo real.

Dessa forma, o processamento e tratamento de grandes conjuntos de dados são fatores determinantes sobre as potencialidades de uso das tecnologias de

informação e comunicação, cujo desafio é facilitar o acesso e uso dos dados de forma precisa.

Tal cenário tem influenciado diretamente como os dados são produzidos e consumidos, no qual estruturas e formatos distintos de dados são traduzidos e transformados em informações úteis para atender demandas informacionais cada vez mais emergentes e específicas (Styhre, 2009; Sant'Ana, 2019b).

Com isso, o potencial de uso dos dados é ampliado à medida que se aplicam técnicas de processamento, cujas interfaces maquínicas são responsáveis por converter os dados, alterando-os em relação à sua forma original de criação, por meio de transduções informacionais complexas nas diversas camadas de interface dos sistemas (Sant'Ana, 2016, 2019b, 2021b).

No âmbito da Ciência da Informação, tal definição foi cunhada por Sant'Ana (2019a) ao descrever a transdução informacional como a,

> [...] transformação de um tipo de sinal em outro, envolve tipos distintos de energia que propiciam o controle sobre processos ou a realização de medições, como representação do transcurso do conteúdo entre bits persistidos nos suportes digitais [...] até os formatos resultantes nas interfaces líquidas, abertas e altamente aderentes às características dos usuários finais. (Sant'Ana, 2019a, p. 118).

Nesse contexto, a transdução informacional pode ser compreendida como um processo de conversão de um tipo de energia, informação ou organização em outro, com uma série de etapas intermediárias que envolvem a amplificação, estrutura, codificação e energia, diferenciação e a transmissão de dados e informações (Sant'Ana, 2019a; Simondon, 1992; Styhre, 2009).

Dito isso, a transdução informacional de um formato de dado em outro é um processo essencial em sistemas complexos e críticos, desempenhando um papel fundamental ao permitir que diferentes componentes de um sistema se comuniquem e interajam entre si, em processos ordenadas e sequenciais.

No que diz respeito a sua estrutura, esse processo pode ser considerado a partir de três elementos principais: a entrada, composta pelos sinais ou dados coletados que serão convertidos ou transformados; o processo de transdução, constituído pelo conjunto de operações aplicadas à entrada para gerar uma saída, sendo o dado ou a informação resultante do processo de transdução.

Na práxis, tal processo pode ser representado como a entrada sendo um documento textual, uma imagem, um vídeo, um áudio ou qualquer outro tipo de dado.

Já o processo de transdução pode envolver a aplicação de algoritmos de processamento de linguagem natural, técnicas de análise de imagem, métodos de reconhecimento de voz ou outras ferramentas computacionais. E, por fim, a saída pode ser um conjunto de termos de indexação, uma representação vetorial, um resumo, uma tradução ou qualquer outra forma de representação do dado original (Sant'Ana, 2019a; Simondon, 1992; Styhre, 2009).

No contexto contemporâneo, as tecnologias empregadas no processo de transdução informacional enfrentam o desafio de lidar com a crescente quantidade e diversidade dos dados, bem como com a complexidade dos sistemas, cujos processos se apresentam cada vez mais encapsulados e a necessidade de assegurar a qualidade e a relevância dos dados disponibilizadas aos usuários finais (Sant'Ana, 2019a; Dekker, 2011; Hey, Tansley; Tolle, 2011). Esse cenário é especialmente evidente no uso de técnicas de inteligência artificial, aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural, que têm sido amplamente aplicadas para a automação e o aprimoramento de sistemas complexos.

Contudo, apesar dos avanços significativos alcançados nas últimas décadas, estudos sobre o processo de transdução informacional ainda se mostram incipientes no âmbito da CI, cujas limitações evidenciam não apenas os desafios teóricos e práticos que ainda precisam ser enfrentados, mas também as múltiplas oportunidades para o desenvolvimento de pesquisas futuras acerca da temática de fluxo de dados e de fluxo de controle e de todos os processos envolvidos.

4.2 A ESTRUTURA DO CICLO DE VIDA DOS DADOS

O acesso a volumes expressivos de dados tem promovido uma transformação paradigmática em diversas áreas da atividade humana. Esse fenômeno tem impulsionado o surgimento de novas aplicações que, por sua vez, requerem o desenvolvimento de requisitos específicos, a implementação de infraestruturas tecnológicas robustas e a adoção de modelos computacionais eficientes para conversão de dados brutos em informações dotadas de valor estratégico.

Nesse contexto, a área de CI se destaca pelo estudo interdisciplinar dos processos que permeiam os processos transformativos dos dados (Sant'Ana, 2019b),

até a sua assimilação pelo ser humano na forma de informação e, por conseguinte, em conhecimento com uma abordagem sobre as etapas do fluxo informacional desde a sua gênese (Capurro; Hjorland, 2007).

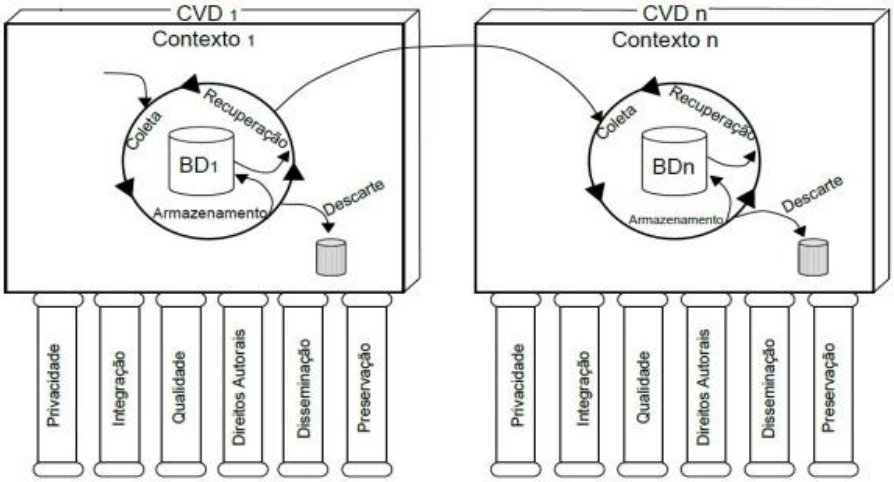
Para Sant'Ana (2016), o desenvolvimento de metodologias para facilitar o acesso e uso dos dados deve ser cuidadosamente planejado, envolvendo a identificação e análise de fatores e as características que promovam o equilíbrio entre os atores envolvidos no processo e, a otimização do uso dos dados em si.

Dessa forma, uma abordagem centrada em dados e os processos de transformação de sua estrutura e forma exigem a concepção de modelos e programas operacionais eficientes, cuja aplicação e otimização das fases do ciclo de vida dos dados pode estabelecer e fortalecer as conexões entre os usuários dos sistemas de informação e os dados essenciais para o atendimento de suas necessidades informacionais (Sant'Ana, 2016, 2019a; Rodrigues; Sant'Ana, 2013).

Observa-se que, o ciclo de vida dos dados é um *framework* essencial para organizações que buscam gerenciar seus dados de forma eficiente e sustentável. A escolha do modelo mais apropriado depende das necessidades específicas da organização, seu setor de atuação e objetivos estratégicos. Bem como, o sucesso em sua implementação requer um compromisso contínuo com as melhores práticas de gestão e uma cultura organizacional que valorize a qualidade e segurança dos dados.

Ressalta-se que, para o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, as fases do CVD e seus fatores transversais, destacados na Figura 7, podem ser consideradas elementos estruturantes essenciais para a qualidade dos processos, uma vez que estabelecem diretrizes para o tratamento dos dados.

Figura 7 – Ciclo de Vida dos Dados e os fatores transversais



Fonte: Sant'Ana (2016, p. 123).

Ao propor um CVD para a área de Ciência da Informação, Sant'Ana (2016) apresenta uma estrutura que fundamenta a gestão eficiente dos dados, contribuindo para um planejamento mais preciso, incluindo a seleção dos tipos de dados que devem ser coletados, a definição das necessidades a serem atendidas e a identificação da área de aplicação.

Tal processo pode proporcionar maior autonomia aos usuários em suas tomadas de decisão (Martins; Alencar; Sant'Ana, 2022), pois viabiliza a disponibilidade e acessibilidade das informações resultantes, que devem ser apresentadas de forma clara e objetiva para o usuário final, garantindo sua interpretabilidade. Como apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Fases do CVD

Fases	Descrição
Coleta	Fase de obtenção dos dados a partir das definições das necessidades informacionais previamente estabelecidas, no qual devem ser considerados alguns aspectos importantes como: escopo, origem, formato dos dados, resultados esperados, tratamento e adequação ao domínio de uso, privacidade, integridade e qualidade dos dados.
Armazenamento	Fase de conservação dos dados no qual ficarão disponíveis para acesso futuro. Nesta fase é essencial considerar quais dados ficarão disponíveis e armazenados, quais estruturas podem ser utilizadas e qual a capacidade de interligação com outros sistemas e, se podem representar um risco a privacidade tanto de indivíduos quanto das instituições.
Recuperação	Após realizadas as fases de coleta e armazenamento, a fase de recuperação centra-se em quais dados estarão disponíveis para acesso e uso, sendo considerado para tanto qual tipo de público os dados serão disponibilizados, qual a forma de acesso (diretamente na base em que os dados estão armazenados ou por outro método específico para recuperação), bem como questões relacionadas à privacidade dos dados, se eles podem ser disponibilizados para recuperação.
Descarte	Após as fases de coleta, armazenamento e recuperação, tem-se a fase de eliminação ou descarte de dados que não são mais necessários ou que estejam acima da capacidade de tratamento para o sistema como um todo. Nesta fase, alguns critérios fundamentais devem ser observados, como: os dados a serem eliminados não vão prejudicar a integridade e interligação com outros dados e qual o impacto desta ação na encontrabilidade e acesso do sistema como um todo.

Fonte: Adaptado de Sant'Ana (2016).

Destaca-se que, as fases do CVD são influenciadas pelos fatores que estão presentes em cada uma delas (Figura 7), como: Privacidade, Integração, Qualidade, Direitos Autorais, Disseminação e Preservação (Sant'Ana, 2016), sendo estes, pilares importantes para o planejamento de processos que envolve o uso dos dados.

Na perspectiva de usabilidade dos dados, a coleta e o armazenamento constituem fases essenciais no âmbito do processo de tratamento informacional que,

segundo Sant'Ana (2016), se a primeira fase define as reais necessidades que irão nortear a finalidade de um processo de recuperação amplamente abrangente, a segunda fase possibilita a reutilização dos dados e a interação destes com outras bases estruturadas e relacionais.

No que diz respeito aos fatores que sustentam a estrutura do CVD, a qualidade dos dados pode ser considerada um pilar fundamental que permeia os processos em sistemas automatizados, sendo um diferencial na constituição e geração de dados que geram valor, uma vez que fontes genuínas e autênticas serão prioritárias na análise e na disseminação seletiva dos dados.

> Uma característica essencial de repositórios de dados é a definição e garantia de elementos que permitam a percepção da qualidade dos dados coletados, portanto, elementos como a procedência, mecanismos de coleta e garantias de integridade física e lógica representam apenas alguns dos aspectos a serem considerados. A confiabilidade dos dados é condição *sine qua non* para que um dado seja útil. (Sant'Ana, 2016, p. 125).

Por outro lado, a disseminação de dados quando direcionada a atender às necessidades informacionais específicas, deve ser precedida da avaliação de fatores que assegurem tanto a viabilidade de uso desses dados quanto da sua capacidade de gerar valor real. Portanto, é fundamental que os dados selecionados correspondam efetivamente às demandas identificadas,

> [...] desde a fase de coleta de tal forma que a viabilidade de uma maior encontrabilidade e acesso seja possível, exigindo que informações (atributos) que mesmo que não estejam ligados diretamente a necessidade atual sejam incluídas no planejamento da estrutura de obtenção para que seja possível, por exemplo, identificar elementos contextuais dos dados que possam favorecer sua localização e interpretação [...], inclusive, a ampliação do volume de dados obtidos e de aporte de informações sobre a própria coleta como parte das estruturas a serem preenchidas com os dados coletados. (Sant'Ana, 2016, p. 126).

Nessa perspectiva, considera-se que as abordagens sobre os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle são indissociáveis das fases e fatores que estruturam o CVD. Com isso, o planejamento prévio da coleta de dados é um aspecto fundamental para o desenvolvimento de modelos que possibilitem aos usuários, de forma equitativa e democrática, o acesso e a utilização de dados, minimizando a assimetria informacional existente entre aqueles que os detêm, daqueles que deles

necessitam (Santos; Santana, 2002; Sant'Ana, 2016; Davenport, 2014; Marchionini, 2017).

4.3 TRANSDUÇÃO INFORMACIONAL DE DADOS DE SENSORES TÉRMICOS

Os avanços tecnológicos, associado ao uso de suportes cada vez mais eficientes e eficazes, tem impulsionado o desenvolvimento de dispositivos de comunicação com alta fidelidade de transmissão e com processamento preciso de dados como por exemplo, a geração de sinal de micro-ondas de pequeno porte para aplicações relacionadas a radares de defesa de sistemas aéreos (Tang *et al*.,2012).

A partir da integração das TIC em larga escala é possível a transmissão de dados em tempo real, favorecendo o aprimoramento e a capacidade de resposta diante de demandas informacionais distintas e urgentes. Assim, tais inovações não apenas aumentam a eficiência da comunicação, mas também têm o potencial de transformar vários setores da sociedade, melhorando o desempenho e a acessibilidade a dados com qualidade acuradas, através de processos transformativos eficientes.

Segundo Van Duyn e Middelhoek (1990) e Lucero (2019), o processo de transdução entre dois sistemas, pode ser considerado um acoplamento entre os estados dos sistemas, sendo que os sistemas podem ser descritos por um conjunto de dados que, após as transformações de estrutura e formatos passam a ser representados por um conjunto de informações contextualizadas.

Nesse processo, a transdução informacional ocorre em ambientes de não-equilíbrio devido à existência de um gradiente de entropia, *input* de dados, permitindo a conversão de um tipo de energia em outra (Sant'Ana, 2019a; 2021a).

Para Van Duyn e Middelhoek (1990), Lucero (2019) e Wiener (2017), tal dinâmica representa a entropia, uma vez que a medida de desordem ou aleatoriedade existente em um sistema pode estar associada à quantidade de energia disponível que não pode ser utilizada para realizar trabalho. Já em um ambiente de equilíbrio termodinâmico, com ausência de fluxos de energia ou matéria que cause a mudança de estado no ambiente, a entropia é máxima e constante sem a ocorrência de conversões (Van Duyn; Middelhoek, 1990; Lucero, 2019; Wiener, 2017).

Assim, observa-se que,

> A noção de quantidade de informação liga-se muito naturalmente a uma noção clássica em mecânica estatística: a de entropia. Assim como a quantidade de informação em um sistema é a medida de seu grau de organização, a entropia de um sistema é a medida de seu grau de desorganização: e uma é a negativa da outra. (Wiener, 2017, p. 33).

Nesse contexto, ao se considerar o escopo da pesquisa a transdução informacional ocorrida nos dados durante seu fluxo no sistema de EGT, pode ser relacionada aos processos de equilíbrio e não-equilíbrio do sistema quando o volume de dados tende a aumentar devido às condições dinâmicas do processo, favorecendo a taxa de mudança de entropia (Van Duyn; Middelhoek, 1990; Wiener, 2017; Lucero, 2019).

Para a coleta de dados de temperatura dos gases de exaustão são utilizados sensores termopares, dispositivos termoelétricos constituídos por dois metais distintos que, em meio a exposição a determinada temperatura geram um potencial elétrico entre si no ponto de contato exposto à fonte de calor (Gale *et al*., 1982).

No sistema de EGT, os sensores são distribuídos de maneira uniforme no motor e imersos nos gases quentes que circulam na seção de alta pressão, ou seção quente, e a diferença de temperatura entre os seus elementos gera uma tensão que pode ser usada para determinar com precisão a temperatura real do sistema, durante seu ciclo operacional (Gale *et al*., 1982; Von Moll *et al*., 2014).

Em virtude das múltiplas transduções informacionais de sinais inerentes ao processo, a obtenção de dados em tempo real se apresenta como um desafio complexo, requerendo a implementação de tecnologias de interface que sirvam de ponte entre os usuários e os dados relevantes para a tomada de decisões e o atendimento de demandas específicas (Sant'Ana, 2016; 2019a).

Em sistemas complexos e críticos, esse é um fator importante a ser considerado, uma vez que,

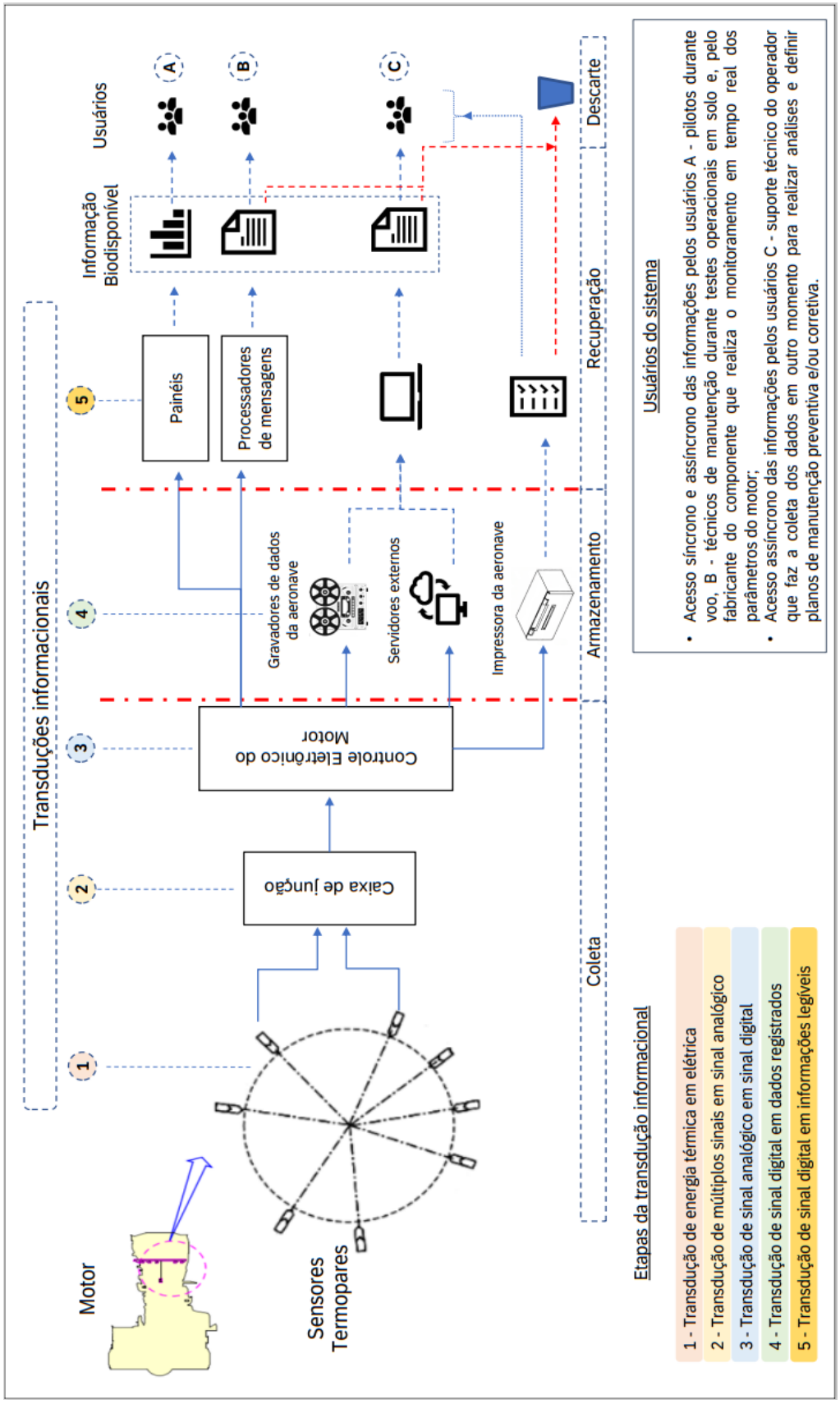
> [...] as técnicas clássicas de análise de sinais não exploram a estrutura particular dos sinais caóticos, há um desafio significativo e uma oportunidade na exploração de novas classes de algoritmos combinados com sinais caóticos. (Oppenheim *et al*., 1992, p. 117, tradução nossa).

Considerando esse cenário, a partir das reflexões e das contribuições teóricas de Oppenheim *et al*. (1992); Morrison (1994; 2010); Wiener (1948; 2017);

Shannon e Weaver (1949); Gale *et al*. (1982); Von Moll *et al*. (2014); Veen (1986); Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021); FAA (2018; 2023) e Sant'Ana (2016; 2019a, 2019b), foi desenvolvido um diagrama para representar a estrutura de fluxo de dados, explicitando as etapas do processo de transdução informacional dos dados coletados por sensores térmicos em motores aeronáuticos à reação.

Ademais, destaca-se as fases do CVD e o seu papel integrador no percurso dos dados nas diversas camadas de interfaces e os atores envolvidos para garantir o monitoramento e controle contínuo do sistema, desde a coleta até a disponibilização para o usuário final, apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Transduções informacionais e o CVD do sistema de EGT



Fonte: Elaborado pelo autor.

Da coleta à recuperação, os dados passam por diversas transduções informacionais em seu formato e estrutura durante seu percurso, classificados em 5 etapas, Figura 8, dentro das fases do CVD e apresentados da seguinte forma: na fase de coleta estão as etapas 1, 2 e 3; na fase de armazenamento a etapa 4 e, na fase de recuperação a etapa 5. Ressalta-se que, o descarte pode ser realizado em todas as etapas do fluxo de dados, mas na estrutura apresentada será descrito como sendo a última fase do CVD, encerrando o ciclo do processo abordado nessa pesquisa.

Na **etapa 1**, a energia térmica dos gases de exaustão é convertida em sinal elétrico pelos conjuntos de sensores termopares à medida que ocorre uma variação de temperatura e enviada para a etapa subsequente, na caixa junção.

Uma vez disponibilizados na caixa de junção, ocorre a **etapa 2** com a transdução informacional dos múltiplos sinais em sinal analógico, que representa o valor médio de todos os sinais provenientes dos conjuntos de sensores, dispostos no componente.

Cabe observar que, a amplitude dos sinais enviados para a caixa de junção é diretamente proporcional ao aumento de temperatura dos gases de exaustão, que pode ser determinado pelos níveis de aceleração e de desaceleração do fluxo de ar, sendo transmitidos de forma contínua durante todo o ciclo operacional.

Na **etapa 3**, os sinais analógicos passam por mais um processo de transdução informacional, desta vez sendo convertidos em sinais digitais pelo processador do *Electronic Engine Control* (EEC) ou controle eletrônico do motor e/ou a *Electronic Control Unit (ECU),* unidade de controle eletrônica. Além dos sinais de EGT, os dados de outros sistemas da aeronave como: consumo de combustível, controle de ignição e emissões de gases, são processados na EEC/ECU e disponibilizados nas interfaces de monitoramento e controle de parâmetros específicos do sistema como um todo.

Destaca que, as unidades EEC e ECU são processadores de controle digital do motor e sua nomenclatura é definida segundo o fabricante. Nessa pesquisa, adota-se a nomenclatura controle eletrônico do motor, cujos princípios de funcionamento e aplicação da estrutura exemplificada é o mesmo para aeronaves que utilizam motores à reação, podendo ser acrescentadas outras interfaces no sistema, dependendo do modelo, aplicabilidade e fabricante do componente.

Após as conversões analógico-digitais serem realizadas na EEC, os dados resultantes são enviados para os *displays* de monitoramento e para, dentre outros destinos, o *Flight Data Recorder* (FDR)[4] ou gravadores de dados de voo da aeronave, popularmente conhecido como caixa preta, cujos dados podem ser recuperados para elucidação de eventos críticos ou catastróficos, quando solicitado pela autoridade aeronáutica ou órgão regulador competente.

Destaca-se que, no FDR são armazenados os principais parâmetros da aeronave, sendo registrados dados coletados de diversos sensores de sistemas essenciais e críticos para a segurança operacional como, velocidade da aeronave, regime de aceleração dos motores, posição das manetes de potência, altitude da aeronave e pressão de ar, dentre outros.

Com os dados processados e disponibilizados, **etapa 5**, é possível realizar o monitoramento e controle dos parâmetros de EGT em tempo real durante todo o ciclo operacional dos motores. As indicações dos níveis de EGT podem ser representadas e acessadas pelos usuários finais tanto de maneira síncrona, quanto assíncrona, dependendo do contexto de uso como descrito a seguir:

- **Usuários A** - acesso síncrono pela tripulação de cabine (pilotos e copilotos) que fazem o monitoramento dos parâmetros apresentados em tempo real, cuja tomada de decisão irá decorrer de variações limítrofes dos parâmetros desejáveis, de forma imediata;
- **Usuários B** - acesso síncrono pela equipe de manutenção durante testes operacionais em solo, de atividades programadas de giro de motor e/ou durante as ações corretivas relacionadas ao sistema de EGT. Além disso, os dados podem ser acessados pelo fabricante do motor, que realiza o monitoramento em tempo real dos parâmetros de temperatura e *performance* operacional.
- **Usuários C** - acesso assíncrono pelo suporte técnico do operador da aeronave, que coleta os dados para realizar análises e definir planos

[4] *FDR is part of the blackbox system on aircraft as a recorder of data from aircraft sensors. The parameters recorded by the FDR is code, type, speed, altitude, time and the air pressure on the aircraft. [...] Before the data stored in the blackbox, FDR recorded the data is converted into binary data using its standard ARINC 429 and 717. [...] The data formats in the FDR consist of frames, sub frames, words, and bits* (Putra; Nasution; Azmi, 2017).

de manutenção preventiva e/ou corretiva, cujo objetivo é prolongar a vida útil do componente, melhorando a *performance.*

Ademais, os dados ainda podem ser disponibilizados para recuperação no formato impresso, através de dispositivos de impressão, quando instalados nas aeronaves, cujos registros auxiliam nas análises de eventuais problemas do sistema de EGT ou outros sistemas relacionados. Além disso, os dados podem ser armazenados em servidores de nuvem virtual, sendo acessados de forma assíncrona para análises preditivas e corretivas.

Por fim, tem-se a fase de descarte que somente poderá ser realizada observando a criticidade e contexto no qual os dados serão utilizados, como: planejamento, monitoramento, controle e uso dos dados.

Nessa perspectiva, ressalta-se que o processo de transdução informacional ocorrido nos dados coletados de sensores de motores aeronáuticos à reação, pode ser entendido como um exemplo prático de aplicação dos modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle e, do uso da estrutura do CVD, demonstrando a importância das fases de coleta, armazenamento e recuperação para a análise e fluxo dos dados, possibilitando o controle e uso efetivo dos dados em sistemas complexos e críticos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A operacionalização de dados em sistemas complexos e críticos representa um desafio substancial, demandando a implementação de tecnologias de alta eficiência em virtude das múltiplas camadas de interfaces que encapsulam os processos transformativos, possibilitando a conversação de dados analógicos em digitais e transmitindo-os em tempo real nos sistemas informatizados (Sant'Ana, 2019a; Mackenzie, 2002; Chong; Kumar, 2003).

Nesse contexto, compreender as implicações em torno de tais processos, as tecnologias envolvidas e suas aplicações não se restringe apenas ao uso sistêmico dos dados, mas também as relações existentes entre os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle com o ciclo de vida dos dados nesses sistemas.

Segundo Sant'Ana (2019b), tal percepção é fundamental para o entendimento sobre os elementos estruturantes dos diversos aspectos relacionados à questão de acesso a dados, os atores envolvidos e o contexto de uso e quais tecnologias são necessárias para proporcionar uma melhor integração entre as diversas etapas do processo.

Na presente pesquisa, o processo de transdução informacional da energia térmica em elétrica ilustrado na Figura 8, exige o uso de dispositivos sensores de alta precisão para a coleta de dados. Contudo, a incidência de falhas nos sensores durante esta fase ou no subsequente processo de transdução podem introduzir dados espúrios ou alterados nas interfaces de monitoramento, resultando em interpretações errôneas e, consequentemente, em decisões equivocadas.

No entanto, no processo de conversão de sinais é imprescindível considerar as perdas de energia inerentes ao processo de transdução informacional de energia térmica em pulso elétrico. Tais perdas podem ocorrer devido a dissipação de calor no ponto de coleta, uma vez que as variações de temperatura são constantes e a conversão de energia depende diretamente do aumento de temperatura a que os sensores estão expostos (Gale *et al*., 1982).

Um dos fatores relevantes nesta problemática reside na possibilidade de os sensores apresentarem inconsistências e imprecisão nas indicações de temperatura, devido a danos estruturais causados por impactos. Além disso, outros fatores como defeitos de fabricação, deterioração e degradação no desempenho dos

componentes podem limitar as conversões de sinais, no qual uma “[...] margem de incerteza deve ser introduzida para qualquer valor que seja sintetizado com base nos valores dos sensores como resultado dessas variações” (Von Moll *et al*., 2014), para aumentar a confiabilidade do sistema.

Em sistemas complexos e críticos, como motores aeronáuticos, as perdas de energia podem ocorrer em todo o ciclo de operação tanto no compressor quanto na turbina, contribuindo para uma diminuição da eficiência da máquina, cujo desempenho está diretamente relacionado à eficiência dos componentes e a temperatura de trabalho (Cohen; Rogers; Saravanamuttoo, 1987; Trzeciak; Gieras, 2020).

No entanto, considera-se que as perdas de sinais são inerentes ao processo e só são, em muitos casos, percebidas ao longo da operação ou em situações limítrofes extremas, quando os parâmetros apresentam variações disformes dos valores preestabelecidos.

Nesse caso,

> [...] quando a velocidade relativa entre um gás e um corpo sólido atinge um determinado valor, o fluxo se comporta de maneira bem diferente daquela esperada a partir de um estudo de hidrodinâmica. Os efeitos produzidos, que se manifestam como perda adicional de pressão de estagnação no fluxo, não surgem quando o fluido é um líquido. Isso sugere que os fenômenos são devidos à mudança de densidade que acompanha uma mudança na pressão de um gás. A ideia é reforçada pelo fato de que os fenômenos só ocorrem em altas velocidades quando as mudanças de pressão configuradas pelo movimento relativo e, portanto, as mudanças de densidade tornam-se consideráveis. (Cohen; Rogers; Saravanamuttoo, 1987, p. 370, tradução nossa).

Para Walsh e Fletcher (2004), as potenciais falhas dos sensores na coleta e na leitura dos dados podem resultar em degradação do sistema devido à exposição prolongada dos componentes a altas temperaturas, impactando diretamente a redução da vida útil e *performance* operacional dos componentes.

No Quadro 11, são apresentadas algumas prováveis causas para perdas de sinais tanto físicos quanto não físicos.

Quadro 11 – Fatores contribuintes para perda de sinais

Físicos	**Não físicos**
Acúmulo de sujeira	Dissipação térmica
Corrosão	Tolerância de fabricação inadequada

Deterioração do sensor	Vazamentos
Perda de partes por impacto	Expansão térmica repentina
Interface danificada	Variação brusca de temperatura
Queima por alta temperatura	
Instalação inadequada	
Cabos danificados	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gale *et al*. (1982) destaca que, para o funcionamento adequado de um sistema de controle de temperatura dois fatores são fundamentais: o primeiro é que seja estabelecido ou programado um sinal de referência de temperatura e, o segundo é que os sinais coletados sejam medidos e transmitidos ao sistema de controle para comparação com o sinal de referência predeterminado.

Para aumentar a eficiência do sistema, conjuntos de sensores são distribuídos ao longo do motor, possibilitando a ampliação, a redundância e a quantidade de dados coletados.

Dessa forma, como demonstrado na **etapa 1** da Figura 8 os sensores são ligados em paralelo e separados por cabos elétricos distintos até a caixa de junção, cujos sinais serão distribuídos de maneira uniforme. Assim, caso algum sensor apresente falha a emissão dos sinais não será comprometida, uma vez que será utilizada a média de todos os dados coletados para as etapas subsequentes.

Ressalta-se que, a perda de um sensor em um ponto específico de coleta pode induzir a uma subestimação do sinal de temperatura média do sistema que será enviado à caixa de junção, resultando em um aumento compensatório do fluxo de combustível para se atingir a temperatura de referência o mais próximo possível da média real, afetando negativamente a vida útil dos componentes do sistema de EGT (Gale *et al.,*1982).

Com isso,

> Quando uma ponta de sensor termopar está faltando, a capacidade do sensor de realizar sua função vital de amostragem de gás é completamente perdida. A amostra de gás não pode ser obtida nas profundezas do fluxo de gás onde as temperaturas são mais elevadas. Em vez disso, os elementos de detecção são expostos ao ambiente relativamente frio na periferia do caminho do gás de combustão. Isso significa que o termopar afetado introduzirá um sinal de temperatura de gás excessivamente baixo no sistema, com sérias consequências para o funcionamento do motor. (Gale *et al*., 1982, p. 11, tradução nossa).

Dito isso, a precisão dos dados coletados é primordial para a eficiência dos modelos de fluxos estudados, bem como de seus processos. No entanto, ao se considerar as perdas de energia térmica nos sensores, destaca-se alguns fatores que contribuem para a degradação na fase inicial de coleta, como:

- Perdas por radiação: parte da energia térmica é irradiada para o ambiente, reduzindo a quantidade de calor disponível para conversão;
- Perdas por condução: a condução de calor para componentes adjacentes ao sensor, diminui a temperatura medida;
- Perdas por convecção: o movimento do ar ao redor do sensor pode causar variações na temperatura medida, introduzindo erros no sinal;
- Resposta do sensor: a resposta do sensor pode ser lenta, introduzindo atrasos na detecção de variações de temperatura;
- Ruído térmico: flutuações aleatórias na temperatura podem gerar ruído no sinal analógico (Gale *et al*., 1982; Von Moll *et al*., 2014).

Uma vez na caixa de junção, a média dos sinais de EGT é calculada e ajustada para refletir as temperaturas reais dos gases de exaustão, cujos condutores da caixa de junção transportam os sinais analógicos de temperatura, expressos em milivolts, para EEC.

Nesta unidade, protocolos específicos de transdução informacional são usados para converter os sinais analógicos em dados digitais, os quais são posteriormente transmitidos para os sistemas de monitoramento e controle e, disponibilizados como dados úteis e interpretáveis tanto para o usuário final quanto para a máquina.

Nesse contexto, considera-se que a eficiência do processo, em conjunto com as tecnologias empregadas nas diversas camadas de interface, possibilita a correção de desvios ou ruídos ao longo do percurso dos dados, assim como a ordenação sequencial das instruções, assegurando que as indicações geradas sejam confiáveis para uma operação estável e segura em todas as fases e condições do sistema.

A partir da análise das conversões ocorridas nas **etapas 2** e **3**, Figura 8, a transdução informacional de múltiplos sinais em sinal analógico e de sinal analógico em sinal digital, respectivamente, destaca-se a importância da abordagem desse

processo em sistemas mecânicos complexos e críticos, cuja transformação de um sinal contínuo ou analógico e variável no tempo, como um sinal de áudio ou de temperatura, em um sinal discreto ou digital pode ser representável por *bits* (Yourdon, 2006; Sant'Ana, 2019a).

Para Oppenheim *et al.* (1992, p. 117, tradução nossa), os dados gerados nesses sistemas "[...] representam uma classe potencialmente rica de sinais tanto para detectar e caracterizar fenômenos físicos quanto para sintetizar novas classes de sinais para comunicações".

Assim, a coleta de dados nesses sistemas representa um desafio crescente e os dispositivos elétricos como sensores, podem enfrentar determinadas limitações que impõe restrições à atuação de circuitos analógicos, cujo objetivo principal é garantir o processamento adequado dos sinais, eliminando ruídos, altas frequências e amplitudes de exposição indesejáveis, focalizando somente na parte relevante do sinal (Oppenheim *et al*., 1992).

Dessa maneira, os sinais analógicos convertidos em sinais digitais oportunizam maior confiabilidade na comunicação entre as diversas interfaces do sistema uma vez que, os circuitos digitais são menos suscetíveis a variações de fenômenos físicos como temperatura, sendo mais flexíveis e adequados para implementar novas funções algorítmicas de sinais (Oppenheim *et al*., 1992).

Nesse contexto, novas possibilidades de transdução informacional surgem, permitindo que os dados sejam representados em formatos diversos e armazenados, por exemplo, em gravadores de dados da aeronave (**etapa 4** da Figura 8). Tal processo possibilita que em situações críticas os dados sejam recuperados, fornecendo suporte primordial para a análise e elucidação de eventos críticos.

Dessa forma, a capacidade de processamento de grandes volumes de dados em tempo real, propiciada pelo avanço tecnológico, tem ampliado o controle de processos no setor da aviação, possibilitando a criação de sistemas de controle de voo automatizados e o monitoramento de sistemas operacionais com maior eficiência, confiabilidade e segurança.

Ressalta-se que, a eficiência no controle de sistemas complexos e críticos depende do *feedback* dos dados durante o seu fluxo, um elemento essencial para alterar o comportamento do sistema e assegurar a estabilidade das variáveis de sinal em conformidade com padrões preestabelecidos.

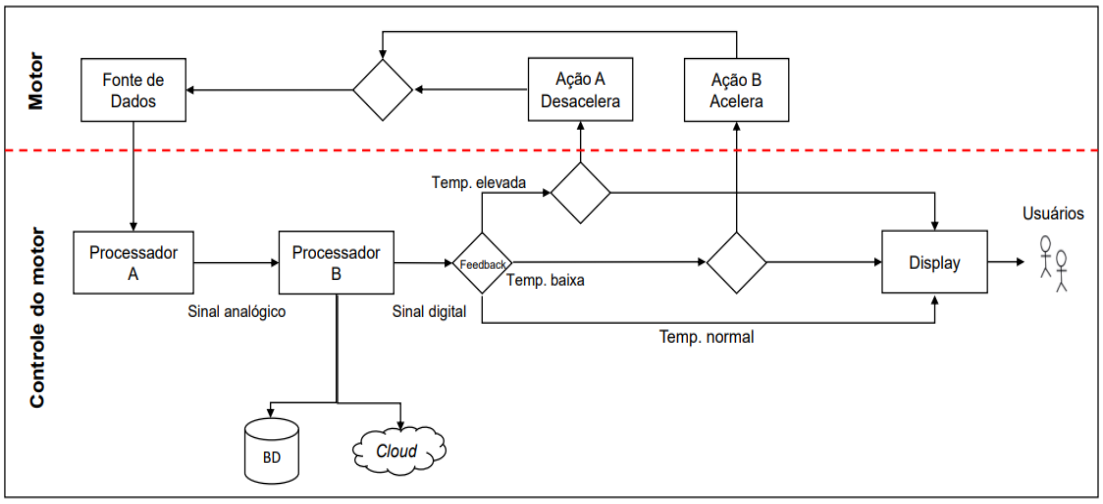
Conceitualmente, a teoria de controle

> [...] fornece uma rica coleção de técnicas para analisar a estabilidade e a resposta dinâmica de sistemas complexos e para colocar limites no comportamento de tais sistemas, analisando os ganhos de operadores lineares e não-lineares que descrevem seus componentes. (Åström; Murray, 2021, p. 15, tradução nossa).

A Figura 9 ilustra um diagrama de fluxo de controle aplicado a processos complexos. Neste diagrama, demonstra-se como correções para falhas registradas no sistema são gerenciadas por meio de ações automatizadas, atuando no controle e monitoramento das variações de temperatura, garantindo a estabilidade do processo.

É importante salientar que, o diagrama apresentado restringe-se à representação de fluxo de controle do sistema, enfatizando a ordem de processamento dos dados durante o processo. A inclusão do *feedback* de dados ou sinais para as ações corretivas dos níveis de temperatura, descritas como temperatura elevada, temperatura baixa e temperatura normal, configuram-se como uma ilustração das ações automatizadas no sequenciamento das instruções que visam possibilitar a manutenção dos níveis de segurança operacional dentro dos limites predefinidos.

Figura 9 – Diagrama de fluxo de controle em processos dinâmicos



Fonte: Adaptado de Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021).

Conforme ilustrado no diagrama, os dados coletados do motor são inicialmente direcionados ao processador A, responsável pelo processamento do sinal analógico, e posteriormente encaminhados ao processador B, que efetua a conversão do sinal analógico em digital. Nesse percurso, caso ocorra uma variação de temperatura, seja ela elevada ou abaixo do limite mínimo requerido, um sinal é emitido para o módulo de controle do sistema que, por sua vez, realiza as correções e ajustes

necessários para manter a *performance* do sistema e o controle da temperatura dentro dos parâmetros aceitáveis.

Após o processamento no processador B, os dados são direcionados tanto para o armazenamento interno do sistema (banco de dados), quanto para um provedor em nuvem. Os dados armazenados em nuvem são coletados pelo fabricante do componente para monitoramento em tempo real.

Adicionalmente, as indicações de temperatura classificadas como elevadas, abaixo do requerido ou em condições normais são enviadas às interfaces visuais (*displays*), sendo monitoradas pelos usuários do sistema, que em situações críticas realizam as intervenções corretivas.

Ao analisar o sistema de EGT, evidencia-se que sua complexidade pode representar um obstáculo à compreensão dos processos abstratos de transdução informacional, bem como das camadas de interfaces e as etapas que caracterizam o ciclo de vida dos dados ao longo do processo.

Nesse contexto, o encapsulamento da complexidade tem como objetivo promover um maior automatismo do sistema. Contudo, estabelece-se uma barreira entre as etapas e tecnologias envolvidas e os usuários, aumentando cada vez mais a assimetria informacional e dificultando a compreensão dos processos maquínicos, do fluxo de dados e do fluxo de controle e, das transformações existentes.

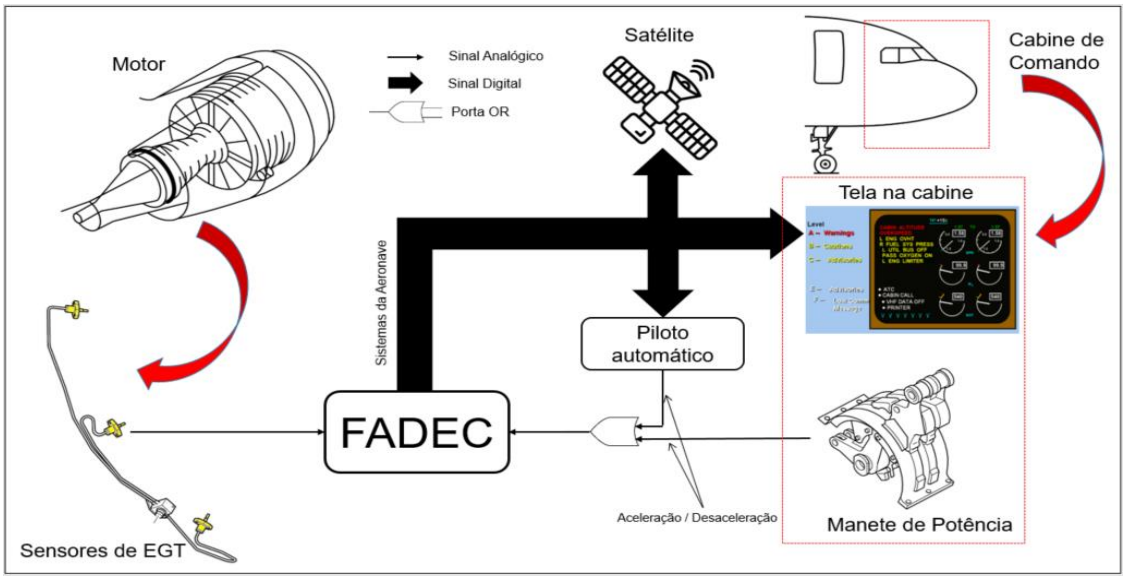
Para melhor compreensão do encapsulamento da estrutura da Figura 9, propõe-se na Figura 10, um diagrama com menor formalidade sob a perspectiva da arquitetura de dados, de sistemas mecânicos complexos. Neste diagrama, buscou-se explicitar o caminho percorrido pelos dados, os instrumentos e sensores envolvidos no processo, bem como a forma de apresentação dos dados nas telas de monitoramento e controle, cuja tomada de decisão depende da precisão das informações disponibilizadas.

A partir das contribuições teóricas de Von Moll *et al*. (2014), FAA (2018; 2013), Gale *et al*. (1982); Oppenheim *et al*. (1992); Morrison (1994; 2010); Wiener (1948; 2017); Åström e Murray (2021) e Hasselbring, Wojcieszak e Dustdar (2021), a Figura 10 propõe uma representação simplificada do controle do sistema de EGT, mantendo-se as mesmas condições previamente detalhadas na Figura 8, com o *feedback* dos dados decorrentes das transduções informacionais de sinais. Com isso, as ações corretivas podem ser realizadas de maneira automática com base no

feedback do sistema ou de maneira assistida por um agente externo, que irá tomar as ações em casos de alterações significativas dos limites operacionais.

Ressalta-se que, o *Full Authority Digital Engine (or Electronics) Control* (FADEC)[5] ou Controle Digital (ou eletrônico) do Motor com Autoridade Total, foi ilustrado no diagrama por ser uma filosofia de controle digital usada em diferentes tipos de motores de aeronaves, sendo essencial para as transduções informacionais de todos os dados coletados no motor e, usados para o monitoramento e controle operacional.

Figura 10 - Fluxo do sistema de EGT



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como apresentado na Figura 10, os dados coletados pelos sensores de EGT são direcionados para o sistema de gerenciamento de dados, FADEC, o qual é o responsável pelos sistemas de controle do motor, tendo o EEC como computador central do sistema, monitorando e realizando todas as conversões analógico-digital. A partir do FADEC, os dados são direcionados para as interfaces de monitoramento e para o armazenamento em nuvem através do sistema de comunicação e, para o gerenciador de piloto automático da aeronave.

---

[5] *A full authority digital electronic control (FADEC) has been developed to control fuel flow on most new turbine engine models. A true FADEC system has no hydromechanical fuel control backup system. The system uses electronic sensors that feed engine parameter information into the EEC. The EEC gathers the needed information to determine the amount of fuel flow and transmits it to a fuel metering valve. The fuel metering valve simply reacts to the commands from the EEC. The EEC is a computer that is the computing section of the fuel delivery system and the metering valve meters the fuel flow. FADEC systems are used on many types of turbine engines from APUs to the largest propulsion engines* (FAA, 2023, p. 36).

O *feedback* contínuo do estado operacional dos componentes é enviado para a central de controle digital, FADEC, que retroalimenta e revisa os dados sobre os limites de temperatura e regimes de aceleração e desaceleração dos motores, ajustando-o automaticamente e criando um novo ciclo de vida dos dados. Além disso, os dados dos parâmetros de posição das manetes são fundamentais para, entre outros fatores, determinar o regime de potência dos motores durante a operação.

Nesse contexto, a lógica de execução e sequenciamento adequado das funções de um programa e as transduções ocorridas nos dados podem ser estabelecidas pelas fases do CVD, permitindo “[...] que seja iniciada a fase de armazenamento que por sua vez propicia a execução da fase de recuperação e ainda pode gerar novos dados retomando ações da fase de coleta” (Sant’Ana, 2013, não paginado).

No entanto, a eficiência desse processo é intrinsecamente afetada por perdas de energia e/ou sinal, sejam elas de natureza analógica ou digital, que se manifestam em todas as camadas de interface do fluxo de dados e do fluxo de controle. Assim, a complexidade inerente a essas interações e suas respectivas perdas podem comprometer a precisão e a confiabilidade dos dados, impactando diretamente na acurácia de dados primordiais para a segurança e desempenho do sistema.

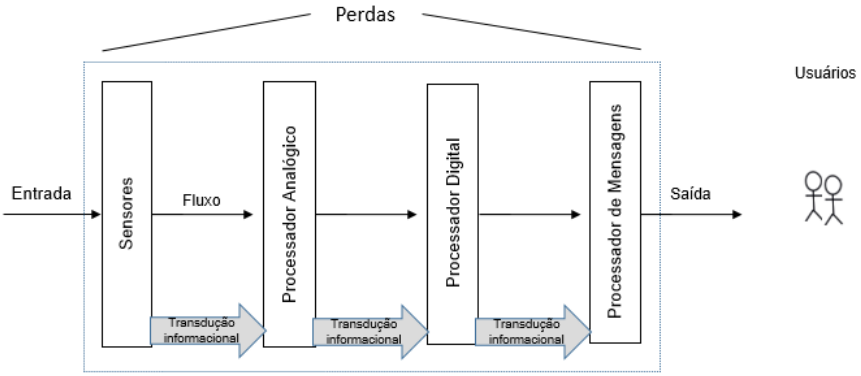
Nesse contexto, tal abordagem permite uma compreensão mais aprofundada dos mecanismos de transmissão e processamento de dados, possibilitando o desenvolvimento de estratégias para mitigar os efeitos das perdas e otimizar a integridade do sistema sob a perspectiva da Ciência da Informação, conforme ilustrado na Figura 11.

Ressalta-se que, a relevância dessa problemática reside no fato de que as perdas decorrentes das transduções informacionais podem comprometer a precisão e a confiabilidade dos dados, impactando diretamente na acurácia de dados primordiais para a segurança e desempenho do sistema.

Portanto, torna-se imperativo o conhecimento sobre as fontes de perda de sinal para a implementação de medidas que visem minimizar as falhas de comunicação entre as diversas interfaces. Além disso, tais medidas podem incluir a seleção de sensores de melhor desempenho e confiabilidade e a adoção de

algoritmos de processamento de sinais flexíveis e específicos, considerando as particularidades do sistema em questão.

Figura 11 – Perdas no processo de transdução informacional



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Arar (2021), o processamento de um sinal analógico é limitado pela precisão dos componentes elétricos, fazendo com que os circuitos analógicos dependam da acurácia dos componentes ativos e passivos, tais como resistores, capacitores, indutores e amplificadores.

Já o processamento de um sinal digital usa algoritmos específicos para conversão de sinais analógicos em digitais, oferecendo vantagens em relação ao sinal analógico como maior precisão, maior capacidade de implementar algoritmos complexos e maior flexibilidade para ajustar os algoritmos (Arar, 2021).

A conversão do sinal analógico para o digital requer a amostragem e a quantização do sinal, cuja perda de sinais durante esse processo é inevitável, sendo influenciado pela granularidade e pelo tempo de amostragem (Arar, 2021; Oppenheim; Schafer; Buck, 1998).

A granularidade é o número de níveis de quantização que podem ser utilizados para representar o sinal analógico, determinando a precisão da representação digital, destacados a seguir. Já a amostragem, é a frequência com que o sinal analógico é coletado e tem influência na quantidade de informações recuperadas (Arar, 2021; Oppenheim; Schafer; Buck, 1998), no qual uma frequência de amostragem mais detalhada do sinal analógico resulta em uma representação digital mais completa (Arar, 2021).

- Erro de quantização: a quantização é o processo de arredondar o valor de cada amostra para o nível de quantização mais próximo. Este arredondamento introduz um erro, conhecido como erro de

quantização, que é proporcional à diferença entre o valor real da amostra e o nível de quantização mais próximo.

- Subamostragem: caso a frequência de amostragem seja muito baixa, informações do sinal analógico podem ser perdidas, resultando em distorções na representação digital (Arar, 2021).

Ainda segundo Arar (2021), a granularidade e a taxa de amostragem são fundamentais para a precisão do processo de transdução informacional, no qual uma escolha inadequada desses parâmetros pode levar à perda de dados.

Nesse contexto, entende-se que o processamento de sinais digitais é um método de manipulação e análise de sinais representados digitalmente, incluindo sinais de áudio, vídeo, imagens e dados, cujo processamento requer o uso de técnicas específicas para minimizar as perdas durante as conversões.

Dito isso, Lyons (2004) ressalta que o uso da técnica de filtragem pode ser eficaz no processo de conversão, uma vez que possibilita reduzir frequências específicas como ruídos indesejados no sinal, implementada em um *hardware* ou *software* para o processamento de sinais digitais.

Com base nas abordagens propostas por Arar (2021), Lyons (2004), Oppenheim, Schafer e Buck (1998), Gale *et al*. (1982) e Von Moll *et al*. (2014), o Quadro 12 apresenta uma síntese dos possíveis impactos decorrentes da perda de sinal durante o processo de transdução informacional nos fluxos estudados, considerando, nesse contexto, as respectivas fontes dessas perdas.

Destaca-se que cada uma das perdas potenciais pode comprometer a integridade, a acurácia e a confiabilidade dos dados, afetando de forma significativa os processos decisórios em sistemas de monitoramento e controle que dependem da consistência dessas informações para operar de maneira eficaz.

Ademais, ressalta-se que a complexidade intrínseca aos sistemas contemporâneos, aliada ao encapsulamento das etapas de processamento nos modelos de dados, dificulta a detecção de perdas e a identificação precisa de suas causas, particularmente em sistemas caracterizados por elevada complexidade, como os sistemas complexos e críticos.

Quadro 12 - Perdas de sinais e seus impactos

Etapa	Fonte de Perda	Descrição	Impacto no sinal	Impacto na tomada de decisão
Conversão de Energia Térmica em Sinal Analógico	Radiação	Perda de energia térmica por emissão de ondas eletromagnéticas, uma vez que parte do calor é irradiado para o ambiente, reduzindo a temperatura medida.	Redução na intensidade do sinal.	Informação de temperatura imprecisa. Pode subestimar a temperatura real, levando a decisões baseadas em valores mais baixos que o real
	Condução	Transferência de calor através do contato direto das partes. O calor é conduzido para componentes adjacentes ao sensor, afetando a temperatura medida.	Redução na intensidade do sinal.	Informação de temperatura imprecisa. Pode causar gradientes de temperatura, afetando a precisão da medição em pontos específicos
	Convecção	Transferência de calor por movimento de fluidos ou gases. Deslocamento do ar ao redor do sensor causa variações na temperatura medida.	Fluxo de sinal instável.	Informações de temperatura imprecisas. Pode criar flutuações na leitura, especialmente em ambientes não controlados
	Resposta do sensor	Tempo de resposta e sensibilidade do sensor à mudança de temperatura, ocasionando atrasos de medições devido às variações de temperatura.	Atraso na detecção de alterações.	Decisões de controle imprecisas. Pode resultar em atrasos na detecção de mudanças rápidas de temperatura, afetando decisões em tempo real
	Ruído térmico	Flutuações aleatórias na temperatura do sensor, devido à agitação térmica.	Sinal analógico distorcido.	Dificuldade na análise de dados. Reduz a relação sinal-ruído, podendo mascarar pequenas variações de temperatura
Conversão de Sinal Analógico em Sinal Digital	Quantização	Aproximação do valor analógico contínuo para níveis discretos. A discretização do sinal analógico leva à perda de informação e erros de arredondamento.	Redução da precisão do sinal.	Decisões de controle imprecisas. Pode levar à perda de detalhes finos no sinal, afetando decisões que dependem de alta precisão
	Taxa de amostragem	Frequência com que o sinal analógico é coletado. Taxas de amostragem baixas perdem detalhes importantes do sinal.	Perda de informações temporais.	Dificuldade na detecção de eventos rápidos. Se inadequada, pode resultar em perda de informação de alta frequência, levando a interpretações errôneas
	Ruído de quantização	Erro introduzido pela diferença entre o valor analógico real e o nível discreto mais próximo. O processo de quantização introduz ruído adicional no sinal.	Degradação da qualidade do sinal.	Adiciona incerteza às medições, podendo afetar decisões baseadas em pequenas variações do sinal, dificultando na análise de dados.
	Ruído de conversão	Ruído gerado pelo circuito de conversão analógico-digital.	Degradação da qualidade do sinal.	Dificuldade na análise de dados degradada pela qualidade do sinal, podendo mascarar informações sutis importantes para a tomada de decisão

	Erros de calibração	Desvios sistemáticos devido à calibração incorreta ou desatualizada do conversor analógico-digital dos sensores e conversores, afetando a precisão da conversão.	Distorção do sinal digital.	Pode levar a erros consistentes nas medições, resultando em decisões sistematicamente enviesadas e imprecisas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para mitigação dos impactos negativos decorrentes das perdas de sinal, são necessárias a implementação de técnicas de compensação como, a calibração adequada dos instrumentos de medição, a aplicação de filtragem de sinais para a redução de ruídos e a seleção criteriosa de componentes para a aplicação específica. Além disso, a adoção de um conjunto integrado dessas medidas configura-se como uma estratégia fundamental para garantir a qualidade e a integridade dos dados nas etapas de fluxo de dados e de controle, assegurando, por consequência, a confiabilidade dos sistemas em que são utilizados.

Dito isso, a confiabilidade dos dados resultantes das transduções informacionais nesses processos e apresentados nas interfaces de monitoramento, **etapa 5** da Figura 8, são importantes para a eficácia do sistema, uma vez que todos os parâmetros do motor podem ser monitorados em tempo real, possibilitando ações corretivas imediatas para garantir a integridade e segurança do sistema.

Com base nas reflexões de Walsh e Fletcher (2004), Gale *et al*. (1982), Oppenheim *et al*. (1992) e Von Moll *et al*. (2014), torna-se fundamental assegurar que todas as etapas do processo sejam executadas com o máximo de confiabilidade possível. Tais medidas são essenciais para evitar a ocorrência de eventos indesejáveis que possam comprometer a eficiência do sistema, diminuindo o risco de tomada de decisões equivocadas pelos usuários finais, como apresentado no Quadro 13.

Quadro 13 – Usuários e impactos na tomada de decisões

Usuários	**Impacto da Perda de Sinal**	**Consequências**
Tripulação (pilotos)	Informações de temperatura discrepantes entre as interfaces de monitoramento	Decisões equivocadas, aumento do risco de acidentes e perda de segurança.
Área técnica	Informações de temperatura imprecisas, com indicações intermitentes e acima dos valores preestabelecidos	Manutenção preventiva inadequada, falhas prematuras nos componentes e custos adicionais de reparo.
Gestores	Dados de temperatura imprecisos.	Decisões equivocadas sobre manutenção, redução da disponibilidade de componentes e aumento de custos operacionais.

Companhias	Informações de temperatura imprecisas e discrepantes entre os dados coletados de fontes distintas	Consumo excessivo de combustível, aumento de custos operacionais e manutenções desnecessárias.
Púbico externo	Percepção de falta de segurança e confiabilidade.	Diminuição da confiança na empresa, redução na demanda por serviços.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em última análise, o processo de conversão de dados analógicos em digitais, no contexto do fluxo de dados e do fluxo de controle, desempenha um papel fundamental na otimização da segurança, eficiência e fluidez de sistemas complexos e críticos, particularmente evidente em sistemas de comunicação aeronáutica, nos quais os avanços tecnológicos têm acelerado exponencialmente, nas últimas décadas, a transição para arquiteturas baseadas em comunicação de dados digitais.

5.1 DADOS DIGITAIS INTERLIGADOS

Apesar da evolução tecnológica existente, na aviação alguns métodos de comunicação analógica ainda são adotados, permitindo maior redundância operacional e proporcionando segurança adicional dos sistemas de comunicação em áreas remotas como, a comunicação analógica via rádio em *High Frequency* (HF) ou *Very High Frequency* (VHF), sendo utilizada, inclusive, na comunicação com os centros de controle e monitoramento de tráfego aéreo (Hering; Haufdauer, 2007).

Devido à crescente saturação do sistema de comunicação analógica, causada pelo aumento de usuários e domínios de controle, ocasionando atrasos na comunicação por determinado tempo (Ben Mahmoud; Pirovano; Larrieu, 2014), foi implementado, em 1978, um sistema de comunicação aeronáutica denominado de "*digital data link*" ou dados digitais interligados.

Em essência, o *digital data link* é "[...] usado pela comunidade da aviação civil para representar comunicações digitais entre uma aeronave e uma estação terrestre" (Ben Mahmoud; Pirovano; Larrieu, 2014, p. 3, tradução nossa), ampliando a capacidade do sistema de comunicação com maior transmissão de dados e proporcionando maior controle operacional dos sistemas de monitoramento de uma aeronave.

Para Ben Mahmoud, Pirovano e Larrieu (2014), com a implementação do sistema de dados interligados foi possível reduzir o atraso na comunicação entre

diversos setores, possibilitando o compartilhamento de dados em tempo real entre os componentes e as interfaces de monitoramento e controle, remotos do sistema.

Como exemplo, destaca-se a transmissão de dados de operação de uma aeronave para uma estação central de controle, em solo, que realiza a emissão de relatórios de desempenho dos sistemas ou de um componente, a partir do uso de protocolos específicos para a transdução informacional de dados analógico-digital.

Para Sant'Ana (2019a; 2019b; 2016), a eficiência desse processo se dá devido as dimensões de interação com o CVD, no qual há um conjunto de processos de coleta de dados, denominado *output* - saída, e um conjunto de processos de recuperação, denominado *input* - entrada, cujos dados passam por conversões em sucessivas camadas, resultando em um campo informacional da instância em análise ou domínio de uso, favorecendo os relacionamentos necessários para vinculação com outras bases a qual se pretende realizar a coleta conjuntamente.

Dessa forma, é importante destacar que:

> Tanto o fluxo de dados quanto o fluxo de controle são preocupações importantes na integração de sistemas distribuídos, [...] para acoplamento fraco, a modelagem explícita de fluxo de controle deve ser evitada no nível de integração. A modelagem do fluxo de controle é mais acoplada porque assume uma ordem exata de invocações de serviço, enquanto o fluxo de dados abstrai essa ordem, desde que as interfaces de serviço tenham suposições correspondentes em relação aos dados que precisam ser trocados. (Hasselbring; Wojcieszak; Dustdar, 2021, p. 11, tradução nossa).

Dito isso, os dados digitais não apenas sustentam infraestruturas informacionais de grande escala, como também influenciam práticas decisórias, modelagens preditivas e formas de subjetivação social (Lyons, 2004; Von Moll *et al*., 2014; Hering; Haufdauer, 2007). Assim, a compreensão sobre a criticidade de seus fluxos e transformações torna-se indispensável para o desenvolvimento de sistemas mais transparentes, equitativos e confiáveis.

Nessa perspectiva, a integração e a interação de tais tecnologias tornam-se elementos fundamentais para a compreensão dos componentes estruturantes compartilhados entre o fluxo de dados e o fluxo de controle em sistemas complexos e críticos. Além disso, constitui-se um fator relevante ao se considerar aspectos como integridade e confiabilidade dos dados e o contexto de acesso e uso de dados a serem atendidos, nos sistemas de informação.

5.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Ao analisar o processo de fluxo de dados e de fluxo de controle em sistemas complexos e críticos, a presente pesquisa buscou fomentar e ampliar as discussões sobre essa temática no campo da Ciência da Informação, uma vez que é uma área que pode ser “[...] compreendida na perspectiva de problemas ou questões que correspondem a necessidades [...] informacionais de pessoas no contexto de seus grupos e atividades” (Ortega, 2013, p. 151-152).

Considerado um campo interdisciplinar dedicado ao estudo dos processos de geração, coleta, organização, interpretação, armazenamento, recuperação, disseminação e uso de dados (Borko, 1968), a CI pode oferecer um arcabouço teórico capaz de desempenhar um papel central na compreensão das técnicas e dinâmicas de fluxos informacionais. Essa perspectiva contribui de maneira significativa para o desenvolvimento de sistemas de informação mais eficientes, seguros e democráticos, ao integrar os princípios que favorecem a gestão adequada dos dados e a otimização dos processos de controle, acesso e uso.

Para tanto, considera-se o dado um insumo essencial para a tomada de decisões, sendo considerada uma “[...] parte indissociável do processo de comunicação” (Jannuzzi; Falsarella; Sugahara, 2014, p. 96) tanto em organizações, quanto em instituições orientadas por dados.

Dessa forma, o dado deve ser entendido como,

> [...] um redutor de incertezas, um instrumento para detectar focos prioritários, levando a um planejamento responsável e à execução de ações de que condicionem a realidade às transformações necessárias, visto que o planejamento é um processo de tomada de decisões que, com base na situação atual, visa à determinação de providências a serem tomadas, objetivando atingir uma situação futura desejada. (Farias; Barbosa, 2019, p. 121).

Assim, em ambientes organizacionais e institucionais o dado pode apresentar certos níveis de “complexidade e sistematização” (Jannuzzi; Falsarella; Sugahara, 2014, p. 96), dependendo do tipo de domínio e aplicação que se pretende atender (Falsarella; Beraquet; Jannuzzi, 2003).

Nesse contexto, destaca-se a importância na “[...] transmissão de dados ou conjunto de dados através de unidades administrativas [...], organizações e profissionais, [...] para alguém que deles necessitam” (Jamil, 2001, p. 165),

possibilitando que as organizações e instituições sejam eficientes na tomada de decisões, adaptando-se rapidamente às mudanças de cenário.

Em sistemas complexos e críticos, os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle diz respeito as diretrizes e normas que regulam a movimentação e transmissão dos dados, desempenhando um importante papel na segurança, integridade e conformidade, possibilitando que os dados sejam utilizados adequadamente e que as informações resultantes atendam às necessidades informacionais demandadas.

Sob essa perspectiva, a integração eficaz entre os processos de fluxo de dados e de controle é essencial para o desenvolvimento de sistemas de informação eficientes, seguros e democráticos, viabilizando um maior conhecimento sobre o controle dos dados em sistemas com grandes fluxos, tanto nas etapas de projeto, utilização e acompanhamento, quanto das tecnologias necessárias em especial os sistemas automatizados.

Com isso,

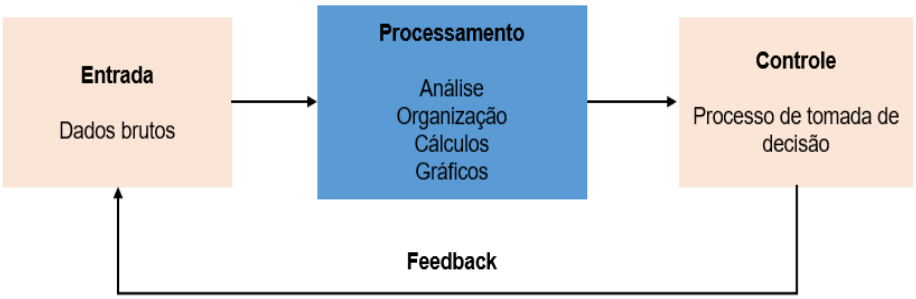
> [...] um sistema de informação (SI) pode ser definido tecnicamente como um conjunto de componentes inter-relacionados que coletam (ou recuperam), processam, armazenam e distribuem informações para apoiar a tomada de decisões, a coordenação e o controle em uma organização. (Laudon; Laudon, 2013, p. 13, tradução nossa).

A partir desse pressuposto, observa-se que os dados resultantes dos processos transformativos foram moldados em uma forma significativa e útil, constituindo-se de fluxos de fatos brutos que representam eventos que ocorrem em ambientes específicos, antes de serem organizados em uma estrutura compreensível por humanos e gerenciados por sistemas de informação (Laudon; Laudon, 2013).

Contudo, a adoção de um modelo de SI específico depende dos requisitos predefinidos no desenvolvimento da estrutura informacional e do domínio de aplicação dos dados, planejados no plano de negócio das organizações e instituições (Falsarella; Beraquet; Jannuzzi, 2003; Laudon; Laudon, 2013).

Na Figura 12, apresenta-se um modelo de SI desenvolvido por Laudon e Laudon (2013), destacando as funções primárias de um sistema de informação em um contexto organizacional.

Figura 12 – Funções de um sistema de informação



Fonte: Adaptado de Laudon e Laudon (2013, p. 14).

Segundo Laudon e Laudon (2013), para o desenvolvimento de uma estrutura de sistema de informação é necessário considerar fatores como o ambiente de uso e as demandas que se pretende atender. Além disso, é fundamental observar que outros usuários na cadeia de compartilhamento podem ter acesso aos dados para tomada de decisões em suas respectivas áreas, incluindo usuários internos e externos que interagem com a organização e seus sistemas de informação.

Para assegurar a confiabilidade e a qualidade dos processos, um SI eficiente deve desenvolver três atividades basilares na produção das informações que as organizações demandam para a tomada de decisões, que são: o controle de operações, a análise de problemas de forma assertiva e a criação de novos produtos ou serviços (Laudon; Laudon, 2013).

Laudon e Laudon (2013) destacam que, tais atividades são constituídas pela entrada, o processamento e a saída. Na entrada, os dados brutos podem ser coletados tanto no ambiente interno, quanto externo à organização ou instituição e são essenciais para compor um banco de dados robusto e variável, podendo os dados serem estruturados ou não estruturados; no processamento, os dados coletados passam pelo processo de transdução informacional, sendo convertidos em um formato significativo e aplicável de uso, aumentando a segurança, qualidade e confiabilidade.

Já na saída, os dados resultantes das transduções são disponibilizados para os usuários, atendendo suas demandas ou para as áreas cujas atividades estão relacionadas e dependem dos mesmos recursos informacionais (Laudon; Laudon, 2013).

Ressalta-se que, similarmente aos processos de fluxo de dados e de controle os sistemas de informação também requerem um *feedback* da operação,

sendo que na saída os dados podem retornar “[...] aos membros apropriados da organização para avaliar ou corrigir o estágio de entrada” (Laudon; Laudon, 2013, p. 13, tradução nossa), mantendo a acurácia e qualidade, sobretudo em sistemas automatizados, como apresentado na Figura 12.

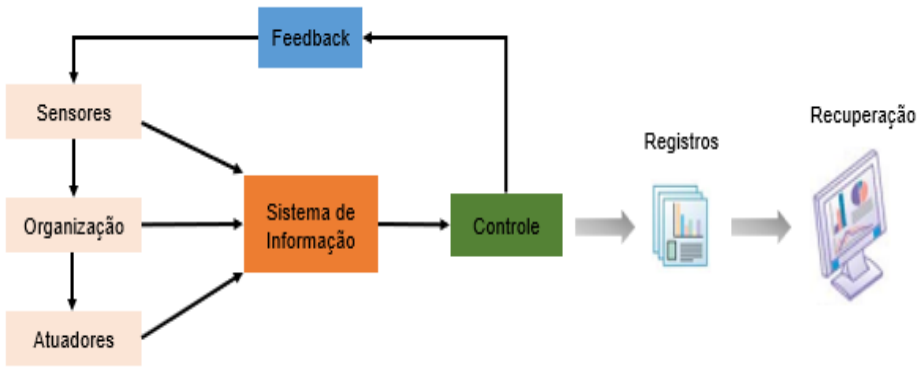
No contexto da aviação, os sistemas de informação automatizados são sistemas de gerenciamento essenciais para a segurança e controle tanto de sistemas operacionais que requerem ações imediatas, quanto para o controle do tráfego aéreo, comunicação e navegação das aeronaves.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um SI eficiente para sistemas complexos e críticos constitui-se um desafio contínuo uma vez que, a representação, a análise e a recuperação de dados deve ser a mais qualitativa possível, garantindo a acessibilidade dos dados em tempo real e assegurando uma comunicação contínua através de um modelo de *feedback* eficaz para os processos transformativos dos diversos tipos de dados processados em um SI.

Para Mozdzanowska, Weibel e Hansman (2008), o uso das tecnologias de informação e comunicação terão maior impacto na comunicação, navegação e no controle de sistemas importantes para segurança operacional, uma vez que o uso das TIC em escala global requer novos modelos de estrutura informacional que possibilite maior segurança e confiabilidade dos dados, desde a coleta à recuperação.

Nesse cenário, é apresentado na Figura 13 um diagrama de um SI representando as diversas fontes de dados que alimentam o sistema de informação, cuja dinâmica do processo é alimentada pelo *feedback* contínuo para melhoria dos dados que irão resultar em informações consistentes, precisas e de qualidade, para a tomada de decisões no escopo proposta na pesquisa.

Figura 13 - Sistema de informação



Fonte: Adaptado de Laudon e Laudon (2013).

Considerando o controle de sistemas mecânicos de uma aeronave, os dados coletados dos sensores e atuadores, Figura 13, podem ser armazenados no SI para monitoramento e análise das indicações de desempenho, por exemplo, das superfícies de comandos de voo, do tempo de atuação, da posição dos controles de potência do motor, da velocidade da aeronave e da temperatura dos gases de exaustão, dentre outros.

Além disso, os dados armazenados nos repositórios da organização, correspondente ao domínio de uso, podem ser utilizados para refinar as análises dos conjuntos de dados provenientes de outras fontes, melhorando a confiabilidade dos indicadores.

Nesse processo, o comportamento do sistema é continuamente monitorado, através do *feedback*, identificando condições discrepantes e divergentes dos requisitos previstos que possam comprometer a segurança, cujas correções são realizadas por sistemas automatizados, mantendo o desempenho nos níveis preestabelecidos em todas as etapas do fluxo de dados e de controle.

Nessa perspectiva, espera-se que a abordagem realizada sobre os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle e seus processos, possa contribuir para o fortalecimento da democratização do acesso e uso dos dados necessários e urgentes para lidar com cenários futuros, mutáveis e incertos, favorecendo a construção de percepções, opiniões e tomada de decisões mais assertivas, além de auxiliar na comunicação e interação entre os diversos atores e setores envolvidos no processo como todo (Dekker, 2011; Rodrigues; Sant’Ana, 2019).

Ademais, que possa contribuir na identificação de tendências e riscos potenciais de eventos inseguros, permitindo a adoção de medidas preventivas e corretivas e, a melhoria contínua da segurança operacional dos sistemas de uma aeronave, a partir dos dados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Ciência da Informação, em sua essência, dedica-se à compreensão da natureza dos dados e dos processos que envolvem sua criação, organização, disseminação e uso, abrangendo desde a forma de acesso e processamento, passando pela geração de informações que subsidiam diferentes contextos de aplicação, até as estratégias adotadas pelas organizações para a gestão de seus ativos informacionais e de conhecimento, com vistas ao apoio à tomada de decisão.

Com o advento da era digital e a proliferação das tecnologias da informação e comunicação, intensificou-se significativamente a produção e a circulação de conteúdos informacionais nos mais diversos formatos e contextos. Diante desse cenário, a Ciência da Informação tem se dedicado à construção de um arcabouço teórico voltado ao desenvolvimento de métodos, modelos e técnicas para a representação, coleta, armazenamento, recuperação, acesso e uso de dados, refletindo um esforço contínuo na adaptação às demandas de uma sociedade cada vez mais complexa, interconectada e orientada por dados.

Nesse contexto, destacam-se os modelos de fluxo de dados e de fluxo de controle, cujos processos são dinamicamente regulados por mecanismos de *feedback* que asseguram a continuidade e a estabilidade dos fluxos informacionais. Tais mecanismos constituem elementos essenciais para a autorregulação da capacidade de coleta e processamento de dados em ambientes complexos e críticos, viabilizando o controle das etapas operacionais e garantindo que o tratamento dos dados ocorra de forma sequencial, coerente e segura até sua disponibilização nos sistemas de informação.

Observou-se, ainda, que o controle de sistemas dinâmicos pode ser viabilizado por meio da transmissão de dados através de sinais codificados em diferentes formas de energia como sinais elétricos, químicos ou eletromagnéticos, os quais possibilitam a transferência de dados tanto no interior de um único sistema quanto entre sistemas distintos integrados em uma mesma estrutura, sendo fundamental para a articulação entre subsistemas e para a manutenção da coesão operacional em contextos caracterizados por alta complexidade e interdependência.

Dessa forma, os modelos de fluxo de dados podem ser compreendidos como técnicas de modelagem que descrevem o percurso dos dados dentro de um

sistema, evidenciando como são processados, transformados e transferidos entre os diversos componentes computacionais, ao longo de múltiplas camadas de abstração.

Já no fluxo de controle, as operações de transdução informacional aplicadas aos dados de entrada viabilizam o gerenciamento lógico da execução e o sequenciamento adequado das funções do sistema, garantindo que as instruções sejam acionadas de maneira ordenada e contextualizada, resultando na geração de dados específicos e alinhados às exigências de determinado ambiente de uso.

Destaca-se nesse contexto, o processo de transdução informacional na estrutura e formato dos dados, envolvendo transformações que ocorrem em diferentes níveis da realidade, abrangendo dimensões naturais, culturais e tecnológicas. Bem como, o papel integrador da estrutura do CVD para o planejamento prévio dos dados a serem coletados, de modo a atender as demandas especificas e contribuindo para a redução da assimetria informacional que se manifesta entre aqueles que detêm os dados, daqueles que deles necessitam.

Essa perspectiva é fundamental para a compreensão dos elementos estruturantes relacionados ao acesso e uso dos dados, incluindo os atores envolvidos e as tecnologias necessárias para viabilizar uma integração mais eficiente entre as diversas fontes de dados.

Dessa forma, ao relacionar a interação e integração dos modelos estudados com sistemas complexos e críticos, considera-se que a margem de erro da máquina trona-se significativamente inferior à margem de erro humano, uma vez que o fluxo de controle desempenha um papel essencial nos processos automatizados, cujo encapsulamento da complexidade dos sistemas objetiva substituir o papel humano nas ações consideradas de alto risco.

Tal percepção é relevante para o estabelecimento de relações possíveis no desenvolvimento de sistemas bem definidos. Além disso, considerando-se o fator de integração dos dados e a vinculação necessária entre os diversos atores e as diversas fontes de dados consultadas, uma vez que os diagramas de fluxo de dados e de controle podem ser usados para modelar tanto sistemas automatizados e informatizados, quanto sistemas onde não há componentes computadorizados.

Ademais, observou-se que a eficiência do processo de transdução informacional resulta da sincronização eficaz dos mecanismos de *feedback* no processo, possibilitando que os prováveis desvios ou ruídos na transmissão dos

dados sejam ajustados ao longo do percurso e que os dados sejam ordenados de forma sequenciada para fornecer indicações confiáveis, garantindo assim, uma operação estável e segura em toda etapa de operação e em todas as condições de estado do sistema.

No que diz respeito ao desenvolvimento de sistemas de informação integrados à aplicação dos modelos de fluxo de dados e fluxo de controle, sob a perspectiva da CI, considera-se um desafio cada vez crescente ao lidar com a complexidade de sistemas complexos e críticos como os da aviação, que exigem modelos de fluxo dinâmicos e integrados com os diversos atores do sistema, garantido a precisão, a qualidade, a segurança e a confiabilidade dos dados para a tomada de decisões.

No entanto, do ponto de vista do conhecimento, quanto maior a coleta de dados maior será a acurácia das informações, uma vez que a redundância dos dados amplia o campo de análise e auxilia na identificação de potenciais riscos e na implementação de medidas para garantir o uso responsável e ético, promovendo a segurança e a garantia da democratização de acesso e uso dos dados.

Assim, as implicações práticas desta pesquisa para a área da CI podem contribuir, inclusive, para o desenvolvimento de sistemas de informação mais eficientes, favorecendo a segurança da informação e a garantia de uma maior democratização na acessibilidade aos dados.

Nessa perspectiva, espera-se que esta pesquisa possa fomentar novas pesquisas na área sobre a temática de fluxo de dados e de fluxo de controle e seus processos, promovendo a colaboração entre pesquisadores, profissionais da informação e diferentes áreas como Computação e Engenharia, algo essencial para transpor os desafios e aproveitar as oportunidades apresentadas pela era digital, explicitando quais os atores e processos envolvidos no caminho percorrido pelos dados que impactam diretamente no controle, seu acesso e uso.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Os conceitos de fluxo de dados e de fluxo de controle são fundamentais para o desenvolvimento e aprimoramento de sistemas complexos e críticos, especialmente em ambientes dinâmicos como a aviação. Com isso, à medida que as

tecnologias avançam e os sistemas se tornam mais sofisticados, surgem novas oportunidades de pesquisa e desenvolvimento.

Nesse sentido, constatou-se a necessidade de estudos futuros que aprofundem os conceitos de entropia informacional, a fim de compreender de que maneira o fluxo de dados e de controle pode ser melhor aproveitado em tais sistemas. Tal fato, torna-se especialmente relevante considerando que ao longo do percurso dos dados, podem ocorrer perdas de sinais durante as transduções informacionais, comprometendo a tomada de decisões e gerando sérias implicações de segurança para a operação.

Além disso, destaca-se a importância da confiabilidade e qualidade das tecnologias como sensores, que coletam grandes conjuntos de dados para o controle e monitoramento dos mais diversos parâmetros operacionais, no qual o campo da Ciência da Informação busca construir pontes a partir da disponibilização de seu corpus teórico para o desenvolvimento de técnicas de gestão de dados mais integradas com as etapas e fatores que permeia o ciclo de vida dos dados.

Assim, busca-se explorar com maior profundidade a relação entre os modelos de fluxo de dados e fluxo de controle e o usuário final, cujos questionamentos podem estar relacionados:

- Como o usuário se beneficia de um fluxo de dados mais eficiente?
- Quais são os desafios para garantir a usabilidade, a acessibilidade e a interpretabilidade das informações geradas pelos sistemas?

No âmbito da gestão dos dados, outros questionamentos podem ser levantados a partir da etapa de recuperação e aprofundados no âmbito do fluxo de dados e de controle, considerando quais alertas deveriam ser mais eficientes em situações limítrofes de operação? Os dados estão sendo disponibilizados adequadamente? É possível nas indicações críticas de temperatura, umidade e pressão de ar possuir confirmação de monitoramento, minimizando riscos de eventos catastróficos? O processo de fluxo de dados e de controle estão sendo eficientes e integrados com sistemas considerados de alta criticidade nos sistemas de um avião?

Por fim, ressalta-se que em sistemas complexos e críticos como a aviação a segurança e eficiência são primordiais, cujos meios de coleta e recuperação de grandes conjuntos de dados e informações devem ter um alto nível de confiabilidade, integrando conhecimentos de áreas como Engenharia, Ciência da Computação,

Matemática e Ciência da Informação, para lidar com a complexidade dos sistemas aéreos e garantir que eles continuem seguros e eficientes frente aos desafios crescentes, como: Integração de Sistemas Avançados de Gerenciamento de Tráfego Aéreo; Sistemas de Auxílio à Decisão; Inteligência Artificial para Previsão e Gerenciamento de Falhas, entre outras.

REFERÊNCIAS

ABADI, M. *et al*. Control-flow integrity principles, implementations, and applications. **ACM Transactions on Information and System Security**, v. 13, n. 1, p. 1-40, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1145/1609956.1609960. Acesso em: 15 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL - ANAC. **INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR** – IS: IS No 00-010, Rev. A. 2020. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is. Acesso em: 25 fev. 2023.

ALLEN, F. E. Control flow analysis. **IBM Corporation**, 1970.

AMARAL, F. **Introdução à ciência de dados**: mineração de dados e big data. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.
Anais eletrônicos. Maui, 2013. p. 995-1004. Disponível em: https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/hicss/2013/4892a995/12OmNx4gUvm. Acesso em: 22 abr. 2020.

APPEL, A. P. **Uma linguagem visual de consulta a banco de dados utilizando o paradigma de fluxo de dados**. 2003. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, ICMC, USP, São Carlos, 2003.

ARAR, S. **An introduction to digital signal processing**, 2021.

ARVIND, D; CULLER, D. E. Dataflow architectures. **Rev. Comput. Sci**, v. 1, p. 225-253, 1986.

ASHBY, W. R. **An introduction to cybernetics**. Londres, Chapman & Hall Ltd, 1957.

ÅSTRÖM, K. J.; MURRAY, R. M. **Feedback Systems An Introduction for Scientists and Engineers.** New Jersey: Princeton University Press, 2021.

AVIZIENIS, A. *et al*. Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. In: **IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing**, v. 1, n. 1, p. 11-33, jan. mar. 2004. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1335465. Acesso em: 28 jan. 2025.

BECK, M.; JOHNSON, R.; PINGALI, K. From control flow to Dataflow. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 12, n. 2, p. 118-129, 1991. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0743-7315(91)90016-3. Acesso em: 17 nov. 2023.

BECK, U. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra sociedade. Tradução de Sebastião Nascimento. São Paulo: Ed. 34, 2010, 384 p.

BEN MAHMOUD, M. S.; PIROVANO, A.; LARRIEU, N. Aeronautical communication transition from analog to digital data: A network security survey. **Computer Science Review**, v. 11, n. 12, p. 1-29, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2014.02.001. Acesso em: 26 jun. 2024.

BILSEN, G. *et al*. (1996). Cycle-static dataflow. **IEEE Transactions on Signal Processing**, v. 44, n. 2, p. 397-408, feb. 1996. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/485935. Acesso em: 22 set. 2023.

BORKO, H. Information Science: what is it? **American Documentation, Washington**, v. 19, p. 3-5, 1968.

BROWN, B.; CHUI, M.; MANYIKA, J. Are you ready for the era of ‘big data’? **McKinsey Quarterly**. 2011.

BUTT, A. S.; FITCH, P. A provenance model for control-flow driven scientific workflows. **Data & Knowledge Engineering / ScienceDirect**, p. 131-132, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.datak.2021.101877. Acesso em: 21 nov. 2023.

CABRAL, L.; NORTON, B.; DOMINGUE, J. The business process modelling ontology. In: **Proceedings of the 4th International Workshop on Semantic Business Process Management**, ACM, 2009, p. 9-16.

CAPURRO, R. Epistemologia e Ciência da informação. In: V Encontro nacional de pesquisa em ciência da informação, 5., Belo Horizonte, 2003. **Anais eletrônicos...**. Belo Horizonte: Escola de Ciência da Informação da UFMG, 2003. Disponível em: http://www.capurro.de/enancib_p.htm. Acesso em: 05 maio 2017.

CAPURRO, R.; HJORLAND, B. O conceito de informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 12, n. 1, p. 148-207, jan./abr. 2007.

CHIESA, S.; FIORITI, M.; VIOLA, N. **Methodology for an Integrated Definition of a System and Its Subsystems**: The Case-Study of an Airplane and Its Subsystems. 2012. Disponível em: https://www.semanticscholar.org/paper/Methodology-for-an-Integrated-Definition-of-a-and-Chiesa-Fioriti/12d588afb445f04ccaf555000690996fabe6e95b. Acesso em: 31 dez. 2024.

CHINOSI, M.; TROMBETTA, A. BPMN: An introduction to the standard. **Elsevier Computer Standards & Interfaces**, v. 34, n. 1, p. 124-134, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.csi.2011.06.002. Acesso em: 20 nov. 2023.

CHONG, CHEE-YEE.; KUMAR, S. P. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. **Proceedings of the IEEE**, v. 91, n. 8, p. 1247-1256, 2023. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/1219475. Acesso em: 20 jan. 2024. **científica**. 5. ed.-São Paulo: Atlas, 2003.

COHEN, H.; ROGERS, G. F. C.; SARAVANAMUTTOO, H. I. H. **Gas turbine theory.** USA, Harlow: Longman Group, 1987.

CONCEIÇÃO, B. C da; PAZ, M. P. da. O impacto da qualidade da informação na gestão de projetos nas organizações. **RPA - Revista Pesquisa em Administração UFPE**, v. 3, n. 2, p.20-39, jul/dez. 2019. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rpa/article/view/243327/34960. Acesso em: 20 jun. 2020.

CONEGLIAN, C. S.; SANTAREM SEGUNDO, J. E.; SANT'ANA, R. C. G.: Big data: fatores potencialmente discriminatórios em análise de dados. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 23, n. 1, p. 62-86, 2017. Disponível em: https://seer.ufrgs.br/index.php/EmQuestao/article/view/62122. Acesso em: 10 jan. 2024.

CORNING, P. A. **Control information**: The missing element in Norbert Wiener's cybernetic paradigm?", Kybernetes, v. 30, n. 9/10, p. 1272-1288, 2001. Disponível em: https://doi-org.ez87.periodicos.capes.gov.br/10.1108/EUM0000000006552. Acesso em: 22 maio 2024.

CUNHA, M.B.; CAVALCANTI, C. R. O. **Dicionário de Biblioteconomia e Arquivologia**. Brasília, DF: Briquet de Lemos/Livros, 2008.

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de bancos de dados**. São Paulo: Grupo GEN, 2004.

DAVENPORT, T. H. **Big Data at work**: dispelling the myths, uncovering, 2014.

DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Ecologia da informação**: por que só a tecnologia não basta para o sucesso na era da informação. São Paulo: Futura, 1998.

DAVIS, A. L; KELLER, R. M. Data flow program graphs. **IEEE Comput**, v. 15, n. 2, p. 26-41, 1982.

DEKKER, S. Drift into Failure From Hunting Broken Components to Understanding Complex Systems. In: **CRC Taylor & Francis**. Boca Raton – USA, 2011.

DELEUZE, G; F. GUATTARI. **A Thousand Plateaus Capitalism and Schizophrenia**. Minneapolis: University of Minnesota Press. 1988.

DIVÁN, M. J.; OLSINA, L. Enfoque Integrado para el Procesamiento de Flujos de Datos: Un Escenario de Uso. In: **CIbSE**. 2009. p. 374-387. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/221561444. Acesso em: 19 set. 2023.

DONEDA, D. **Da privacidade à proteção de dados pessoais**. 3. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2021.

EMBRAPA. **Consumo e produção responsáveis**: contribuições da Embrapa. 2018. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094845/consumo-e-producao-responsaveis-contribuicoes-da-embrapa. Acesso em: 15 jun. 2024.

FALSARELLA, O.M.; BERAQUET, V.S.M.; JANNUZZI, C.A.S.C. Informação empresarial: dos sistemas Transacionais à Latência Zero. **Transinformação**, Campinas, número especial, p. 141-156, 2003.

FARIAS, E. F.; BARBOSA, A. P. A gestão do conhecimento e os sistemas de informação em um ambulatório de saúde de uma instituição judiciária federal. EM: MACHADO, M. W. K. [org.]. **Information Systems and Technology**. Ponta Grossa (PR): Atena, 2019, p, 117-133.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - FAA. **Aviation Maintenance Technician Handbook -** FAA-H-8083-32-AMT **-** Powerplant, 2018.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION - FAA. **Aviation Maintenance Technician Handbook -** FAA-H-8083-32B-AMT **-** Powerplant, 2023. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation. Acesso em 02 nov. 2024.

FRANKLIN, G. F.; POWELL, J. D.; EMAMI-NAEINI, A. **Feedback control pf dynamic systems**. USA: Pearson, 2009.

GALE, C. I. *et al*. Thermocouples and TIT. **Lockheed Service News**, v. 9, n. 3, july, 1982.

GANDOMI, A.; HAIDER, M. Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. **International Journal of Information Management**, v. 35, n. 2, p. 137–144, 2015. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007. Acesso em: 1 maio 2020.

GONDIM, L. M. P.; LIMA, J. C. **A pesquisa como artesanato intelectual**: considerações sobre método e bom senso. São Carlos: EdUFSCar, 2006.

GUSTAFSON, D. A. **Control flow, data flow & data independence**. 1981.

HAMMERSLEY, M. Reflections on the Methodological Approach of Systematic Reviews. In: Zawacki-Richter, O., Kerres, M., Bedenlier, S., Bond, M., Buntins, K. (eds) Systematic Reviews in Educational Research. **Springer VS, Wiesbaden**, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_2. Acesso em: 05 jan. 2024.

HAMMERSLEY, M. Translating research findings into educational policy or practice: the virtues and vices of a metaphor. **Nouveaux c@hiers de la recherche en éducation**, v. 17, n. 1, p. 54-74, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.7202/1027321ar. Acesso em: 05 jan. 2024.

HANSEN, A. S.; O'SHEA, E. K. Limits on information transduction through amplitude and frequency regulation of transcription factor activity, 2015. **eLife**. Disponível em: https://doi.org/10.7554/eLife.06559. Acesso em: 15 fev. 2024.

HASSELBRING, W.; WOJCIESZAK, M; DUSTDAR, S. Control Flow versus Data Flow in Distributed Systems Integration: Revival of Flow-Based Programming for the

Industrial Internet of Things. **IEEE Internet Computing**, v. 25, n. 4, p. 5-12, july/aug. 2021. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9514390. Acesso em: 14 jul. 2023.

HERING, H.; HOFBAUER, K. **Towards Selective Addressing of Aircraft with Voice Radio Watermarks**. 7th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference (ATIO), Belfast, Northern Ireland, 2007.

HEY, T.; TANSLEY, S.; TOLLE, K. **O quarto paradigma: descobertas cientificas na era da eScience**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2011.

HOHPE, G. **Control flow**: the other half of integration patterns, 2024. Disponível em: https://www.enterpriseintegrationpatterns.com/ramblings/queues_control_flow.html. Acesso em: 02 ago. 2024.

JAMIL, G. L. **Repensando a TI na empresa moderna**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2001.

JANNUZZI, C. A.; FALSARELLA, O. M.; SUGAHARA, C. R. Sistema de informação: um entendimento conceitual para a sua aplicação nas organizações empresariais. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.19, n. 4, p. 94-117, out./dez. 2014.

JOHNSTON, W. M.; HANNA, J. R. P.; MILLAR, R. J. Advances in dataflow programming languages. **ACM Computing Surveys**, v. 36, n. 1, p. 1-34, 2004. Disponível em: https://dl.acm.org/doi/10.1145/1013208.1013209. Acesso em: 14 set. 2023.

KAISLER, S. *et al.* Big Data: Issues and Challenges Moving Forward. In: XLVI HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, Maui, 2013. **Anais eletrônicos...**Maui, 2013. p. 995-1004. Disponível em: https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/hicss/2013/4892a995/12OmNx4gUvm. Acesso em: 22 abr. 2020.

KERNIGHAN, B. W.; RITCHIE, D. M. **The C programming Language**. Prentice Hall Software Series, 1988.

KIEPUSZEWSKI, B., TER HOFSTEDE, A. H. M.; VAN DER AALST, W. M. P. Fundamentals of control flow in workflows. **Acta Informatica, v. 39**, n. 3, p. 143-209, 2003. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00236-002-0105-4. Acesso em: 20 abr. 2024.

KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. **Keele,** 2004.

LAM, M. S.; WILSON, R. P. Limits of control flow on parallelism. **ACM SIGARCH Computer Architecture News**, v. 20, n. 2, p. 46-57, 1992. Disponível em: https://doi.org/10.1145/146628.139702. Acesso em 10 set. 2023.

LANEY, D. Application Delivery Strategies. **META Group**, 2001. Disponível em: https://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf. Acesso em: 01 maio 2020.

LANKSHEAR, C.; KNOBEL, M. **Pesquisa pedagógica**: do projeto à implementação. Porto Alegre: Artmed, 2008.

LAUDON, K.; LAUDON, J. **Essentials of Management Information Systems**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2013.

LE COADIC, Y. F. **A ciência da informação**. 2. ed. Brasília: Briquet de Lemos, 2004.

LEE, E. A.; PARKS, T. M. Dataflow process networks. **Proceedings of the IEEE,** v. 83, n. 5, p. 773-801, maio 1995. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/381846. Acesso em: 23 set. 2023.

LEVESON, N. G. **Engineering a safer world**: systems thinking applied to safety. USA: Massachusetts Institute of Technology, 2011.

LI, Q.; CHEN, Y. L. Data Flow Diagram. *In*: **Modeling and Analysis of Enterprise and Information Systems**. 2009. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89556-5_4. Acesso em: 01 dez. 2023.

LISKOV, B. Specification Techniques for Data Abstractions. **Proceedings of the international conference on Reliable software**, p. 72-87, 1975. Disponível em: https://doi.org/10.1145/800027.808426. Acesso em: 06 dez. 2023.

LUCERO, J. N. E. **Energy and Information Transduction In Strongly-Coupled Systems**. Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Hons. Bachelor of Science in the Department of Physics Faculty of Science. SIMON FRASER UNIVERSITY, 2019.

LYONS, R. G. **Understanding digital signal processing**. 2 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2004.

MACKENZIE, A. **Transductions**: bodies and machines at speed. London; New York: Continuum, 2002.

MARCHIONINI, G. Information Science Roles in the Emerging Field of Data Science, 2017. **Journal of Data and Information Science**, n. 1, p. 1-6. Disponível em: https://sciendo.com/article/10.20309/jdis.201609. Acesso em: 24 jul. 2021.

MARCONI, M de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia**, 2003.

MARTINS, P. G. M.; ALENCAR, D. F.; SANT'ANA, R. C. G. Visualização de dados: a autonomia do usuário na construção de gráficos. Em: MOREIRA, Fabio Moreira *et al* [org.]. **Acesso a Dados e a Ciência da Informação**: aplicação, tendências e reflexões [em linha]. Tupã: Faculdade de Ciências e Engenharia UNESP – Campus de Tupã, p. 95-109, 2022. Disponível em: https://dadosabertos.info/events/dti/4dti.pdf. Acesso em: 05 jan. 2023.

MCGEE, J. V.; PRUSAK, L. **Gerenciamento estratégico da informação**: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica. 12. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

MILLAN NAVEAS, G.; VARGAS GUZMAN, M. Un algoritmo de control de flujo para redes de computadoras de alta velocidad. **Ingeniare. Rev. chil. ing.**, Arica, v. 28, n. 1, p. 24-30, mar. 2020. Disponível em: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000100024&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 20 maio 2024. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000100024.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. *In*: DRESCH, Aline; LACERDA, D. P.; ANTUNES JR, J. A. V. **Design sciencie research**: método e pesquisa para avanço da ciência e da tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MORRISON, J. P. **Flow-Based Programming**: A New Approach to Application Development. 1. ed. Van Nostrand Reinhold: New York, NY, 1994.

MORRISON, J. P. **Flow-Based Programming**: A New Approach to Application Development. 2. ed. J.P. Morrison Enterprises, Ltd, 2010.

MORRISON, J. P. **The origins of Flow Based Programming**. 2016. https://www.youtube.com/watch?v=up2yhNTsaDs

MOZDZANOWSKA, A. L.; WEIBEL, R. E.; HANSMAN, R.J. Feedback Model of Air Transportation System Change: Implementation Challenges for Aviation Information Systems. **Proceedings of the IEEE**, v. 96, n. 12, p. 1976-1991, 2008. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/4745658. Acesso em: 20 jun. 2024.

MURRAY, D. G *et al*. Naiad: a timely dataflow system. In Proceedings of the Twenty-Fourth ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP '13). **Association for Computing Machinery**, New York, NY, USA, p. 439-455, 2013. Disponível em: https://dl.acm.org/doi/10.1145/2517349.2522738. Acesso em: 22 set. 2023.

OH, N.; SHIRVANI, P. P.; MCCLUSKEY, E. J. Control-flow checking by software signatures. 2002. In: **IEEE Transactions on Reliability**, v. 51, n. 1, mar. 2002. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/994926. Acesso em: 07 maio 2024.

OPPENHEIM, A. V.; SCHAFER, R. W.; BUCK, J. R. **Discrete-time signal processing**. 2 ed. New Jersey; Prentice-Hall, 1998.

OPPENHEIM, A. V.; WORNELL, G. W.; ISABELLE, S. H.; CUOMO, K. M. Signal processing in the context of chaotic signals. [Proceedings] ICASSP-92. **IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing**. San Francisco, CA, USA, v. 4, p. 117-120, 1992. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/226472. Acesso em: 25 maio 2024.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 15 jun. 2024.

ORTEGA, C. D. **Ciência da Informação**: do objetivo ao objeto. *In*: El objeto de estúdio de la Bibliotecología/Documentacón/Ciencia de la Información: propuestas, discusión, análisis y elementos comunes. México, 2013, p. 151 – 171. Disponível em: http://132.248.242.6/~publica/descarga.php?file=./archivos/libros/objeto_estudio_bibliotecologia_documentacion_ciencia_informacion.pdf. Acesso em: 26 out. 2016.

PADOVANI, J. H. Acerca da transdução: princípios técnicos, aspectos teóricos e desdobramentos. **XXIV Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Música** - São Paulo, 2014.

PERROW, C. **Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies.** Princeton University Press, 1999.

PFOHL, S. O delírio cibernético de Norbert Wiener. **Revista Famecos**. Porto Alegre, n. 15, p. 105-121, 2001.

PORÉM, M. E.; SANTOS, V. C. B.; BELLUZO, R. C. B. Vantagem competitiva nas empresas contemporâneas: a informação e a inteligência competitiva na tomada de decisões estratégicas. **UFRGS, Online**, v, 27, p. 183-199, 2012.

PUTRA, D. A.; NASUTION, S. M.; AZMI, F. Analysis of flight data recorder compression reliability for airplane on demand blackbox data transmission. **International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications** (ICCREC), 2017

RAMALHO, R. A. S.; SUAVE, A. L.; MARTINS, P. G. M. Inovação em unidades de informação: uma proposta interdisciplinar para arquivistas, bibliotecários e museólogos. In: CERVEIRA, E.; DUARTE, Z. (Orgs) **Integração e convergência das instituições de informação e cultura**. CITCEM: Porto, 2024. p. 59-69. eISBN: 978-989-8970-70-1. DOI: https://doi.org/10.21747/978-989-8970-70-1/int.

RID, T. **Rise of the machines: A cybernetic history**. WW Norton & Company, 2016.

RODRIGUES, F. A.; SANTANA, R. C. G. . Uso de Modelos de Dados Multidimensionais para a ampliação da Transparência Ativa. **Liinc em Revista**, v.9, n.2, p. 469-487, 2013. Disponível em: http://www.ibict.br/liinc. Acesso em: 20 out. 2023.

RODRIGUES, F.A.; SANT'ANA, R.C.G. Ficção Científica e Realidade da Coleta de Dados em Redes Sociais Online: análise de um episódio do seriado Black Mirror. *In*: MORAES, J.A.; RODRIGUES, F.A.; PANTALEÃO, N.C.A. (Orgs) **Tecnologias e sociedade**: discussões contemporâneas. FiloCzar: São Paulo, 2019. p. 67-84. ISBN: 978-85-66249-41-5.

RUAS, W. J.; BAX, M. P. Relações entre fluxo de informação e comportamento informacional de usuários em organizações formais: uma revisão sistemática de literatura. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, SP, v. 18, n. 00, p. e020014, 2020. DOI: 10.20396/rdbci.v18i0.8657980. Disponível em: https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rdbci/article/view/8657980. Acesso em: 22 ago. 2024.

RUSSELL, N. C. *et al*. Workflow control-flow patterns: a revised view. **BPM reports**, v. 06, n. 22, 2006. Disponível em: https://research.tue.nl/en/publications/workflow-control-flow-patterns-a-revised-view. Acesso em: 14 set. 2023.

RUYER, R. **Cybernetics and the origin of information**. New York: Rowman & Littlefield, 2023.

SANT'ANA, R. C. G. Ciclo de vida dos dados: uma perspectiva a partir da ciência da informação. **Informação & Informação,** [em linha], v. 21, n. 2, p. 116-142, 2016. Disponível em: http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/27940. Acesso em: 26 mar. 2021.

SANT'ANA, R. C. G. A transdução nos processos de mediação e a informação biodisponível. *In*: SMIT, Johanna Wilhelmina, GUIMARAES, José Augusto Chaves, SEGUNDO, J. E.S., ROLLO, M. F., SANT'ANA, R. C. G. e HADI, W. M. E. **Humanidades digitais, big data e pesquisa científica.** 1. ed. São Paulo: Fundação Fernando Henrique Cardoso (FFHC) [em linha]. 2021a. v. 1. 156p. Disponível em: https://fundacaofhc.org.br. Acesso em: 01 jun. 2022.

SANT'ANA, R. C. G. Campo Informacional Resultante da Interação de Ciclos de Vida dos Dados. Em: DIAS, G. A., OLIVEIRA, B. M. J. F. de, (Orgs). **Dados Científicos: perspectivas e desafios**. Editora UFPB - João Pessoa, p. 5-19, 2019b.

SANT'ANA, R. C. G. Ciclo de vida dos dados e o papel da ciência da informação. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO**, v. 14, 2013. Apresentações. Florianópolis: UFSC, 2013.

SANT'ANA, R. C. G. Diagrama estrutural para teses e dissertações: uma proposta didática. In: MOREIRA, F. M. *et al*. (orgs). **Acesso a Dados e a Ciência da Informação: aplicação, tendências e reflexões**. Tupã: Faculdade de Ciências e Engenharia UNESP – Campus de Tupã, 2022. p. 330-345. Disponível em: https://dadosabertos.info/events/dti/4dti.pdf. Acesso em: 10 jan. 2024.

SANT'ANA, R. C. G. Interoperabilidade de dados e a transdução informacional encapsulada no acesso a dados. Em: SALES, Luana Farias, VEIGA, Viviane Santos de Oliveira, HENNING, Patrícia e SAYÃO, Luís Fernando (Org.). **Princípios FAIR aplicados à gestão de dados de pesquisa**. Rio de Janeiro: Ibict [em linha], p. 147-156, 2021b. Disponível em: https://ridi.ibict.br/bitstream/123456789/1182/2/IBICT_Principios%20FAIR%20aplicados%20a%20gest%C3%A3o%20de%20dados%20de%20pesquisa_2021.pdf. Acesso em: 26 mar. 2022.

SANT'ANA, R. C. G. Transdução informacional: impactos do controle sobre os dados. Em: MARTÍNEZ-ÁVILA, Daniel, SOUZA, Edna Alves de e GONZALES, Maria Eunice Quilici, (org). **Informação, conhecimento, ação autônoma e big data**: continuidade ou revolução? [online]. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica: FiloCzar, p. 117-128, 2019a.

SANTOS, P. L. V. A da C.; SANTANA, R. C. G. Transferência da informação: análise para valoração de unidades de conhecimento. **DataGramaZero**, v. 3, n. 2, abr. 2002. Disponível em: https://brapci.inf.br/#/v/5349. Acesso em: 5 jun. 2022.

SANTOS, P. L. V. A. C.; SIMIONATO, A. C.; ARAKAKI, F. A. Definição de metadados para recursos informacionais: apresentação da metodologia BEAM. **Informação & Informação**, v. 19, n. 1, p. 146-163, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.5433/1981-8920.2014v19n1p146. Acesso em: 13 jul. 2023.

SANTOS, P. L. V. A. C.; VIDOTTI, S. A. B. G. Perspectivismo e tecnologias de informação e comunicação: acréscimos à ciência da informação? **DataGramaZero**, v. 10, n. 3, 2009. Disponível em: http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/6513. Acesso em: 21 jul. 2023.

SANTOS, P. L. V. A. da C; SANT'ANA, R. C. G. Dado e Granularidade na perspectiva da Informação e Tecnologia: uma interpretação pela Ciência da Informação. **Ciência da Informação** [em linha], v. 42, p. 199-209, 2015. Disponível em: http://revista.ibict.br/ciinf/article/view/1382. Acesso em: 05 jun. 2022.

SAYÃO, L. F.; SALES, L. F. Afinal, o que é dado de pesquisa? **BIBLOS - Revista do Instituto de Ciências Humanas e da Informação,** *[S. l.]*, v. 34, n. 2, 2020. DOI: 10.14295/biblos.v34i2.11875. Disponível em: https://periodicos.furg.br/biblos/article/view/11875. Acesso em: 16 jul. 2022.

SETZER, V. W. Dado, informação, conhecimento e competência. **DataGramaZero**, 1999.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **The Bell System Technical Journal**, v. 27, jul./oct. 1948.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. The Mathematical Theory of Communication. **Urbana**, IL: University of Illinois Press, 1949.

SIMONDON, G. **L'individuation: à la lumière des notions de forme et d'information**. S.l.: Editions Jérôme Millon, 2005[1958].

SIMONDON, G. The genesis of the individual. *In*: CRARY, J; KWINTERS, J. (eds.) **Incorporations**. New York: Zone Books, 1964/1992.

SOUSA, T. B. **Dataflow programming: concepts, languages and applications,** 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281777036_Dataflow_Programming_Concept_Languages_and_Applications. Acesso em: 20 out. 2023.

STERMAN, J. D. **Business Dynamics**: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, 2002.

STEVENS, W. P. How data flow can improve application development productivity. In: **IBM Systems Journal**, v. 21, n. 2, p. 162-178, 1982. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/5387865. Acesso em: 20 ago. 2023.

SUTHERLAND, W. R. **The on-line graphical specification of computer procedures**. 1966. Doctoral Theses. Department Massachusetts Institute of Technology. Department of Electrical Engineering; Massachusetts Institute of Technology. Department of Electrical Engineering and Computer Science. Disponível em: http://hdl.handle.net/1721.1/13474. Acesso em: 16 out. 2023.

TALEISNIK, S. **Receptores celulares y la transducción de señales. Temas de Biología Celular**. Editorial Brujas, 2006.

TANG, H. X. *et al*. Information transduction based on magnons. In: **Micro-and Nanotechnology Sensors, Systems, and Applications IV**. SPIE, 2012. p. 99-104. the opportunities. **Harvard Business School Publishing**, 2014.

THURNER, S.; HANEL, R.; KLIMEK, P. **Introduction to the Theory of Complex Systems**. New York: Oxford University Press, 2018.

TREVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais**: a pesquisa qualitativa em educação. São Paulo: Atlas, 1987.

TRZECIAK, A.M., GIERAS, M. Temperature estimating method for exhaust gases in valveless pulsejet engine. **Combustion Engines**, v. 182, n. 3, p. 3-9, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.19206/CE-2020-301. Acesso em: 24 maio 2024. **University Joint Technical Report**, Staffordshire, v. 33, n. 2004, p. 1-26,

VALENTIM, M. L. P. **Ambientes e fluxos de informação**. São Paulo; Cultura Acadêmica, 2010.

VAN DUYN, D. C.; MIDDELHOEK, S. Information transduction in solid-state transducers: A general thermodynamic systems approach, Sensors and Actuators. **Elsevier**, v. 21, n. 1-3, p. 25-32, 1990. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/092442479085004N?via%3Dihub. Acesso em: 20 jan. 2024.

VEEN, A. H. Dataflow machine architecture. **ACM Computing Surveys**, v. 18, n. 4, 1986. Disponível em: https://dl.acm.org/doi/10.1145/27633.28055. Acesso em: 20 ago. 2023.

WALSH, P. P.; FLETCHER, P. **Gas turbine performance**. USA: Blackwell Science Ltd, 2004.

WIENER, N. **Cibernética**: ou controle e comunicação no animal e na máquina / Norbert Wiener; [tradução Gita K. Guinsburg]. 1 ed. São Paulo: Perspectiva, 2017. 248 p.

WIENER, N. **Cybernetics**: or the control and communication in the animal and the machine. Massachusetts Institute of Technology, 1948/1961

YOURDON, E. **Just enough strutured analysis**: dataflow diagrams, 2006.

ZIKOPOULOS, P. et al. **Understanding Big Data**: Analytics for Enterprise Class Hadoop and Streaming Data. New York: McGraw-Hill, 2012.