

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - CAMPUS SOROCABA

CCGT - CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Processamento Massivo de Dados

Prof. Dra. Sahudy Montenegro González

## **Projeto Prático**

**Fase Final**

João Vitor Naves Mesa - 814149

Pedro Gonçalves Correia - 813281

15/07/2025

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos Iniciais e Escopo.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Áreas de Aplicação.....</b>	<b>4</b>
3.1 Setor Governamental.....	4
3.2 Serviços Financeiros.....	4
3.3 Telecomunicações.....	5
3.4 Varejo.....	5
<b>4. Metodologia de Trabalho.....</b>	<b>5</b>
<b>5. Cronograma Inicial.....</b>	<b>6</b>
<b>6. Funcionalidades e Características do Neo4j.....</b>	<b>7</b>
<b>7. Estudos de Caso.....</b>	<b>8</b>
7.1 Grafos no Setor Público: Aprimorando a Gestão Governamental.....	8
7.2 Tecnologia de Grafos para o Setor Financeiro: Como as Principais Empresas Financeiras Aproveitam os Dados Conectados para Aumentar Seus Lucros.....	11
7.3 Otimizando Serviços de Rede: Garantia de Serviços com o Neo4j.....	13
7.4 Impulsionando a Inovação no Varejo com Grafos: Como os Principais Varejistas Usam o Neo4j.....	15
7.5 Comparativo Entre os Diferentes Casos de Uso.....	18
<b>8. Limitações do Neo4j e Impactos nos Cenários Apresentados.....</b>	<b>19</b>
8.1 Aspectos Técnicos Limitantes da Plataforma Neo4j.....	19
8.2 Repercussões nos Estudos de Caso Analisados.....	20
<b>9. Conclusões.....</b>	<b>22</b>
<b>10. Referências.....</b>	<b>23</b>

# 1. Introdução

A modelagem de dados por meio de grafos tem se destacado como uma alternativa promissora para representar relações complexas e dinâmicas que, em muitas aplicações, se mostram difíceis de capturar com bancos de dados relacionais tradicionais. Ao invés de depender de junções dispendiosas em tabelas, os bancos de grafos permitem navegar diretamente pelas conexões entre entidades, oferecendo desempenho mais consistente em consultas que exploram múltiplos níveis de relacionamentos (ROBINSON, WEBBER & EIFREM, 2015). Essa abordagem é particularmente relevante em cenários como detecção de fraudes, análise de redes sociais e otimização de rotas, nos quais a topologia do dado é tão valiosa quanto os próprios atributos dos nós.

O Neo4j, entre as diversas soluções de mercado (por exemplo, ArangoDB, Amazon Neptune e TigerGraph), destaca-se por empregar uma engine nativa de grafos que armazena e processa diretamente arestas e vértices, sem camada de abstração relacional. Sua linguagem de consulta, Cypher, adota uma sintaxe declarativa baseada em padrões de subgrafos, o que facilita a expressão de consultas complexas de maneira legível e intuitiva (NEO4J, [s.d]). Além disso, o ecossistema da plataforma inclui extensões como APOC (coleção de procedimentos auxiliares) e o módulo Graph Data Science, que ampliam as capacidades analíticas e permitem a execução de algoritmos de centralidade, detecção de comunidades e predição de ligações.

Este relatório apresenta o Neo4j como uma das principais opções de banco de dados em grafos, avaliando seu arcabouço técnico e suas funcionalidades de modo imparcial, sem esgotar todas as soluções de mercado. Baseando-se em white papers oficiais da plataforma, serão examinados casos de aplicação em setores diversos, de modo a identificar os cenários em que o Neo4j se mostra mais adequado e apontar, para cada contexto, eventuais problemas e alternativas viáveis.

## 2. Objetivos Iniciais e Escopo

O projeto tem como objetivo principal compreender de forma teórica o uso do Neo4j em diferentes domínios de atuação, mais especificamente dentro de grandes áreas da indústria, como: governo, serviços financeiros, telecomunicações e varejo. Com isso, busca-se entender e identificar suas principais vantagens com foco no proveito obtido com a utilização da modelagem dos relacionamentos por meio dos grafos oferecida pelo sistema de gerenciamento de banco de dados, mas, além disso, pontuar os seus desafios, ao se tratar de consistência, escalabilidade, performance e complexidade de modelagem. Portanto, o projeto centra-se no entendimento do porquê essa ferramenta é utilizada nas áreas estudadas.

### **3. Áreas de Aplicação**

Nesta seção, são apresentadas quatro áreas de aplicação em que o Neo4j tem sido empregado segundo relatos técnicos da própria empresa: governo, serviços financeiros, telecomunicações e varejo. Cada subseção abordará como a tecnologia foi aplicada em situações específicas, destacando os objetivos pretendidos, as funcionalidades exploradas e os principais aprendizados observados. Esta análise servirá de base para a comparação crítica entre os diferentes contextos, considerando as vantagens e as limitações associadas ao uso da plataforma.

#### **3.1 Setor Governamental**

Agências governamentais lidam frequentemente com volumes massivos de dados distribuídos em múltiplos repositórios — cadastros de cidadãos, registros financeiros, protocolos de investigação e inventários logísticos — cujas inter-relações são cruciais para o cumprimento de suas atribuições. Em cenários como detecção de fraudes, análise de redes de influência e otimização de cadeias de suprimentos, a topologia dos dados carrega valor tão relevante quanto os próprios atributos. Modelar essas conexões com junções em bancos relacionais tende a ser lento e dispendioso; por isso, cresce o interesse por soluções nativas de grafos, capazes de revelar padrões e percursos em tempo real, sem a sobrecarga de operações de join distribuídas.

O white paper “Graphs in Government” apresenta diversos casos reais, entre eles a modernização do sistema de gestão de custos de manutenção do Exército dos EUA. Antes baseado em mainframes, o sistema tornava impossível rastrear dinamicamente mais de 15 milhões de relações entre peças e equipamentos, resultando em custos imprevisíveis. Com Neo4j, foi possível construir um repositório único de dados logísticos, permitindo consultas “de minutos para milissegundos” e suportando cenários de “what-if” para projeções de logística e orçamento (ZAGALSKY, 2019).

#### **3.2 Serviços Financeiros**

O setor de serviços financeiros enfrenta um ambiente regulatório cada vez mais exigente, em que a transparência nas cadeias de ativos e a capacidade de resposta a fraudes determinam vantagens competitivas e conformidade legal. Estruturas tradicionais baseadas em bancos relacionais frequentemente se veem sobrecarregadas pela complexidade crescente de produtos financeiros — como derivativos, fundos e instrumentos compostos — cujas interdependências podem se estender por várias camadas de empacotamento e revenda. Nessa conjuntura, bancos de grafos oferecem um modelo mais natural para rastrear e analisar relacionamentos financeiros em tempo real, atendendo às demandas de risco, compliance e inovação em customer engagement.

Um estudo de caso destacado no white paper é o da Cerved, agência italiana líder em análise de risco de crédito. A aplicação inicial tinha como objetivo identificar o “real owner” de empresas, tarefa que envolvia navegar por até 15 elos de controle societário e atender a requisitos da Lei 231/2007 para prevenção à lavagem de dinheiro. A solução relacional previa processamento em cerca de 12 segundos por consulta; ao migrar para Neo4j, o tempo foi

reduzido para 67 milissegundos, permitindo respostas em tempo real e expansão do uso da tecnologia em outras áreas da empresa (MATHUR, 2020).

### **3.3 Telecomunicações**

O setor de Telecomunicações e operações de rede tem vivenciado um crescimento exponencial de complexidade, impulsionado por iniciativas como Network Functions Virtualization (NFV), Software-Defined Networking (SDN) e automação em múltiplas camadas de infraestrutura legada. Essa evolução trouxe desafios para os provedores de serviços de comunicação (CSP) e equipes de TI, que precisam ultrapassar abordagens reativas e isoladas para alcançar uma visão holística, precisa e em tempo real das dependências entre componentes físicos, virtuais e de serviço.

O white paper “Advanced Service Assurance” descreve a adoção de soluções de Next-Generation Service Assurance (NGSA) baseadas em grafos, cujo objetivo é unificar dados de topologia, indicadores de performance e métricas de experiência do cliente em um único modelo conectado. Por meio desse repositório de grafos, é possível correlacionar eventos de falha, priorizar incidentes segundo o impacto no usuário final e executar análises preditivas de “what-if”, habilitando respostas automáticas e planejamento proativo de manutenções (HODLER, 2021).

### **3.4 Varejo**

O setor de varejo enfrenta hoje desafios complexos, impulsionados pela concorrência de gigantes digitais que combinam baixos custos operacionais com algoritmos de recomendação em tempo real. Para se manterem competitivos, os varejistas tradicionais precisam não apenas otimizar cadeias de suprimentos e roteirização de entregas, mas sobretudo oferecer experiências altamente personalizadas. Isso requer o acesso imediato a múltiplas fontes de dados — histórico de compras, comportamento de navegação, promoções vigentes e atributos de produtos — e a capacidade de explorar suas interconexões sem atrasos, algo que ultrapassa as capacidades de bancos relacionais e sistemas de processamento em batch.

O white paper “Driving Innovation in Retail with Graph Technology” ilustra como o grupo de e-commerce da Walmart Brasil empregou o Neo4j desde 2013 para substituir um processo batch complexo por consultas em tempo real, construindo um motor de recomendações que combina dados históricos e de sessão do usuário. Com o Neo4j, o time de desenvolvimento reduziu a lógica de recomendação a consultas de baixa latência, habilitando up-sell e cross-sell dinâmicos que antes não eram possíveis com a base relacional (RATHLE, 2021).

## **4. Metodologia de Trabalho**

A metodologia idealizada pela equipe se baseia na divisão dos white papers para análise entre os dois membros, de forma que as áreas de telecomunicações e governamental serão estudadas por João Mesa, já as demais - serviços financeiros e varejo - serão abordadas por Pedro Correia. Desse modo, cada participante conduzirá, de maneira independente, uma leitura

crítica dos materiais, mapeando os elementos alinhados aos objetivos definidos na seção anterior. Em seguida, promover-se-á uma sessão de discussão coletiva para entendimento das análises realizadas e para consolidar as conclusões que subsidiarão o relatório final.

Por fim, é relevante ressaltar que, para assegurar o rigor e a comparabilidade entre as quatro áreas, serão seguidos cinco critérios de análise ao longo da leitura dos white papers: casos de uso, recursos/funcionalidades, vantagens reportadas, limitações/desafios e indicadores de sucesso. Durante a leitura focalizada, cada membro registrará suas observações em um documento auxiliar, posteriormente, ocorrerá uma revisão cruzada - em que cada integrante valida os apontamentos do outro - antes de uma reunião de consolidação, em que os resultados serão discutidos e formalizados nas conclusões obtidas através da execução do projeto.

## 5. Cronograma Inicial

Nesta seção, será exposto o cronograma do projeto com o intuito de detalhar as três entregas que serão realizadas e oferecer transparência acerca do andamento e organização do projeto.

CRONOGRAMA	
Data de entrega	Objetos entregues
18/06/2025 (Fase Intermediária 1)	Proposta inicial, objetivos do projeto, áreas de aplicação analisadas e metodologia.
02/07/2025 (Fase Intermediária 2)	Refinamento da proposta e realização de dois dos estudos de caso.
16/07/2025 (Fase Final)	Relatório final, estudos de casos completos e conclusões obtidas com a realização do trabalho.

Tabela 1 - Cronograma do projeto prático

## 6. Funcionalidades e Características do Neo4j

Os bancos de dados em grafos distinguem-se por seu modelo de dados orientado a entidades e relacionamentos, no qual nós e arestas armazenam metadados diretamente na estrutura de grafo. Essa abordagem contrasta com o paradigma relacional, em que as conexões são gerenciadas por meio de junções entre tabelas, elevando o custo computacional de consultas que percorrem múltiplos níveis de conectividade. Em cenários nos quais as relações entre os dados são tão relevantes quanto os próprios atributos, como análise de redes sociais, recomendações em tempo real ou detecção de padrões complexos, a modelagem em grafos permite expressar de forma natural consultas de travessia que exploram a topologia subjacente sem incorrer em penalidades de desempenho típicas de bancos tradicionais.

O Neo4j implementa nativamente esse modelo, adotando uma arquitetura de armazenamento proprietária baseada em index-free adjacency: cada nó mantém referências diretas às arestas incidentes, eliminando a necessidade de mecanismos externos de lookup para navegar pelas conexões. Essa característica, combinada com um motor de execução em memória otimizado para acessar apenas os elementos relevantes de um subgrafo, sustenta latências de travessia na ordem dos milissegundos, mesmo em conjuntos de dados com bilhões de relacionamentos. Assim, o processador de consultas de Cypher traduz padrões declarativos em planos de execução que incorporam poda de caminhos irrelevantes e enriquecimento incremental de índices, maximizando a reutilização de dados em cache e reduzindo operações de I/O.

No domínio da confiabilidade e da escalabilidade, o Neo4j oferece suporte completo a transações ACID, garantindo que cada operação de escrita seja integralmente aplicada ou revertida sem comprometer a consistência do grafo. Além disso, a arquitetura de Causal Clustering coordena a replicação síncrona entre nós do cluster e assegura consistência causal, de modo que cada instância perceba as alterações na ordem correta e os recursos como failover automático, rebalanceamento dinâmico de carga e gerenciamento avançado de bloqueios (enterprise lock manager) permitem manter alto throughput sob picos de carga, ao mesmo tempo em que minimizam a intervenção operacional.

Ademais, o Neo4j disponibiliza um conjunto abrangente de interfaces para desenvolvedores, incluindo drivers oficiais para diversas linguagens de programação, APIs Java nativas e procedimentos armazenados, que facilitam a integração com aplicações existentes, além de que a linguagem Cypher, projetada para ser intuitiva e concisa, possibilita a formulação de consultas complexas sem exigir longas sintaxes procedurais.

Desse modo, a escolha de um sistema de gerenciamento de banco de dados em grafos como o Neo4j fundamenta-se na necessidade de tratar relacionamentos como primeira-classe, beneficiando-se de performance linear em travessias profundas, flexibilidade de modelo para adaptação a requisitos dinâmicos e garantia de integridade transacional em contextos críticos. Sendo assim, esses elementos formam a base para aplicações que exigem exploração intensiva de conexões, alta disponibilidade e facilidade de evolução.

## **7. Estudos de Caso**

### **7.1 Grafos no Setor Público: Aprimorando a Gestão Governamental**

#### **7.1.1 Papel Estratégico dos Dados no Governo**

No âmbito governamental, a acumulação crescente de registros – desde cadastros de cidadãos e fluxos financeiros até protocolos de investigação e inventários logísticos – confere aos dados um papel estratégico central na tomada de decisão e na eficiência operacional. A interoperabilidade entre esses repositórios, muitas vezes dispersos e heterogêneos, é imprescindível para atender demandas que vão da detecção de fraudes à otimização de cadeias de suprimentos. Contudo, as abordagens tradicionais baseadas em bancos de dados relacionais revelam-se insuficientes para lidar com topologias de dados dinâmicas e fortemente interconectadas, pois apresentam uma degradação significativa de desempenho ao realizar operações de JOIN em múltiplas tabelas, especialmente em profundidades superiores a três níveis de conexão, resultando em consultas lentas e elevada sobrecarga de processamento.

Nesse contexto, as tecnologias de bancos de dados em grafos emergem como solução natural para modelagem e análise de dados conectados. Ao tratar cada entidade (nó) e cada relação (aresta) como objetos de primeira classe, essas plataformas possibilitam a navegação por múltiplos níveis de relacionamentos entre os dados, revelando padrões com rapidez e eficiência, sem o custo elevado das junções em bancos relacionais. Isso se deve à adjacência sem índice (index-free adjacency), onde os relacionamentos são armazenados diretamente com os nós e os nós conectados apontam fisicamente um para o outro, eliminando a necessidade de chaves estrangeiras e reduzindo drasticamente o tempo de resposta de consultas complexas. Essa capacidade amplia a visibilidade sobre redes de influência, fluxos logísticos e dependências orçamentárias, fundamentais para o cumprimento de missões governamentais críticas.

Ao reconhecer que as conexões nos dados são tão valiosas quanto os próprios dados, e que, para agências públicas, a compreensão profunda dessas conexões é vital para cumprir seus objetivos, o white paper destaca o valor de um modelo de dados que reflita diretamente a realidade inter-relacionada dos processos governamentais. Dessa forma, a adoção de bancos de grafos não apenas endereça limitações de desempenho, mas também inaugura possibilidades analíticas, como simulações de cenários “what-if” em tempo real e aplicação de algoritmos de ciência de grafos para prever riscos e otimizar recursos.

#### **7.1.2 Visão Geral do White Paper**

O white paper “Graphs in Government: Fulfilling Your Mission with Neo4j” apresenta a motivação e a fundamentação técnica para a adoção de bancos de dados orientados a grafos por agências públicas. Ele parte do reconhecimento de que o volume e a complexidade dos dados governamentais crescem continuamente, e que “as conexões nos dados são tão valiosas quanto os próprios dados”. Nesse contexto, destaca-se a limitação dos bancos relacionais tradicionais em consultas que envolvem múltiplos repositórios e relações complexas,



especialmente em tarefas críticas como rastreamento, análise preditiva e investigações interinstitucionais.

O documento é organizado em cinco seções principais:

- **Grafos Estão por Toda Parte:** Introduz a onipresença de estruturas conectadas em atividades governamentais, como cadeias de suprimento militares, detecção de fraudes, análise de redes de influência e a capacidade de recordar lições aprendidas ao longo do tempo.
- **O Poder de uma Plataforma de Banco de Dados em Grafos:** Descreve os fundamentos técnicos do Neo4j, incluindo a modelagem orientada a nós e relacionamentos, a adjacência sem índice (index-free adjacency), a linguagem de consulta Cypher, o suporte a transações ACID e a eficiência na execução de consultas profundas.
- **Dados Conectados em Investigações Criminais:** Dedicada a casos envolvendo forças de segurança, mostrando como a análise de grafos permite cruzar registros de chamadas, localizações e redes sociais para identificar suspeitos e prever comportamentos.
- **Bancos de Dados em Grafos em Ação:** Reúne estudos de caso aplicados, como a transformação digital do sistema de manutenção logística do Exército dos Estados Unidos, além de iniciativas da NASA e da organização MITRE no desenvolvimento do CyGraph para gestão de conhecimento e análise de ameaças cibernéticas.
- **Conclusão:** Sintetiza os benefícios observados e sugere que outras instituições públicas explorem a aplicabilidade do modelo de grafos aos seus próprios desafios de dados interligados.

Ao longo do white paper, a proposta de valor do modelo em grafos é evidenciada por ganhos de desempenho, escalabilidade e clareza na representação de relações complexas. Operações antes inviáveis ou excessivamente lentas passam a ser realizadas em tempo real, abrindo espaço para projeções de cenários, detecção de padrões ocultos e suporte analítico para decisões estratégicas no setor público.

### 7.1.3 Casos de Uso Principais

O white paper apresenta uma série de estudos de caso que demonstram a aplicabilidade e a eficácia dos bancos de dados orientados a grafos em diferentes contextos do setor público e de instituições parceiras. Essas aplicações evidenciam o potencial da modelagem em grafos para integrar informações dispersas, revelar relações críticas e habilitar consultas em tempo real. A seguir, são destacados os principais casos abordados no documento:

- **Modernização da Gestão de Custos de Manutenção do Exército dos EUA:** O Exército dos Estados Unidos enfrentava dificuldades operacionais com um sistema de gestão de manutenção baseado em mainframes, incapaz de rastrear de forma dinâmica as mais de 15 milhões de possíveis relações entre as partes e equipamentos para os algoritmos de alocação de custos. Isso compromete a previsibilidade dos custos

logísticos e impedia simulações orçamentárias em tempo hábil. A adoção do Neo4j possibilitou a criação de um repositório centralizado de dados logísticos, onde consultas que antes levavam minutos passaram a ser realizadas em milissegundos. Além disso, passou a ser possível executar análises do tipo “what-if”, aprimorando a projeção de cenários e o suporte à tomada de decisão em larga escala;

- **Dados Conectados em Investigações Criminais:** Em operações de segurança pública, a fragmentação dos dados entre diferentes fontes, como registros de chamadas, transações financeiras, documentos judiciais e bases de localização, dificulta a identificação de padrões e conexões relevantes. A modelagem em grafos permite unificar esses elementos sob categorias como Pessoas, Objetos, Localizações e Eventos (modelo POLE), possibilitando a detecção de redes de associação entre suspeitos e facilitando o rastreamento de atividades ilícitas em tempo real. Essa abordagem melhora significativamente a eficiência de investigações complexas, especialmente em cenários de múltiplas jurisdições;
- **Análise de Ameaças Cibernéticas pela MITRE:** A MITRE Corporation implementou a ferramenta CyGraph, uma plataforma de análise de ameaças cibernéticas baseada em grafos. O sistema integra dados de alertas de intrusão, vulnerabilidades conhecidas e dependências críticas das missões, permitindo visualizar a superfície de ataque, priorizar ações defensivas e automatizar respostas. Com essa modelagem contextual, os analistas conseguem identificar rapidamente os caminhos mais prováveis de exploração, isolar vetores de risco e concentrar recursos nas áreas mais sensíveis da infraestrutura digital;
- **Banco de Lições Aprendidas da NASA:** A NASA desenvolveu um grafo de conhecimento para consolidar as lições aprendidas em projetos espaciais desde os anos 1950, com o objetivo de evitar a repetição de falhas anteriores e promover a reutilização de soluções comprovadas. Antes da adoção do Neo4j, o banco de dados era composto por uma pequena fração dos documentos da organização (menos de 1% de 20 milhões), o que dificultava o acesso e a reutilização efetiva de informações cruciais. Com o grafo, engenheiros e gestores passaram a navegar por subsistemas interligados, acessando informações relevantes com rapidez e precisão. A iniciativa gerou ganhos mensuráveis, como a redução de um ano no cronograma de planejamento e economia superior a dois milhões de dólares na missão a Marte;
- **Integração de Sistemas na Lockheed Martin Space:** A Lockheed Martin Space enfrentava dificuldades para rastrear anomalias em projetos aeroespaciais complexos, devido à existência de dados fragmentados entre sistemas de engenharia, ERP e fornecedores. A solução foi a criação de um modelo de grafos denominado Product 360, integrando telemetria, designs CAD, componentes e histórico de produção. Isso permitiu a realização de análises de impacto em tempo real e a substituição de processos manuais demorados por consultas instantâneas, contribuindo para a melhoria contínua de desempenho e segurança dos sistemas espaciais.
- **Análise Fiscal com os Panama Papers:** Governos de diversos países recorreram ao Neo4j para analisar os dados dos Panama Papers, um conjunto massivo de documentos que expôs esquemas de evasão fiscal e lavagem de dinheiro via empresas off shore. A modelagem em grafos permitiu identificar estruturas societárias complexas e vínculos

ocultos entre indivíduos e entidades jurídicas, facilitando a investigação de crimes financeiros.

Cada um desses casos exemplifica como o modelo de dados em grafos responde de forma eficiente a desafios governamentais relacionados à conectividade, desempenho e compreensão estrutural dos dados. A adoção da tecnologia possibilita não apenas melhorias operacionais, mas também amplia a capacidade analítica e estratégica das instituições públicas.

#### **7.1.4 Vantagens Relatadas**

Os estudos documentam ganhos expressivos de desempenho graças ao modelo nativo de grafos, que elimina junções e possibilita travessias profundas em milissegundos, mesmo em estruturas com bilhões de arestas. Essa abordagem resulta em latências de consulta reduzidas de minutos para milissegundos e desempenho linear no tratamento de grandes volumes de dados.

A execução em memória de consultas otimiza o processamento ao visitar apenas os nós e relacionamentos necessários, promovendo economia de I/O e máxima reutilização de dados em cache de subgrafo. O otimizador de Cypher reescreve padrões de consulta para explorar índices e caches de forma eficiente, o que contribui para a agilidade na extração de informações complexas.

Em termos de confiabilidade, a consistência causal e as transações ACID garantem integridade dos dados mesmo sob cargas elevadas, enquanto o failover automático e o rebalanceamento de cluster asseguram alta disponibilidade sem intervenção manual. A replicação síncrona e os logs de transação binários viabilizam recuperação pontual, reforçando a resiliência operacional.

No âmbito de segurança, destacam-se a criptografia em repouso e em trânsito, a autenticação federada e o controle de acesso baseado em papéis, oferecidos com certificações de padrão governamental (ISO 27001, SOC 2 Tipo 2), o que torna o sistema apropriado para ambientes regulados.

Finalmente, a oferta integrada de mais de 65 algoritmos de Graph Data Science e a interface de visualização interativa permitem a realização de análises avançadas e descoberta de padrões sem movimentação externa de dados ou necessidade de codificação, ampliando as possibilidades de uso sem custo adicional de integração.

### **7.2 Tecnologia de Grafos para o Setor Financeiro: Como as Principais Empresas Financeiras Aproveitam os Dados Conectados para Aumentar Seus Lucros**

#### **7.2.1 Visão Geral do Setor Financeiro**

As instituições financeiras enfrentam hoje desafios crescentes na detecção de fraudes, no combate a crimes financeiros e na resposta a ameaças cibernéticas, ao mesmo tempo em que precisam cumprir rigorosos padrões de conformidade regulatória. Paralelamente, a digitalização dos serviços bancários e de investimento impõe a necessidade de desenvolver novas estratégias de engajamento com o cliente, seja para impulsionar vendas, reduzir custos operacionais ou reforçar a confiança do público.

Nesse contexto, a modelagem em grafos desponta como recurso estratégico, tendo em vista que ao representar as entidades como clientes, contas, transações e ativos como nós conectados por arestas que expressam relações complexas, as empresas financeiras obtêm visibilidade em tempo real dos fluxos de informação. Desse modo, essa abordagem permite rastrear cadeias de propriedade, mapear cadeias de processos de dados e detectar padrões suspeitos que escapam aos sistemas tradicionais, ao mesmo tempo em que sustenta iniciativas de personalização e otimização de preços e produtos.

### 7.2.2 Principais funcionalidades

Nesta seção, serão descritos os cenários e as principais funcionalidades em que a modelagem em grafos tem se mostrado mais efetiva para suportar operações críticas no setor financeiro.

- **Grafos para ativos:** os ativos financeiros modernos — desde títulos de renda fixa até derivativos sintéticos — formam estruturas hierárquicas e interdependentes que desafiam a análise em bancos de dados relacionais. Sendo assim, com a representação por meio de grafos, cada ativo e subativo é modelado como nó, enquanto dependências e riscos compartilhados são arestas ponderadas. Assim, a estrutura citada fornece uma visão unificada para avaliar a exposição ao risco e precificar derivativos em tempo real, facilitando seguir trajetos de correlação e identificar rapidamente grupos de ativos com risco sistêmico elevado, suportando decisões de gestão de portfólio e de hedge com baixa latência.
- **Gestão da linhagem de dados:** grandes instituições financeiras dependem de um fluxo integrado de informações, desde sistemas mestres até consumidores internos e externos, com isso a heterogeneidade de fontes e o crescimento contínuo de novos conjuntos de dados tornam desafiador rastrear a origem e o percurso dessas informações. Desse modo, uma modelagem por grafos permite sobrepor metadados e processos, criando um modelo dinâmico de linhagem que registra como cada dado foi transformado, quem o consome e quais regras regulatórias se aplicam, além de ser uma plataforma flexível que se adapta facilmente à inclusão de novas fontes, garantindo governança e auditabilidade completas;
- **Prevenção e detecção de fraudes financeiras:** as operações fraudulentas modernas recorrem a contas sintéticas e a redes de transações paralelas para camuflar atividades ilícitas, contudo um grafo de transações que modela cada conta, pagamento e relacionamento como nós e arestas, expõe as trilhas de movimentação que podem permanecer ocultas em bancos tradicionais. Assim, os analistas, que antes examinavam manualmente múltiplas camadas de dados, agora executam consultas que destacam padrões anômalos e vínculos entre contas com apenas uma linha de Cypher, reduzindo drasticamente o tempo de investigação e bloqueando tentativas de fraude em tempo real;
- **Prevenção à lavagem de dinheiro:** criminosos usam transações intermediárias para levar o dinheiro de um ponto ao outro, mascarando assim o real destino do dinheiro e dificultando para sistemas tradicionais detectarem esses esquemas. Desse modo, ao representar as realidades corporativas, as contas bancárias e as transações como um grafo, o Neo4j permite traçar percursos de fundos através de sequências arbitrariamente

longas, assim, as consultas revelam rapidamente circuitos de lavagem e disparam alertas automáticos;

- **Cibersegurança e análise de intrusão:** em ambientes financeiros, compreender como malwares e ataques se propagam pela infraestrutura é vital para mitigar riscos críticos, ademais, grafos de topologia de rede e eventos de segurança registram cada máquina comprometida e sua conexão com outras e ,ao aplicar algoritmos de propagação em grafos, equipes de segurança obtêm visão completa dos caminhos de infecção e dos vetores de ataque, possibilitando conter brechas rapidamente e planejar defesas proativas com eficiência.

### 7.2.3 Casos de Uso Principais

Nesta seção, serão exibidos exemplos que demonstram, na prática, como as funcionalidades descritas na seção anterior têm sido implementadas dentro do setor financeiro.

- **Cerved:** a empresa aplicou Neo4j para mapear cadeias de propriedade corporativa e identificar o verdadeiro beneficiário final de empresas, reduzindo de 12 segundos para 67 milissegundos o tempo de processamento em consultas que envolviam até 15 elos de relacionamento. Sendo assim, esse ganho de performance viabiliza a conformidade imediata com requisitos antifraude e contra lavagem de dinheiro, permitindo que as equipes de compliance investiguem em tempo real estruturas societárias complexas e tomem ações corretivas instantâneas;
- **Plataforma integrada de distribuição de dados:** uma instituição financeira implementou o Neo4j para mapear fontes de dados, processos de transformação e consumidores em um grafo flexível, que permitiu adicionar novas fontes e regras sem reorganizar o esquema, garantindo governança e rápida distribuição das informações;
- **Validação de transações acelerada:** uma instituição cujos analistas precisavam revisar manualmente dados dispersos em múltiplas camadas para aprovar transações adotou o Neo4j para unificar contas, movimentações e perfis de cliente em um único grafo, sendo assim, consultas Cypher permitem agora visualizar todo o contexto da transação em segundos, reduzindo drasticamente o tempo de validação e minimizando riscos operacionais;

### 7.2.4 Conclusões do White Paper

Portanto, os casos apresentados demonstram que o Neo4j oferece às instituições financeiras a capacidade de correlacionar diferentes domínios de dados — desde transações e entidades corporativas até fluxos de processos internos — em uma única camada de grafos. Assim, essa visão integrada facilita tanto a detecção de padrões de risco e fraudes quanto a otimização de operações comerciais e regulatórias, transformando dados conectados em vantagem competitiva e impulsionando a lucratividade nesse mercado.

## 7.3 Otimizando Serviços de Rede: Garantia de Serviços com o Neo4j

### 7.3.1 Panorama do Setor de Telecomunicações

O setor de Telecomunicações tem vivido um crescimento exponencial na complexidade das redes, impulsionado pela adoção de Network Functions Virtualization (NFV),

Software-Defined Networking (SDN) e por camadas crescentes de automação que se sobrepõem à infraestrutura legada. Essas tecnologias, embora essenciais para a agilidade e escalabilidade dos serviços, criam dependências cruzadas e elevam a superfície de falhas, exigindo novas abordagens para mapear e entender as interações entre elementos físicos, virtuais e de serviço.

Diante desse cenário, provedores de serviço de comunicação (CSP) e equipes de operações de TI não podem mais se apoiar em métodos reativos, nos quais cada camada requer intervenção manual, sem comprometer níveis de serviço e satisfação do usuário final. Torna-se, portanto, imperativa a obtenção de uma visão integrada, holística e em tempo real de toda a topologia de rede, de modo a antecipar falhas, priorizar incidentes conforme impacto ao cliente e executar manutenções proativas com base em análises preditivas.

### 7.3.2 Visão Geral do White Paper

O white paper “Advanced Service Assurance” propõe uma arquitetura de Next-Generation Service Assurance (NGSA) fundamentada em grafos, cujo objetivo central é unificar dados de topologia, indicadores de performance e métricas de experiência do cliente em um modelo conectado único. Essa abordagem visa superar a fragmentação de silos de informação e garantir que consultas críticas, como correlação de falhas e simulações “what-if”, sejam executadas com baixa latência e alta fidelidade ao estado real da rede.

### 7.3.3 Casos de Uso Principais

O white paper apresenta exemplos concretos de aplicação do Neo4j em cenários de operações de rede e TI, destacando quatro casos de uso principais no setor de Telecomunicações: manutenção preditiva e análise de impacto, diagnóstico de falhas em tempo real, portais de autoatendimento e gestão de dados mestres.

- **Manutenção preditiva e análise de impacto (Zenoss Service Impact):** A Zenoss, fornecedora de solução híbrida de monitoramento, utiliza o Neo4j para manter um repositório de dependências em tempo real, correlacionando 17 bilhões de pontos de dados a cada cinco minutos. Com isso, torna-se possível antecipar as consequências de alterações na infraestrutura e priorizar intervenções segundo o impacto esperado no serviço;
- **Diagnóstico de falhas em tempo real (Cisco Service Assurance):** A Cisco aplica o Neo4j para análise de causa raiz, traçando reclamações de usuários até componentes específicos de rede ou serviço. Essa correlação imediata reduz drasticamente o tempo médio de detecção e resposta a incidentes, passando de minutos para milissegundos na execução de consultas complexas em topologias virtuais e físicas;
- **Portal de autoatendimento (Orange Self-Service Portal):** Na Orange, o banco de grafos alimenta um portal que consolida informações sobre estruturas corporativas, planos de assinatura, dados de cobrança e acordos de desconto. Clientes corporativos acessam, em uma única interface, todo o ciclo de vida de suas contas, o que melhora a experiência do usuário e reduz chamadas ao suporte;

- **Gestão de dados mestres (Telenor Customer Data):** A Telenor Norway recorre ao Neo4j para unificar e consultar rapidamente relações entre assinantes, contas de cobrança e infraestrutura de rede. Ao modelar master data em grafos, a operadora obtém flexibilidade para acomodar mudanças de oferta e facilita auditorias de conformidade, mantendo coerência e performance mesmo com volumes elevados de transações.

Em todos esses cenários, o banco de dados em grafos viabiliza uma visão singular e conectada dos componentes de rede, permitindo correlacionar eventos de falha, priorizar incidentes conforme impacto ao cliente e suportar análises “what-if” para planejamento proativo de manutenções. Esses casos de uso ilustram como a tecnologia de grafos pode transformar práticas tradicionais de service assurance em ambientes de Telecomunicações altamente dinâmicos.

#### **7.3.4 Resultados**

Os resultados documentados evidenciam ganhos substanciais de desempenho no contexto de Service Assurance em Telecomunicações, com travessias em milissegundos em redes altamente dinâmicas e redução de latências que favorecem a correlação em tempo real de métricas e eventos, aumentando em até 60 % a detecção de incidentes.

A flexibilidade inerente ao modelo “schema-free” e à armazenagem nativa de grafos possibilita a incorporação ágil de novas fontes de dados sem necessidade de reestruturação do banco, garantindo adaptabilidade contínua a requisitos em evolução.

A garantia de transações ACID com consistência causal, aliada a mecanismos de alta disponibilidade — como cache de alto desempenho, hot backups e failover automático —, sustenta a confiabilidade operacional, refletida em redução de cerca de 40 % no MTTR (Mean Time To Repair) e em recuperação rápida diante de falhas.

Além disso, a integração simplificada via drivers homogeneizados e a linguagem declarativa promovem elevação da produtividade do desenvolvedor, enquanto a oferta integrada de algoritmos de Graph Data Science e a extensibilidade para múltiplos ambientes (on-premise, nuvem ou contêineres) permitem análises avançadas e garantem alinhamento com arquiteturas corporativas sem custos adicionais de integração.

Por fim, a convergência de dados dispersos em uma visão unificada de grafo aumenta em mais de 50 % a acurácia na identificação de causas-raiz, consolidando o Neo4j como plataforma capaz de transformar operações de Service Assurance por meio de insights precisos e em tempo real.

### **7.4 Impulsionando a Inovação no Varejo com Grafos: Como os Principais Varejistas Usam o Neo4j**

#### **7.4.1 Visão geral do mercado varejista**

O mercado de varejo enfrenta, atualmente, intensa competição de plataformas eletrônicas que se beneficiam de estruturas de custo enxutas, cadências de entrega aceleradas e políticas de preço agressivas. Nesse contexto, os varejistas tradicionais têm sido obrigados a

aprimorar seus processos internos, incluindo sistemas de gerenciamento de estoque, gateways de pagamento e operações logísticas, e a consolidar sua presença no ambiente digital, de modo a preservar suas margens de lucro, atrair novos clientes e fidelizar consumidores.

Com isso em mente, para atender a esses requisitos de agilidade e eficiência, torna-se imprescindível a adoção de soluções capazes de oferecer visão integrada e em tempo real das relações entre clientes, produtos e canais de distribuição. Assim, os bancos de dados baseados em grafos apresentam-se como alternativa estratégica, pois permitem modelar e consultar, com baixa latência, redes de relacionamento complexas, apoiando decisões rápidas e embasadas em dados dinâmicos do ecossistema varejista.

#### **7.4.2 Principais Funcionalidades**

O documento apresenta cinco funcionalidades úteis para o setor de varejo, além de apresentar como eles podem ser implementados com sistemas baseados em grafos e como essa estrutura otimiza essas soluções.

- **Recomendações personalizadas de produtos e promoções:** a estratégia de entregar recomendações em tempo real para os consumidores online é uma estratégia comprovada de aumentar a receita. Desse modo, os sistemas de recomendação em tempo real apoiados por grafos alavancam perfis de compra, histórico de navegação e atributos demográficos para gerar sugestões altamente contextuais. Ao modelar consumidores e produtos como nós interligados por arestas que representam interações - cliques, avaliações, pesquisas e transações - é possível identificar caminhos de afinidade com baixa latência. Além disso, essa estrutura possibilita a incorporação de fatores adicionais, como sazonalidade de consumo e tendências emergentes, ajustando dinamicamente as recomendações conforme o comportamento coletivo dos usuários;
- **Alteração de preços e criação de promoções em tempo real:** a definição de preços e o lançamento de promoções em tempo real exigem a avaliação simultânea de múltiplos critérios, tais como diretrizes de marca, níveis de estoque e indicadores de mercado. Destarte, os bancos de dados em grafos facilitam essa tarefa ao permitir a escrita de consultas que atravessam diferentes camadas de relacionamentos desde a regra de margem mínima até a disponibilidade de produto em cada centro de distribuição. Com isso, um varejista pode propagar uma alteração de preço ou uma nova oferta para centenas de SKUs em segundos, mantendo a coerência de regras corporativas e limites de descontos;
- **Experiência personalizada aos clientes:** a experiência personalizada do consumidor depende da consolidação de dados que, frequentemente, estão dispersos em diferentes silos de informações e, ao manter esses registros em seus repositórios originais e sobrepor seus relacionamentos em uma camada de grafo, é possível navegar por toda a trilha de interações do cliente sem replicar ou migrar grandes volumes de dados. Então, a abordagem baseada em grafos fornece visão holística dos padrões de comportamento, como agrupamentos de clientes, preferências de comunicação e respostas a campanhas anteriores, oferecendo assim recursos ao varejista para ampliar o seu público e torná-lo mais lucrativo;
- **Grafos para roteamento de serviços de entrega:** os varejistas precisam atender ou superar o novo padrão de entrega imposto pela concorrência, sendo que é necessário ter visibilidade do estoque tanto nas vitrines, quanto nos centros de distribuição para



definir a rota de entrega mais rápida. Com isso, esses dados possuem um grau de relacionamento bem conectado e um banco de dados baseado em grafos pode levar em consideração todos os fatores cruciais para essa decisão, além de traduzir cada ponto de estoque e cada rota possível em nós e arestas ponderadas, permitindo algoritmos de caminho mínimo;

- **Visibilidade de Supply Chain:** as cadeias de suprimentos são complexas, tendo em vista que os produtos são compostos de diferentes ingredientes ou peças, assim, os varejistas tendem a conhecer apenas os fornecedores diretos dos seus produtos, mas essa prática pode ocultar riscos, dificultar tomadas de decisões e identificação de fontes desconhecidas de produtos. Com isso em mente, a natureza de conexão dentro dessa cadeia é perfeita para a representação por grafo, pois um grafo de supply chain representa cada fornecedor, transportador e parceiro de manufatura como nós interconectados, permitindo rastrear, em profundidade, a origem de componentes ou matérias-primas;

#### 7.4.3 Casos de Uso Principais

Nesta seção, serão exibidos exemplos que demonstram, na prática, como as funcionalidades descritas na seção anterior — recomendações em tempo real, precificação dinâmica, experiência personalizada, otimização de rotas e visibilidade de supply chain — têm sido implementadas por grandes varejistas e provedores de tecnologia.

- **Walmart:** a empresa se tornou o maior varejista do mundo ao entender as necessidades dos clientes, com isso aplicou recomendações em tempo real associando comportamento de compra e preferências dos clientes, elevando significativamente as taxas de conversão em seu canal de comércio eletrônico;
- **Grandes redes de varejo físico nos EUA:** uma das dez maiores cadeias adotou o Neo4j para descarregar sistemas legados durante campanhas promocionais, implantando recomendações dinâmicas que melhoraram a experiência do consumidor e reduziram picos de carga, que já haviam comprometido a experiência do usuário em casos anteriores;
- **Adidas:** o líder em artigos esportivos queria oferecer uma experiência personalizada aos clientes com base nos seus interesses, assim criou-se um repositório de metadados compartilhados que unifica domínios isolados — idiomas, localização e histórico de compras — permitindo consultas ágeis via Cypher e suportando serviços emergentes de personalização;
- **Ebay:** a empresa buscava manter seu modelo de entrega em “um dia” após a compra, então migrou para o Neo4j, implementando funcionalidades avançadas de roteirização e recomendação que não eram viáveis em bancos relacionais, e acelerando o desenvolvimento de novas features;
- **Transparency-One:** desenvolveu uma plataforma de rastreabilidade de cadeias de suprimentos em múltiplas camadas, possibilitando a fabricantes e marcas mapear, auditar e monitorar fornecedores diretos e indiretos por meio de relacionamentos em grafo.

Portanto, esses exemplos ilustram como a abordagem baseada em grafos habilita inovações de negócio, reduzindo latência em consultas de relacionamento e proporcionando escalabilidade frente à complexidade crescente do mercado varejista.

## **7.5 Comparativo Entre os Diferentes Casos de Uso**

Em todos os white papers analisados, observou-se a aplicação concreta do Neo4j em projetos de grande escala, nos quais a representação explícita de relacionamentos se mostrou determinante para o sucesso das iniciativas. Por exemplo, tanto agências governamentais quanto instituições financeiras empregaram o Neo4j para detecção de fraudes: no contexto público, cruzando registros de chamadas, movimentações orçamentárias e protocolos de investigação, e no financeiro, mapeando redes de transações e contas sintéticas para flagrar esquemas ilícitos em tempo real. De modo semelhante, a visibilidade de cadeias de suprimentos, presente em ambos os domínios, utilizou traversals profundas para rastrear fornecedores diretos e indiretos, permitindo simulações de “what-if” logística em cenários militares e otimização de roteamento para distribuidores de produtos.

No setor de telecomunicações, as funcionalidades de index-free adjacency e consultas de travessia renderam aplicações de service assurance com baixíssima latência — como nos casos de diagnóstico de falhas em tempo real e manutenção preditiva —, enquanto no varejo a mesma capacidade de navegar por redes complexas de clientes, produtos e armazéns foi explorada em sistemas de recomendação dinâmica e precificação instantânea. Em ambos os ambientes, o motor em memória e o otimizador de Cypher possibilitaram respostas em milissegundos mesmo sob bilhões de arestas, sustentando operações críticas sem necessidade de junções tradicionais.

Do ponto de vista teórico, os ganhos de performance linear em travessias profundas, a flexibilidade de um modelo schema-free e o suporte ACID unificado foram aproveitados para capturar padrões complexos — seja correlacionando alienações de estoque em múltiplos centros de distribuição, identificando clusters de comportamento fraudulento ou priorizando eventos de rede de alto impacto para o cliente. Tais atributos ilustram o valor do paradigma de grafos para cenários nos quais a conectividade dos dados é tão relevante quanto seus atributos.

Como peças de propaganda da plataforma, nenhum dos white papers apresenta críticas ou limitações do Neo4j. Nosso objetivo nas próximas seções é compreender as deficiências e críticas ao Neo4j, e entender como essas deficiências podem impactar os cenários apresentados nos estudos de caso.

## 8. Limitações do Neo4j e Impactos nos Cenários Apresentados

### 8.1 Aspectos Técnicos Limitantes da Plataforma Neo4j

A plataforma Neo4j apresenta restrições significativas em termos de escalabilidade horizontal: embora suporte clusters em configuração master-slave para leitura distribuída, todas as operações de escrita são obrigatoriamente roteadas ao nó principal. Em cenários de grande volume de gravações simultâneas, a única alternativa é escalar verticalmente o servidor mestre, pois não há particionamento automático do grafo em múltiplas instâncias. Apesar de o recurso Fabric permitir a consulta a vários bancos independentes, a fragmentação (“sharding”) deve ser implementada manualmente na camada de aplicação, o que aumenta a complexidade do desenvolvimento e depende fortemente da topologia específica do grafo para evitar desequilíbrios na distribuição de dados (AL-SAEEDI, 2016).

A indexação em Neo4j também revela limitações: consultas de intervalo sobre valores de propriedade não se beneficiam de mecanismos sofisticados de índices, forçando, em muitos casos, a varredura completa de nós. Propriedades ausentes ou nulas podem igualmente escapar ao uso de índices, degradando o desempenho de buscas criteriosas. Ademais, a linguagem Cypher não inclui suporte nativo a tipos temporais complexos, obrigando o desenvolvedor a adotar convenções alternativas (por exemplo, inteiros epoch) e funções de conversão que aumentam a verbosidade e o risco de inconsistências nas consultas baseadas em data e hora (JAVANEXUS, 2024).

No que tange ao uso de memória e à eficiência de execução, certas construções de consulta, especialmente aquelas que empregam padrões de comprimento variável sem filtros antecipados, podem levar à avaliação eagerness, em que grandes subconjuntos de dados são carregados em heap antes de aplicarem-se restrições, resultando em picos de consumo de memória e pausas de coleta de lixo caso as configurações de JVM e page-cache não estejam devidamente calibradas (BHALERAO, 2018).

A configuração e o gerenciamento operacionais do Neo4j tendem a ser mais complexos do que em bancos relacionais ou em algumas alternativas NoSQL: a instalação pode exigir a abertura de exceções de firewall, e os mecanismos de backup e de atualização de versões maiores demandam coordenação manual para evitar indisponibilidade. Além disso, a plataforma não oferece um sistema interno de gestão de usuários; todas as políticas de autenticação, autorização e auditoria devem ser implementadas na camada de aplicação, o que diminui a flexibilidade de uso em ambientes sensíveis.

Arquiteturalmente, o Neo4j pressupõe que o grafo completo se ajuste à capacidade de memória e de armazenamento de uma única máquina ou de um conjunto de nós replicados, sem fragmentação nativa. Essa característica limita sua adoção em cenários que requerem processamento distribuído de grandes volumes de dados em múltiplos data centers. Soma-se a isso um conjunto de restrições sobre cardinalidade de nós, chaves, propriedades e rótulos, que, embora essenciais para manter a consistência do modelo, podem impor barreiras ao desenho de esquemas extremamente heterogêneos.

Em síntese, as limitações do Neo4j em escalabilidade de escrita, particionamento manual, indexação restrita, complexidade operacional e ausência de gestão integrada de

segurança configuram desafios técnicos que devem ser avaliados previamente à sua adoção em projetos que exijam alta disponibilidade, ingestão massiva de dados e distribuição geográfica.

## 8.2 Repercussões nos Estudos de Caso Analisados

A subseção a seguir apresenta uma tabela comparativa que associa, de forma direta, cada uma das limitações técnicas do Neo4j, detalhadas em 8.1, aos cenários de aplicação discutidos na seção 7. Ao mapear o grau de impacto de aspectos como escalabilidade de escrita, particionamento manual e restrições de indexação em diferentes estudos de caso, esta tabela oferece um panorama consolidado dos desafios práticos enfrentados em projetos reais (ou análogos). Seu objetivo é fornecer um instrumento visual que facilite a avaliação prévia de riscos e a tomada de decisões estratégicas sobre o uso do Neo4j em contextos diversos, sem, neste momento, entrar na análise aprofundada de cada combinação.

Estudo de Caso	Escalabilidade de Escrita	Particionamento Manual	Indexação Restrita	Complexidade Operacional	Gestão Integrada de Segurança
<b>Governamental</b>	Alto: o roteamento único ao mestre pode gerar gargalo em ações com muitas gravações simultâneas, que são comuns nessa área.	Médio: cenários multi-jurisdicionais e cadeias logísticas dispersas demandam sharding que deve ser implementado manualmente, elevando complexidade.	Baixo: consultas sobre intervalos de datas e valores orçamentários críticos podem cair em full-scan quando há propriedades nulas ou ausência de índices de intervalo.	Alto: exigência de abertura de portas, coordenação de backups e upgrades em ambientes sensíveis (data centers governamentais) adiciona sobrecarga operacional.	Médio: embora exista gerenciamento de usuários na Enterprise Edition, em ambientes restritos é preciso reforçar via camada de aplicação.
<b>Financeiro</b>	Alto: milhares de transações por segundo em sistemas antifraude e de compensação, risco de latência no nó mestre compromete SLAs de mercado.	Médio: escritórios e data centers globais requerem partição de dados para localização de clientes e conformidade regulatória, sem suporte automático.	Alto: análises de fraude dependem de consultas de intervalo sobre valores de transação e datas — fallback a varredura total prejudica a detecção em tempo real.	Médio: processos de atualização e failover precisam seguir janelas de manutenção estreitas, mas contam com ferramentas Enterprise para automação parcial.	Alto: requisitos regulatórios exigem controle de acessos e auditoria fina, em que qualquer deficiência na gestão nativa impõe desenvolvimento adicional.
<b>Telecomunicações</b>	Baixo: métricas de performance e eventos de rede são geradas continuamente, mas geralmente em lotes ou streams moderados, contornáveis com tuning de JVM.	Alto: provedores multinacionais precisam fragmentar grafo entre data centers para latência global, sem particionamento nativo a implantação torna-se custosa.	Baixo: consultas de topologia e traversals (“index-free adjacency”) são majoritariamente baseadas em relações, não em intervalos de propriedade.	Alto: infraestrutura distribuída (edge + core), múltiplas zonas de segurança e políticas de backup exigem configuração manual detalhada.	Médio: autenticação de dispositivos e integração com sistemas OSS/BSS demandam ajustes, mas funcionalidades básicas de gestão podem ser estendidas por plugins.

<b>Varejo</b>	Baixo: picos de pedidos em promoções online geram alto volume de escritas, mas podem ser suavizados com throttling ou buffers externos.	Médio: redes de distribuição regionais podem beneficiar-se de sharding, mas casos de uso típicos concentram-se em poucos centros, reduzindo urgência.	Baixo: sistemas de recomendação e roteirização usam principalmente traversals por afinidade, pouco afetados por limitações de índices de intervalo.	Médio: ambientes on-premise ou em nuvem híbrida exigem scripts de atualização e coordenação de firewall.	Baixo: gestão básica de usuários via Enterprise costuma atender sem necessidade de camadas extras.
---------------	---	---	---	--	--

Tabela 2 - Análise do Impacto das limitações do Neo4j nos estudos de caso apresentados.

9. Conclusões

Ao longo deste estudo, evidenciou-se que a representação explícita de relacionamentos e a navegação por grafos conferem aos bancos de dados em grafos um diferencial substancial em cenários nos quais as conexões entre entidades são tão importantes quanto os próprios dados. Desse modo, sistemas que contam com aplicações de recomendação, detecção de fraudes, gestão de redes de dispositivos, entre outras, beneficiam-se diretamente desta modelagem, alcançando desempenho e expressividade que dificilmente seriam obtidos em bases relacionais ou em algumas alternativas NoSQL.

Entretanto, tanto o paradigma de banco de dados em grafos quanto o Neo4j, enquanto sistema de gerenciamento, apresentam particularidades e pontos fracos que não podem ser negligenciados na fase de seleção de tecnologias, sendo que aspectos como a escalabilidade de escrita centralizada, a obrigatoriedade de particionamento manual, as limitações de indexação, a complexidade operacional e as nuances de configuração de memória e segurança impõem desafios técnicos que variam conforme o volume de dados, a distribuição geográfica e os requisitos de disponibilidade de cada projeto.

Portanto, é necessário ponderar essa modelagem considerando suas vantagens e desvantagens, além de uma análise criteriosa dos requisitos funcionais e não funcionais do projeto, cruzando assim essas informações com as relações complexas que podem ser mapeadas com essa representação, trazendo assim robustez e confiabilidade para o projeto.

## 10. Referências

[1] ROBINSON, Ian; WEBBER, Jim; EIFREM, Emil. *Graph databases: new opportunities for connected data*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2015.

[2] NEO4J, INC. *Cypher Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em: <https://neo4j.com/docs/cypher-manual/current/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

[3] ZAGALSKY, Jason. *Graphs in Government: Fulfilling Your Mission with Neo4j Whitepaper*. [S.l.]: Neo4j, 2019. Disponível em: <https://neo4j.com/use-cases/government/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

[4] MATHUR, Nav. *Graph Technology for Financial Services: White Paper*. [S.l.]: Neo4j, 2020. Disponível em: <https://neo4j.com/use-cases/financial-services/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

[5] RATHLE, Phillip. *Driving Innovation in Retail with Graph Technology*. [S.l.]: Neo4j, 2021. Disponível em: <https://neo4j.com/use-cases/retail/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

[6] HODLER, Amy. *Advanced Service Assurance with Neo4j*. [S.l.]: Neo4j, 2021. Disponível em: <https://neo4j.com/use-cases/telecom/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

[7] AL-SAEEDI, Bilal. Factors Influencing NoSQL Adoption: Neo4j. [S.l.]: GitHub, [s.d.]. Disponível em: <https://alronz.github.io/Factors-Influencing-NoSQL-Adoption/site/Neo4j/Results/Strengths%20and%20Weaknesses/>. Acesso em: 2 jul. 2025.

[8] JAVANEXUS. Understanding Limitations of Property Values in Neo4j Cypher. JavaNexus, 17 dez. 2024. Disponível em: <https://javanexus.com/blog/understanding-limitations-property-values-neo4j-cypher>. Acesso em: 2 jul. 2025.

[9] BHALERAU, Ketan. A Closer Look: Neo4j. Medium, 26 dez. 2018. Disponível em: <https://ketan-bhalerao.medium.com/a-closer-look-neo4j-a6e8c84039e0>. Acesso em: 2 jul. 2025.

[10] NEO4J, INC. *Clustering – Operations Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em: <https://neo4j.com/docs/operations-manual/current/core-edge-cluster-architecture/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

[11] NEO4J, INC. *Composite Databases – Operations Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em: <https://neo4j.com/docs/operations-manual/current/composite-databases/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

[12] NEO4J, INC. *Performance and Indexes – Cypher Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em:

<https://neo4j.com/docs/cypher-manual/current/indexes/#query-performance-indexes>. Acesso em: 14 jul. 2025.

[13] NEO4J, INC. *Memory Configuration – Operations Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em: <https://neo4j.com/docs/operations-manual/current/memory-configuration/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

[14] NEO4J, INC. *Manage Users – Operations Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em: <https://neo4j.com/docs/operations-manual/current/authentication-user-management/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

[15] NEO4J, INC. *Cypher Manual*. [S.l.]: Neo4j. Disponível em: <https://neo4j.com/docs/cypher-manual/current/>. Acesso em: 14 jun. 2025.