

Análise de Performance Inbound - Mercado Envios

Resumo da Análise

Este documento técnico apresenta uma análise aprofundada do processo de inbound logístico do Mercado Livre, com foco na performance de agendamentos e na identificação de gargalos operacionais. A partir de uma arquitetura de dados robusta e modular, foi possível calcular KPIs essenciais, como a taxa de pontualidade (*on-time rate*), o tempo mediano de atraso e um índice de criticidade. Os resultados mostram que a baixa pontualidade é um problema recorrente, concentrado em horários e dias específicos, e agravado por um planejamento de agendamento ineficaz. As conclusões e recomendações propostas visam aprimorar o processo, combinando tecnologia, um novo modelo de relacionamento com os vendedores e a adoção de métricas para gerar um impacto real e mensurável na eficiência da cadeia de suprimentos.

1. Contexto e Objetivos

O processo de *inbound* no Mercado Livre (Mercado Envios) depende da coordenação entre *sellers* e centros de distribuição (*warehouses*) para agendar e receber entregas de mercadorias. A ineficiência neste processo, como atrasos e gargalos, impacta diretamente os custos operacionais e o tempo de disponibilidade dos produtos.

O objetivo deste projeto foi desenvolver uma análise diagnóstica que abordasse os seguintes pontos:

- **Análise Histórica:** Utilizar dados de agendamento e chegada para avaliar a performance.
- **Cálculo de KPIs:** Mensurar a pontualidade (*on-time rate*) e a ocupação dos slots.
- **Identificação de Gargalos:** Localizar os *warehouses* e horários com maior sobrecarga.
- **Projeção de Demanda:** Prever a necessidade de *slots* para semanas futuras.
- **Visualização:** Consolidar os achados em um *dashboard* interativo.

2. Metodologia da Análise

A metodologia foi estruturada em três frentes principais: preparação de dados, criação de métricas e modelagem preditiva, todas desenvolvidas utilizando **dbt** e **BigQuery**.

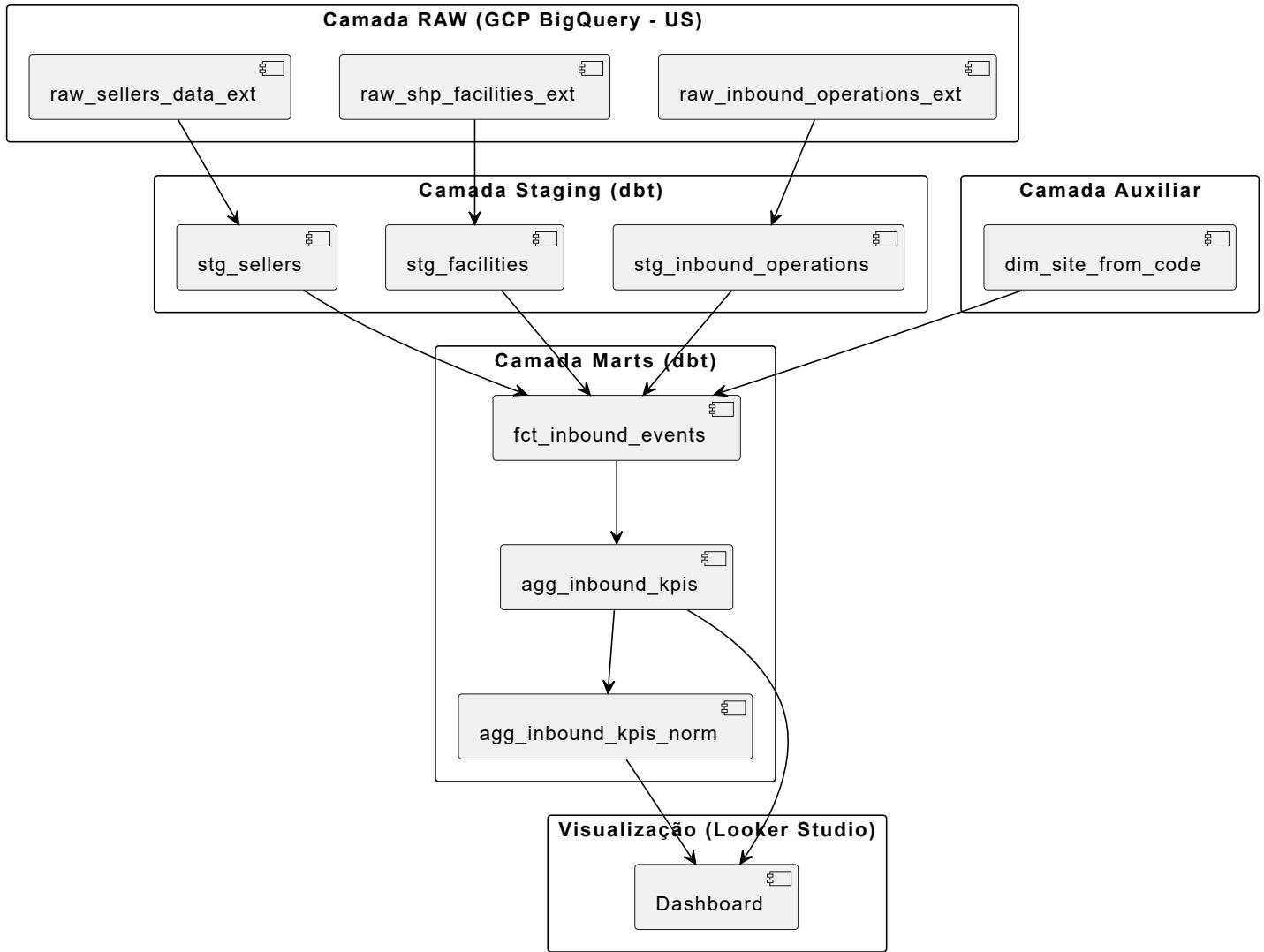
2.1. Arquitetura e Preparação de Dados

O projeto seguiu uma arquitetura de dados em camadas (`RAW` , `STAGING` , `AUX` , `MARTS`) para garantir a qualidade, rastreabilidade e consistência das métricas.

Principais Tratamentos:

- **Fallback de chaves:** O `SITE_ID` foi enriquecido, elevando sua cobertura de **0,02%** para **99,96%**.
- **Filtragem:** Registros inválidos sem `min_appointment_ts` foram removidos, correspondendo a **23,64%** da base inicial.
- **Restrições de dados:** O enriquecimento por `seller_state` foi inviabilizado, pois a dimensão de origem cobria apenas um site.
- **Tratamento de outliers:** Optou-se pelo uso de métricas robustas como a mediana para mitigar o impacto de valores extremos.

A arquitetura final da solução é ilustrada no diagrama abaixo:



2.2. Cálculo de KPIs e Índice de Criticidade

Para mensurar o risco operacional de cada *slot* (horário) em um *warehouse*, foi criado o **Criticality Index**. Ele combina o percentual de atrasos e o volume de agendamentos, normalizando ambos de 0 a 1 e multiplicando o resultado por 100. Uma média ponderada pelo volume foi utilizada para análises agregadas, garantindo que horários de alto volume tivessem maior peso na criticidade geral.

2.3. Modelo Preditivo de Demanda

O modelo preditivo de demanda de slots foi desenvolvido sobre **BigQuery ML** usando o algoritmo **ARIMA_PLUS**. Esta escolha é ideal para séries temporais com padrões sazonais, como o volume de agendamentos diárias. O modelo gera previsões para as próximas duas semanas, o que é fundamental para o planejamento operacional.

Resultados do Modelo (Holdout):

country	n_points	mae	rmse	wmape	pi_coverage_90pct
CO	8	0.605	0.863	0.373	0.500
AR	62	0.986	1.920	0.443	0.871
CL	52	0.702	1.037	0.415	0.769
MX	921	0.860	1.557	0.520	0.767
BR	1157	1.130	2.296	0.523	0.720

Os resultados demonstram que o modelo possui uma acurácia razoável para a maioria dos países, com **MAE < 1** em CO, CL e MX. A **cobertura do intervalo de predição** de 90% para AR e CL reforça sua confiabilidade. Para mercados com maior variabilidade (BR e MX), o modelo ainda fornece previsões operacionais valiosas, mas com potencial de aprimoramento.

3. Principais Achados e Análise dos Dados

A análise dos dados do dashboard revelou os seguintes pontos, abordando diretamente as tarefas e perguntas do case:

3.1. Análise dos Padrões e KPIs

- **Tempo de Atraso e On-time Rate:** O tempo mediano de atraso global é de **346 minutos**. A taxa de pontualidade (*on-time rate*) global é de **11,03%**, indicando uma baixa adesão dos vendedores aos horários agendados. Esse padrão de baixa performance foi observado em diversos *warehouses*, com casos de 0% de pontualidade em sites específicos.
- **Padrões Identificados:** A concentração de atrasos é maior nos primeiros horários da manhã (até 7h). Embora o maior volume de agendamentos ocorra entre 7h e 10h, a análise revelou que os atrasos nem sempre estão correlacionados apenas com o volume, sugerindo que outros fatores operacionais e a alocação de slots em horários críticos podem ser parte do problema.
- **Gargalos Operacionais (*Criticality Index*):** O *heatmap* do Índice de Criticidade destaca que o horário mais crítico para agendamentos é **7h da manhã**. Neste período, o alto volume de agendamentos coincide com um aumento significativo nos atrasos, tornando-o um alvo prioritário para intervenções.
- **Projeção de Demanda:** A análise do modelo preditivo para os próximos 14 dias indica picos de agendamento previstos para **8h, 17h e 18h**, permitindo ao time de logística se preparar proativamente.

4. Recomendações Estratégicas e Conclusões

Com base nos padrões identificados, a baixa pontualidade e os atrasos nos *slots* de agendamento podem ser corrigidos com uma abordagem que combina tecnologia, incentivos e gestão de performance.

4.1. Recomendações para Melhorar o Processo de Agendamento

- **Sistema de Agendamento Dinâmico de Slots:** Implementar uma plataforma que otimize a ocupação das docas em tempo real, ajustando a disponibilidade de *slots* com base na capacidade operacional do dia e na demanda prevista pelo modelo preditivo. Isso permite redistribuir o fluxo de entregas, evitando picos e subutilização.
- **Programa de Performance para Vendedores:** Criar um sistema de pontuação baseado em KPIs como a taxa de pontualidade, acuracidade dos dados de agendamento (ASN) e qualidade das entregas. Vendedores de alta performance seriam recompensados com acesso a *slots* preferenciais, enquanto os de baixa performance passariam por um plano de ação corretiva.
- **Adoção e Expansão de Funcionalidades WMS:** Investir na integração das funcionalidades do Sistema de Gerenciamento de Armazém (WMS) para otimizar o processo de recebimento, inspeção e *putaway*.
- **Modelo de Abastecimento Proativo (*Auto-Replenishment*):** Utilizar dados de vendas e previsões para gerar automaticamente pedidos de reabastecimento aos vendedores, pré-agendando os *slots* de entrega. Esta abordagem de senioridade transforma um processo reativo em proativo, alinhando a cadeia de suprimentos à demanda.

4.2. KPIs para Monitoramento de Melhorias

Para mensurar o impacto das recomendações, sugere-se o acompanhamento de novos KPIs:

- **Truck Turnaround Time:** Tempo médio de permanência dos caminhões nas docas.
- **Receiving Cycle Time:** Tempo desde a chegada da mercadoria no armazém até sua disponibilidade no sistema de estoque.

- **Acurácia de Agendamento:** Percentual de entregas que chegam precisamente dentro do *slot* agendado.
- **Índice de Criticidade Médio:** Acompanhar a redução da criticidade geral dos *slots* e horários de pico.

4.3. Automação de Relatórios e Alertas

A automação é essencial para escalar as melhorias. A solução proposta é estruturada em duas frentes:

- **Relatórios:** Monitoramento periódico e detalhado via **Looker Studio**, com métricas e previsões atualizadas por um pipeline de dados (**Airflow + dbt**). Relatórios podem ser gerados e enviados automaticamente via e-mail.
- **Alertas:** Notificações imediatas de eventos críticos. Gatilhos seriam definidos para situações como **Criticality Index** acima de um limiar, ou *on-time rate* abaixo do esperado. As notificações seriam enviadas via **Slack** ou **Microsoft Teams** usando **Cloud Functions**, permitindo uma ação rápida e cirúrgica.

5. Conclusões Finais

A análise diagnóstica dos dados revela que a baixa pontualidade é um sintoma de problemas subjacentes de planejamento no agendamento, concentrados em horários e locais previsíveis. As recomendações propostas, focadas em tecnologia, incentivos e automação, buscam representar um plano de ação factível para transformar o processo de *inbound*. Ao implementar essas mudanças, a empresa pode não apenas melhorar a pontualidade, mas também otimizar a alocação de recursos, reduzir custos e, finalmente, fortalecer o relacionamento com os *sellers*, garantindo um crescimento sustentável da operação.

6. Links Úteis

- [Dashboard](#)
- [Apresentação](#)
- [Análise EDA](#)
- [Repositório de códigos](#)