

Adaptando Indicadores para Avaliação da Saúde de Projetos de Infraestrutura Científica: Uma Aplicação de Business Intelligence nas Linhas de Luz do Sirius

Dante P. de Brito¹, Mauri P. dos S. Júnior¹, Marcelo M. Xavier¹

¹Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS)
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM)
Campinas, SP - Brasil

{dante.brito, mauri.junior}@lnls.br, marcelo.xavier@lnls.cnpem.br

Abstract. *This paper presents the development of a Business Intelligence (BI) tool aimed at monitoring the health of scientific infrastructure projects, in the context of the construction of the Sirius Particle Accelerator Beamlines. The solution is based on the implementation of key performance indicators (KPIs), which are currently being validated, with the aim of continuously reflecting factors such as changes in scope, pace of execution of activities and team engagement in updating schedules. The proposal seeks to contribute with quantitative approaches for the dynamic evaluation of projects with a high degree of uncertainty and variable scope, common characteristics of projects in the area of research and development (R&D).*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta de Business Intelligence (BI) voltada ao monitoramento da saúde de projetos de infraestrutura científica, no contexto da construção das Linhas de Luz do Acelerador de Partículas Sirius. A solução baseia-se na implementação de indicadores de desempenho (KPIs), que encontram-se em fase de validação, com o objetivo de refletir de forma contínua fatores como alterações no escopo, ritmo de execução das atividades e engajamento das equipes na atualização de cronogramas. A proposta busca contribuir com abordagens quantitativas para avaliação dinâmica de projetos com alto grau de incerteza e escopo variável, características comuns de projetos na área de pesquisa e desenvolvimento (P&D).*

1. Introdução

Projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) são caracterizados por alto grau de incerteza, experimentação e escopo progressivamente detalhado, enquanto projetos de engenharia tradicional tendem a seguir modelos mais previsíveis e estruturados. De acordo com [Shenhar and Dvir 2007], projetos de natureza inovadora ou científica requerem abordagens de gestão distintas daquelas tradicionalmente aplicadas em projetos de engenharia, uma vez que envolvem maior grau de incerteza, escopo evolutivo e necessidade de adaptação contínua. No caso específico da construção de Linhas de Luz conectadas a um Acelerador de Partículas, essas duas naturezas se sobrepõem: combinam-se o rigor técnico e a previsibilidade da engenharia com a complexidade e variabilidade de objetivos próprios da pesquisa científica. Esse cenário híbrido dá origem a desafios particulares

para o planejamento e o monitoramento, especialmente no que se refere à definição de escopo e à estabilidade dos cronogramas.

Frequentemente, o escopo pode ser expandido ou reconfigurado à medida que o projeto evolui, e os prazos sofrem alterações motivadas por fatores técnicos, logísticos ou operacionais. Isso dificulta a avaliação da situação de um projeto com base apenas em sua posição temporal (início vs. fim), sendo mais adequado adotar uma abordagem que considere a **velocidade de execução** e o **engajamento** das equipes ao longo das fases. É nesse contexto que se insere a adoção de ferramentas de monitoramento contínuo e flexível da chamada "saúde" do projeto.

Aplicações de *Business Intelligence* (BI) têm se mostrado promissoras como suporte à gestão de projetos, ao permitir a integração, tratamento e análise de grandes volumes de dados, provenientes de fontes distintas e não padronizadas [Petrini et al. 2004]. Além disso, oferecem suporte à tomada de decisão gerencial e à comunicação entre stakeholders, especialmente por meio da construção de painéis analíticos e indicadores visuais [Affeldt and Silva Junior 2013]. No entanto, observa-se uma lacuna quanto à aplicação sistemática dessas soluções em projetos de infraestrutura científica, especialmente na construção de mecanismos que possibilitem o acompanhamento dinâmico da saúde do projeto com base em indicadores operacionais confiáveis.

Este estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma solução de BI voltada ao monitoramento da saúde dos projetos de infraestrutura científica no contexto do Sirius. A solução está sendo desenvolvida durante o processo de recém implementação do novo modelo de cronogramas padronizados por fase, e estão passando por uma etapa crítica de validação e refinamento. Tais cronogramas constituem a fonte primária da solução de BI, portanto esta primeira etapa de desenvolvimento do projeto está sendo voltada para construir uma visão integrada dos cronogramas e auxiliar na identificação de padrões, lacunas e oportunidades de padronização das informações. A segunda etapa do projeto consistirá em determinar os KPIs essenciais e aplicá-los ao dashboard, com base nas especificações de UI/UX que estão em fase de discussão conceitual.

2. Referencial teórico

Os sistemas de *Business Intelligence* (BI) compreendem um conjunto de práticas voltadas ao desenho, desenvolvimento e implementação de processos organizacionais, bem como à integração, suporte e gerenciamento de aplicações e plataformas tecnológicas associadas. Essas soluções englobam desde a infraestrutura de armazenamento e análise de dados até sistemas de apoio à decisão, como plataformas de BI, *data warehouses*, ferramentas de análise e iniciativas voltadas à qualidade da informação e ao gerenciamento de desempenho corporativo [Gartner 2024].

Nas últimas décadas, observa-se um crescimento expressivo na produção científica sobre aplicações de BI, com foco nos impactos positivos de sua adoção em diferentes setores organizacionais. Segundo [Barros et al. 2024], no contexto da Indústria 4.0 — marcada pela automação, digitalização e integração de processos — torna-se inevitável a busca por ferramentas que ampliem a capacidade das organizações de manipular e visualizar grandes volumes de dados.

A estrutura de gerenciamento de projetos do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) é pautada na adoção de métodos mistos, valendo-se de metodologias

ágeis em contextos de micro gerenciamento de atividades curtas, normalmente restritas à um ou poucos grupos. No contexto de um projeto de construção de uma Linha de Luz, que envolve a articulação de mais de 40 grupos - interdisciplinares, com diferentes métodos de gestão, distribuídos entre diferentes diretorias -, a adoção de métodos preditivos permite elaborar planejamentos a longo prazo mais robustos, fundamentais para um bom alinhamento entre os stakeholders e para garantir a captação e a alocação orçamentária de fontes externas.

Este contexto é caracterizado por alta complexidade e variabilidade operacional, tornando-se ainda mais necessário o uso combinado de soluções de BI com a definição de indicadores que representem o andamento dos projetos de forma visual e dinâmica, levando em consideração o objetivo central do Business Intelligence neste processo: dar suporte a uma estrutura de gestão consolidada na organização.

Para [Kerzner 2006], os *Key Performance Indicators* (KPIs) devem ser construídos a partir de critérios de sucesso previamente definidos, visando mensurar o desempenho do projeto e garantir o alinhamento entre processos e objetivos estratégicos. No entanto, [Borges and de Carvalho 2011], ao analisarem um sistema de indicadores de uma empresa de engenharia, apontam limitações recorrentes na implementação de KPIs em ambientes organizacionais: a ausência de diferenciação entre tipos de projeto, a escassez de representações quantitativas e a falta de histórico que permita a análise de tendências e impactos de mudanças ao longo do tempo.

A partir da necessidade de superar essas limitações, este trabalho propõe a adaptação da metodologia *Project Health Indicator Tool* (PHIT) [Construction Industry Institute 2006] ao contexto dos projetos de infraestrutura científica. O PHIT é uma ferramenta validada empiricamente, originalmente desenvolvida para projetos de construção civil, e tem como princípio a conversão de avaliações qualitativas subjetivas em indicadores quantitativos. Seu modelo promove uma visão contínua e sistêmica da saúde do projeto, com potencial preditivo e não apenas retrospectivo — característica especialmente alinhada às capacidades analíticas de soluções de BI. Ao ser combinado com KPIs estratégicos e visualizações interativas, o modelo PHIT pode fornecer uma base sólida para o monitoramento inteligente e dinâmico de projetos complexos.

3. Metodologia

A principal metodologia adotada no desenvolvimento da solução foi o *Modelo em Espiral* de Barry Boehm [Boehm 1988], frequentemente utilizado em projetos de engenharia de software devido ao seu caráter iterativo e incremental. Esse modelo busca refinar continuamente o produto por meio da construção e avaliação sucessiva de protótipos. De acordo com [Sommerville 2011], o modelo em espiral parte do princípio de que mudanças são inevitáveis em projetos complexos e, por isso, requer atividades explícitas de gerenciamento de riscos a cada ciclo. O processo inicia-se com a análise de viabilidade, seguido da definição de requisitos mínimos, projeto do sistema, desenvolvimento do protótipo, verificação, validação e repetição do ciclo conforme necessário.

Os projetos das Linhas de Luz do Acelerador de Partículas Sirius seguem um modelo de ciclo de vida baseado em etapas de revisão de design, amplamente utilizado em engenharia de sistemas de projetos de infraestrutura científica de grande porte — como os

da NASA [NASA – National Aeronautics and Space Administration 2022]. Com o objetivo de acompanhar as atividades associadas a cada uma das fases, e propondo uma adaptação deste framework de engenharia de sistemas para o contexto do Sirius, os cronogramas dos projetos foram agrupados em 6 *templates*. Usando o exemplo de cronogramas para as Linhas de Luz do Sirius:

- **Design (CDR, PDR, FDR)** - concentra as fases de definição do projeto conceitual, projeto preliminar e do projeto final das Linhas de Luz;
- **Montagem e Instalação (TIP)** - é o momento de construção efetiva das Linhas de Luz;
- **Comissionamento Técnico (TIP)** - é o momento de validação técnica da construção e integração dos componentes da Linha de Luz;
- **Comissionamento Científico (TPC)** - é o momento de validação dos requisitos científicos próprios da(s) técnica(s) de análise de amostras da Linha de Luz;
- **Pós Projeto** - é o *template* que reúne as pendências do projeto no momento de operacionalização da Linha de Luz.

Cada *template* é uma planilha estruturada em formato de cronograma que concentra as principais atividades para a fase em que o projeto se encontra. Portanto, cada projeto possui um conjunto de 5 cronogramas de atividades, sendo mais de 20 projetos em andamento, totalizando mais de 100 cronogramas funcionando em paralelo. Cada um deles foi personalizado para refletir o grau de previsibilidade e estrutura de cada fase, e essas diferenças entre elas resultam em variações na estrutura dos cronogramas e nos dados gerados para seu acompanhamento. Para que seja possível integrar essas informações e visualizar a saúde do projeto como um todo — independentemente da fase em que se encontra —, o processo de tratamento dos dados (ETL) precisou ser concebido de forma simultaneamente flexível e homogeneizadora. Essa característica é essencial para lidar com a diversidade de formatos e níveis de detalhamento dos dados sem comprometer a consistência da análise.

4. Pipeline da solução de BI

O pipeline de ingestão e transformação dos dados foi estruturado com base na *Medallion Architecture* [Databricks 2023], um modelo amplamente adotado em soluções de engenharia de dados modernas, que organiza o tratamento dos dados em três camadas progressivas: **Bronze, Silver e Gold**. Esse modelo visa atender a diferentes níveis de maturidade e complexidade analítica, separando os dados brutos dos dados refinados, facilitando a escalabilidade, a rastreabilidade e a governança da informação, além de permitir que o tratamento dos dados consiga lidar com alterações na estrutura da fonte de dados — tendo em vista que os recém implementados cronogramas podem sofrer alterações significativas, de acordo com a necessidade dos envolvidos no projeto.

A **camada Bronze** corresponde à ingestão inicial dos dados brutos. Nessa etapa, os cronogramas são extraídos da plataforma Smartsheet via API, por meio de scripts em Python, e armazenados em uma base MariaDB. O tratamento realizado nesta camada é mínimo, focando na normalização de formatos e validação estrutural dos dados. Os dados extraídos via API são identificados por meio de metadados de modificação, permitindo detectar alterações em relação à versão anterior dos cronogramas. A ingestão é realizada diariamente, armazenando uma cópia incremental das planilhas no banco MariaDB. Cada cronograma alimenta uma tabela única por fase do projeto, garantindo rastreabilidade e

facilitando o versionamento histórico das alterações.

Na **camada Silver**, os dados são processados por meio do Dataflow Gen2, ferramenta da capacidade *Fabric* do Power BI [Microsoft 2024]. Nesta camada, os dados passam por transformações como: unificação dos nomes dos campos, padronização de formatos de data, tratamento de valores nulos e mapeamento das atividades para uma estrutura comum de análise. Essa homogeneização permite integrar dados de diferentes fases do projeto. São aplicadas regras de consistência, como validação da sequência lógica das atividades, verificação de sobreposição de datas e detecção de campos obrigatórios em branco. Após esse processamento, os dados são armazenados em um Lakehouse de projetos do *Microsoft Fabric*.

Por fim, a **camada Gold** é acessada por meio do *endpoint* de análise SQL do *Lakehouse*, onde os dados já estruturados podem ser utilizados para a modelagem final e construção do dashboard. Nesta etapa os dados são organizados em um modelo dimensional com base em tabelas fato de atividades e dimensões (Figura 1). O modelo permite análises cruzadas por diferentes recortes, como progresso por fase, por projeto ou por sistema. Algumas medidas, como duração planejada, duração real e percentuais de avanço, são calculadas diretamente no modelo semântico para alimentar os indicadores de desempenho do dashboard.

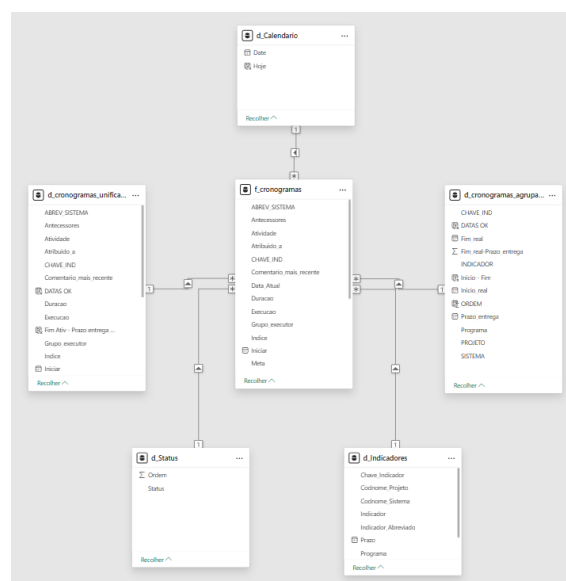


Figura 1. Modelo dimensional da camada Gold

5. KPIs propostos

Os métodos de cálculo dos KPIs propostos para a solução de BI ainda estão em fase de definição, mas estão sendo considerados três KPIs principais para refletir a “saúde” dos projetos: 1. **Taxa de atualização dos cronogramas**: Reflete o grau de engajamento das equipes com o planejamento; 2. **Taxa de variação no escopo do projeto**: Busca capturar o crescimento ou retração do número de tarefas ao longo do tempo, identificando alterações significativas no escopo; e 3. **Ritmo de execução em relação ao planejamento**: Avalia a aderência entre o que foi planejado e o que foi efetivamente executado, monitorando atrasos ou acelerações no andamento.

Esses indicadores foram pensados para possibilitar o monitoramento da *velocidade* de execução dos projetos, considerando o planejamento inicial e a coleta contínua de *snapshots* dos cronogramas ao longo do tempo. Essa abordagem permitirá a criação de um histórico das alterações, viabilizando análises comparativas e a medição de desvios progressivos no planejamento.

Conceitualmente, os KPIs estão sendo inspirados em indicadores de tendência (*leading indicators*) do **Project Health Indicator Tool (PHIT)**, desenvolvido pelo Construction Industry Institute. O PHIT transforma avaliações qualitativas subjetivas em pontuações quantitativas, com o objetivo de produzir diagnósticos mais objetivos sobre a saúde do projeto.

Os indicadores do PHIT que orientam diretamente esta proposta são: **Indicador 8 – Gestão de Mudanças** (*Change Management*): Avalia o impacto de alterações contratuais e de escopo durante a execução; **Indicador 5 – Construtibilidade** (*Constructability*): Monitora o cumprimento dos marcos do projeto e sua relação com etapas futuras. Outros indicadores também vêm sendo considerados de forma complementar, mas a ênfase, neste estudo, foi colocada sobre os elementos relacionados à gestão do cronograma, por se tratar do foco mais sensível dos projetos em questão.

A proposta deste projeto é adaptar alguns temas-chave do PHIT para desenvolver indicadores quantitativos, e posteriormente, incorporar uma avaliação qualitativa das equipes na validação da lógica destes KPIs. É importante destacar que a interpretação dos KPIs dependerá da fase em que o projeto se encontra, pois cada fase apresenta níveis distintos de previsibilidade e ritmos de execução próprios. Por essa razão, para que o protótipo operacional da solução de BI esteja completo, será necessário estabelecer benchmarks esperados para cada indicador, específicos por fase. Essa etapa de definição será realizada posteriormente, após a finalização dos métodos de cálculo e a realização de rodadas de validação com os stakeholders.

6. Conclusão

Este trabalho apresentou o processo de desenvolvimento de uma solução de *Business Intelligence* (BI) voltada ao monitoramento da saúde de projetos de infraestrutura científica, no contexto da construção das Linhas de Luz do Acelerador de Partículas Sirius. A solução, ainda em fase de protótipo, já conta com uma infraestrutura robusta de coleta e tratamento de dados, estando atualmente focada na avaliação da qualidade das informações registradas e no apoio à definição de requisitos mínimos para padronização das estruturas de dados.

Mesmo ainda não finalizado, o projeto tem se mostrado relevante para a gestão do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), ao oferecer uma visão integrada sobre o modelo recém implementado de cronogramas padronizados por fase - permitindo ajustes e refinamentos no modelo de gestão em tempo real - além de aproximar os principais interessados pelo acompanhamento dos projetos aos desenvolvedores da solução. São realizadas reuniões periódicas entre os gestores de projetos e a equipe de Business Intelligence para alinhar os requisitos; validar o preenchimento dos cronogramas; além de discussões sobre os possíveis alterações na estrutura dos cronogramas e os impactos que seriam gerados.

Referências

- Affeldt, F. S. and Silva Junior, S. D. d. (2013). Information architecture analysis using business intelligence tools based on the information needs of executives. *JISTEM - Journal of Information Systems and Technology Management*, 10(2):251–270.
- Barros, H. N. d. J., Libarino, C. S., and Amado, J. A. D. (2024). Análise de dados com business intelligence para monitoramento microbiológico na indústria 4.0: um estudo de caso simulado no setor alimentício. In *Anais da Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE)*.
- Boehm, B. W. (1988). A spiral model of software development and enhancement. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 11(4):14–24.
- Borges, J. G. and de Carvalho, M. M. (2011). Sistemas de indicadores de desempenho em projetos. *Revista de Gestão e Projetos*, 2(1):174–207.
- Construction Industry Institute (2006). Project health indicator (phi) tool: Assessing project health during project execution. <https://www.construction-institute.org/project-health-indicator-phi-tool-assessing-project-health-during-project-execution>. Acesso em: 25 abr. 2025.
- Databricks (2023). Medallion architecture in the lakehouse. <https://docs.databricks.com/gcp/en/lakehouse/medallion>. Acesso em: 10 mai. 2025.
- Gartner (2024). Business intelligence (bi) services. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/business-intelligence-bi-services>. Acesso em: 22 mai. 2025.
- Kerzner, H. (2006). *Project Management Best Practices: Achieving Global Excellence*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Microsoft (2024). Microsoft fabric documentation: Dataflow gen2 & lakehouse. <https://learn.microsoft.com/en-us/fabric/data-factory/connector-lakehouse>. Acesso em: 5 jun. 2025.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration (2022). Nasa interim directive: Risk management procedural requirements – nid 7123.69. Technical report, NASA, Washington, D.C.
- Petrini, M., Pozzebon, M., and Freitas, H. (2004). Gestão da informação e do conhecimento: uma proposta de framework multidimensional para a análise de iniciativas de business intelligence. *Revista de Administração Contemporânea*, 8(2):107–132.
- Shenhar, A. J. and Dvir, D. (2007). *Reinventing Project Management: The Diamond Approach to Successful Growth and Innovation*. Harvard Business School Press, Boston.
- Sommerville, I. (2011). *Software Engineering*. Pearson, Boston, 9 edition.