



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA MONTEIRO SIMÕES

**INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA
METROFERROVIÁRIO E NÍVEL DE INTERAÇÃO NA ÁREA
DE INTERFACE PLATAFORMA-TREM**

Recife

2019

LETÍCIA MONTEIRO SIMÕES

**INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA
METROFERROVIÁRIO E NÍVEL DE INTERAÇÃO NA ÁREA
DE INTERFACE PLATAFORMA-TREM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Transportes e Gestão das Infraestruturas Urbanas

Orientadora: Prof^a. Dr^a Maria Leonor Alves Maia.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

S593i

Simões, Letícia Monteiro.

Influência do carregamento na eficiência do sistema metroferroviário e nível de interação na área de interface plataforma-trem / Letícia Monteiro Simões – Recife, 2019.

159f., il., gráfs., tabs., abrev.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Leonor Alves Maia.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

Inclui Referências, Apêndices e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Transporte metroferroviário. 3. Dwell time. 4. Interface plataforma-trem. I. Maia, Maria Leonor Alves (Orientadora). II. Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE

BCTG/2019 -242



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

**INFLUÊNCIA DO CARREGAMENTO NA EFICIÊNCIA DO SISTEMA
METROFERROVIÁRIO E NÍVEL DE INTERAÇÃO NA ÁREA
DE INTERFACE PLATAFORMA-TREM**

defendida por

Letícia Monteiro Simões

Considera a candidata APROVADA

Recife, 27 de fevereiro de 2019

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a Maria Leonor Alves Maia - UFPE
(Orientadora)

Prof. Dr. Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho – UFC
(Examinador Externo)

Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira - UFPE
(Examinador Interno)

À minha filha, Alice e ao meu marido, Hugo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre guiar meus caminhos.

Agradeço à minha família pelo apoio e compreensão das minhas ausências, em especial à minha filha, Alice, e marido, Hugo, que iluminam meus dias e participaram direta e indiretamente dessa jornada.

Aos meus pais que sempre me direcionaram para os estudos, dando todo o suporte, incentivo e ensinamentos para a vida.

Muito obrigada aos professores, colegas e funcionários da PPGEC, em especial à minha orientadora, Prof. Maria Leonor, pelos imensos conhecimentos passados e apoio. Ao Prof. Maurício Andrade, pela presteza, grande ajuda na retomada dessa pesquisa e ótimas discussões em sala de aula.

Agradeço aos amigos e colegas da CBTU STU-REC, Fabíola, Sarita, Renata, Rodrigo, Sandra, Sérgio e tantos outros, pelo incentivo, apoio e conhecimentos divididos nesse caminho trilhado.

A Adriano Amorim, por dividir seus conhecimentos, pelo imenso apoio, palavras de incentivo e sabedoria proferidas, que tornaram esse trabalho possível.

A João José, por toda atenção, ajuda, incentivo e apoio na elaboração da dissertação.

Aos colegas que colaboraram com dados preciosos para este trabalho: Itamar, Rômulo, Vandeildo, Alisson, Cláudio Sena, Maranhão, Carlos Eduardo, Graça e tantos outros que não foram citados aqui.

À Companhia Brasileira de Trens Urbanos – Superintendência Recife – STU REC por gentilmente disponibilizar materiais e informações para essa pesquisa.

Muito grata aos familiares e amigos de hoje e de sempre, que, mesmo distantes, fazem parte da minha vida e história, emanando sempre boas energias para as grandes conquistas como esta.

“[...] a cidade repete uma vida idêntica deslocando-se para cima e para baixo em seu tabuleiro vazio. Os habitantes voltam a recitar as mesmas cenas com atores diferentes, contam as mesmas anedotas com diferentes combinações de palavras [...]”
(ITALO CALVINO, 1972, p. 63)

RESUMO

O transporte metroferroviário, por ser um modo de alta capacidade, confiável e rápido para deslocamento de passageiros nas grandes cidades, conta com estações que possibilitam a fluidez na interface entre plataformas e trens. Grandes carregamentos de passageiros geram impedância no processo de embarque e desembarque, aumento no *dwell time* e nos intervalos entre os trens, gerando atraso, menor velocidade de operação, reduzindo a capacidade do sistema. Considerando um sistema saturado, a pesquisa buscou mostrar em que medida o carregamento dos trens afeta a eficiência do sistema metroferroviário e o nível de interação na interface plataforma-trem, e em seguida, dar diretrizes para minimizar os impactos nos índices de eficiência. Através do método de coleta de dados, a partir do estudo empírico do Metrô do Recife, a pesquisa contou com análise de dados operacionais e estudo empírico sobre imagens de CFTV de uma viagem em horário de pico. O nível de interação, produto da densidade crítica e da percepção de risco, foi detalhado em matriz de comportamento e interação no embarque e desembarque, contemplando as infraestruturas e tipos de passageiros. Conclui-se que o carregamento influencia a eficiência do sistema, porém não é o único determinante do nível de interação, que depende do comportamento dos passageiros. Como diretrizes, são sugeridas medidas físicas, operacionais e tecnológicas, para promover aumento na eficiência do sistema e dar mais segurança, induzindo um comportamento positivo dos usuários.

Palavras-chave: Transporte metroferroviário. Dwell time. Interface plataforma-trem.

ABSTRACT

The urban rail transit, due to its high capacity, reliability and ability to enable fast displacement of passengers in big cities, relies on station facilities in order to allow for fluidity in the interface between platforms and trains. Large loading of passengers adds impedance in the boarding and alighting process, increase both the dwell time and the headway, giving rise to delays, decrease in operational speed and reducing the system's capacity. By considering a saturated system, this research analyzed at which level the loading of trains affects the rail system's efficiency and the level of interaction in the platform-train interface, thereby outlining proper measures to minimize the impact in the efficiency indexes. Using a data collection methodology, through an empirical study of the rail service available in the city of Recife, this research analyzed the operational data and empirical study on CFTV imaging obtained from a travel during peak hours. The level of interaction, a direct product of the critical density with the risk perception, was detailed through Boarding and Alighting Matrix of Behavior and Interaction framework, taking into account the area where the interaction happens and the type of users. It can be concluded that the analysis shows that the train loading has a direct influence in the system's efficiency, but the interaction level is also dependent on the passenger's behavior. Physical, operational and technological measures are suggested to increase system efficiency and provide safety for the users, which can induce positive passenger behavior.

Keywords: Urban rail transit. Dwell time. Platform-train interface.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Elementos relacionados à IPT	22
Figura 2 -	Diagrama <i>dwell Time</i>	28
Figura 3 -	Representação de forças que afetam pedestres no espaço contínuo a partir do modelo de força social de Helbing e Molnar (1995)	44
Figura 4 -	Representação esquemática do processo de mudanças de comportamentos	45
Figura 5 -	Níveis de serviço Fruin (1971) como função da densidade de passageiros/m ²	47
Figura 6 -	Nível de lotação de Trem – NLT	49
Figura 7 -	Nível de lotação da plataforma – NLP	50
Figura 8 -	Mapa do sistema CBTU - STU Recife	64
Figura 9 -	Vista lateral e Planta baixa do TUE da fabricante CAF	65
Figura 10 -	Linhas operadas pela CBTU STU Recife	67
Figura 11 -	Foto de satélite de trecho do sistema Metrorec entre estação Recife e Barro	73
Figura 12 -	Situação da Estação Joana Bezerra	75
Figura 13 -	Planta Baixa Plataforma 1C - REC e Plataforma 1C- JOA	76
Figura 14 -	Situação da Estação Afogados	77
Figura 15 -	Situação da Estação Barro	78
Figura 16 -	Planta Baixa Plataforma 1 - Estação AFO e Estação BAR	79
Figura 17 -	Densidade e Nível de Lotação do Trem – NLT	86
Figura 18 -	Densidade e Nível de Lotação da Plataforma – NLP	87
Figura 19 -	Exemplo de mapa de interação por categoria de usuário e tipo de infraestrutura	93
Figura 20 -	Nível de aglomeração do trem na porta crítica em REC	99
Figura 21 -	Nível de aglomeração da plataforma em REC	99
Figura 22 -	Nível de aglomeração do trem em JOA	99
Figura 23 -	Nível de aglomeração da plataforma em JOA	100
Figura 24 -	Nível de aglomeração do trem em AFO	100
Figura 25 -	Nível de aglomeração da plataforma em AFO	100
Figura 26 -	Nível de aglomeração do trem em BAR	101

Figura 27 - Nível de aglomeração da plataforma em BAR	101
Figura 28 - Movimentação de passageiros no trecho de plataforma em frente à porta crítica em REC (Porta 1 do carro 4)	105
Figura 29 - Ocupação do trem na porta crítica em REC (Porta 1 do carro 4)	106
Figura 30 - Densidade de ocupação no trecho de plataforma em frente à porta crítica em JOA (Porta 3 do carro 2)	107
Figura 31 - Movimentação de passageiros no trecho de plataforma e frente à porta crítica em JOA (Porta 3 do carro 2)	108
Figura 32 - Densidade de ocupação na porta crítica do trem em JOA (Porta 1 do carro 2)	109
Figura 33 - Densidade de ocupação no trecho de plataforma em frente à porta crítica em AFO (Portal 1 do carro 2)	109
Figura 34 - Movimentação de passageiros no trecho de plataforma em frente à porta crítica em AFO (Porta 1 do carro 2)	110
Figura 35 - Densidade de ocupação na porta do trem parado em AFO (Porta 1 do carro 2)	111
Figura 36 - Densidade de ocupação no trecho de plataforma em frente à crítica em BAR (Porta 1 do carro 4)	112
Figura 37 - Densidade de ocupação na porta em BAR (Porta 1 do carro 4)	112
Figura 38 - Mapas de interação por categoria de usuário e tipo de infraestrutura	124
Figura 39 - Ampliação da plataforma REC 1C e transformação em ilha	138
Figura 40 - Exemplo de demarcação das zonas livres de ocupação	138
Figura 41 - Portas com direção única	139
Figura 42 - Ampliação das estações conforme expansão prevista	139

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Box plot dos dados de carregamento em REC.	126
Gráfico 2 - Box plot dos dados de carregamento em JOA.	126
Gráfico 3 - Box plot dos dados de carregamento em AFO.	127
Gráfico 4 - Box plot dos dados de carregamento em BAR.	127
Gráfico 5 - Box plot dos dados de tempo de parada em REC.	128
Gráfico 6 - Box plot dos dados de tempo de parada em JOA.	128
Gráfico 7 - Box plot dos dados de tempo de parada em AFO.	129
Gráfico 8 - Box plot dos dados de tempo de parada em BAR.	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese dos parâmetros para dimensionamento da plataforma.....	41
Tabela 2 - Nível do serviço mínimo para diferentes tipos de infraestrutura.	48
Tabela 3 - <i>Template</i> do modelo DIM-ICE.	54
Tabela 4 - Síntese das Medidas para Gerenciamento de Aglomerações.	59
Tabela 5 - Quadro Resumo da Revisão Bibliográfica.	60
Tabela 6 - Dados coletados na viagem estudada.	84
Tabela 7 - Variáveis que afetam comportamento e interação no estudo proposto.	90
Tabela 8 - Grau de interação entre passageiros de embarque e desembarque na área IPT. .	92
Tabela 9 - Quadro resumo das densidades.	102
Tabela 10 - Síntese de aspectos estáticos e dinâmicos nas portas críticas.	103
Tabela 11 - Variáveis aplicadas às portas críticas.	114
Tabela 12 - Matriz aplicada a REC.	117
Tabela 13 - Matriz aplicada a JOA.	118
Tabela 14 - Matriz aplicada a AFO.	119
Tabela 15 - Matriz aplicada a BAR.	121
Tabela 16 - Análise de correlação de variáveis de carregamento e <i>dwell time</i>	130
Tabela 17 - Análise de correlação de variáveis de carregamento e <i>dwell time</i> por estação.	130

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	20
1.2	OBJETIVOS DA PESQUISA	22
1.2.1	Objetivo Principal	22
1.2.2	Objetivos Específicos	22
1.3	ESTRUTURA DO DOCUMENTO	23
2	ELEMENTOS DE INTERAÇÃO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM	25
2.1	A INTERFACE PLATAFORMA-TREM – IPT	25
2.2	CONCEITOS OPERACIONAIS DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO.....	26
2.2.1	Capacidade operacional do sistema metroferroviário	26
2.2.2	<i>Dwell time</i> ou tempo de parada e eficiência na operação	28
2.3	DIMENSIONAMENTO OPERACIONAL DE PLATAFORMAS	32
2.3.1	Método empírico de dimensionamento	35
2.3.2	Método analítico	35
2.3.3	Modelos de simulação	36
2.3.4	Métodos utilizados para dimensionamento de plataformas	37
2.3.5	Desafios para projeto e dimensionamento de plataformas	41
2.4	NÍVEIS DE SERVIÇO COMO INDUTORES DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES	42
2.4.1	Comportamento dos passageiros nas estações e plataformas em função do nível de serviço	43
2.4.2	Níveis de Serviço	46
2.4.3	Comportamento no embarque e desembarque	50
2.5	O PROCESSO DE EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS...	51
2.6	PERCEPÇÃO DE RISCO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM – IPT...	52
2.7	NÍVEL DE INTERAÇÃO NO PROCESSO DE EMBARQUE E DESEMBARQUE	55

2.8	MEDIDAS PARA GERENCIAMENTO DE AGLOMERAÇÕES	56
2.9	CONCLUSÃO	59
3	METODOLOGIA	61
3.1	JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO MÉTODO	61
3.2	REVISÃO DE LITERATURA	61
3.3	COLETA DE DADOS E ESTUDO EMPÍRICO	62
3.3.1	Delimitação e caracterização da área de estudo	63
3.3.1.1	Visão geral do sistema Metrô do Recife	64
3.3.1.2	Material Rodante	65
3.3.1.3	Linha Centro	66
3.3.1.4	Características Operacionais da Linha Centro	68
3.3.1.5	Partido arquitetônico das estações da Linha Centro	69
3.3.2	Escolha das estações a serem estudadas	70
3.3.2.1	Entrevistas com funcionários da Operação	70
3.3.2.2	Observações em campo	71
3.3.2.3	Definição do trecho e estações estudadas	73
3.3.2.4	Estação Recife (REC)	74
3.3.2.5	Estação Joana Bezerra (JOA)	75
3.3.2.6	Estação Afogados (AFO)	77
3.3.2.7	Estação Barro (BAR).....	78
3.3.3	Coleta de dados operacionais	80
3.3.3.1	Tabela Horária	80
3.3.3.2	Dados compilados de peso dos trens	81
3.3.3.3	Dados compilados de tempo de parada do trem	82
3.3.3.4	Planilha de Controle Operacional de Chegadas e Partidas dos trens	82
3.3.3.5	Diário Operacional do período estudado	82
3.3.3.6	Escolha da viagem amostral	83
3.3.4	Observações da movimentação de passageiros no embarque e desembarque	84
3.3.5	Observações de aspectos estáticos e dinâmicos	85

3.3.5.1	Dados estáticos	85
3.3.5.2	Dados dinâmicos	85
3.3.6	Matriz de comportamento e interação de embarque e desembarque	88
3.3.6.1	Modelo de representação e mapa de interação	88
3.3.6.2	Identificação das variáveis	89
3.3.6.3	Matriz de interação e comportamento no embarque e desembarque	91
3.4	ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS E OBSERVAÇÕES	93
3.4.1	Análise estatística das variáveis de carregamento e <i>dwell time</i>	93
3.4.2	Relações entre carregamento, <i>dwell time</i> e níveis de interação encontrados	94
3.4.3	Diretrizes de ações mitigadoras para os problemas encontrados	94
3.5	CONCLUSÃO	94
4	OBSERVAÇÕES DA INTERFACE PLATAFORMA-TREM – IPT.....	96
4.1	OBSERVAÇÕES INICIAIS	96
4.2	LEVANTAMENTO E OBSERVAÇÃO DE DADOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS	98
4.3	NÍVEL DE INTERAÇÃO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM – IPT...	103
4.3.1	Modelo de representação e mapa de interação	104
4.3.2	Variáveis aplicadas ao Nível de Interação	113
4.3.3	Nível de Interação	115
5	ANÁLISE DA REALIDADE ENCONTRADA	125
5.1	DADOS OPERACIONAIS E OBSERVAÇÃO DE INTERFERÊNCIAS	125
5.1.1	Teste das variáveis de carregamento	125
5.1.2	Teste das variáveis de <i>dwell time</i>	128
5.1.3	Testes de correlação entre as variáveis de carregamento e <i>dwell time</i>	130
5.1.4	Relação dos dados coletados com a viagem amostral	131
5.2	INTERFERÊNCIAS DA INTERAÇÃO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM NO <i>DWELL TIME</i> PLANEJADO	132
5.2.1	Elementos estudados segundo os achados do estudo empírico	133
5.3	DIRETRIZES DE MEDIDAS PARA GERENCIAMENTO DE AGLOMERAÇÕES	135

5.3.1	Medidas Operacionais	136
5.3.2	Medidas de intervenções físicas	137
5.3.3	Medidas de intervenções tecnológicas	139
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	141
	REFERÊNCIAS	144
	APÊNDICE A - ENTREVISTAS COM TÉCNICOS DA GERÊNCIA DE	
	OPERAÇÃO DO METRÔ DO RECIFE	149
	ANEXO A - DADOS DE OPERAÇÃO	154

1 INTRODUÇÃO

Para atender às necessidades de deslocamento população urbana das grandes cidades, o transporte metroferroviário é eficiente nas demandas acima de 50.000 passageiros/ hora/ sentido. A alta capacidade de transportar provém do deslocamento em via exclusiva segregada e da rapidez de movimentação dos passageiros no processo de embarque e desembarque nas plataformas de estações.

As estações metroferroviárias proporcionam acesso e saída de passageiros ao sistema de forma rápida e eficiente. Como o pagamento da tarifa é antecipado, os usuários acessam o sistema e se direcionam para a plataforma, onde o movimento de embarque e desembarque de passageiros ocorre, com a fluidez e a rapidez necessárias para operação de transporte de alta capacidade. Esta interface entre as estações e os meios de circulação, ou seja, os trens, ocorre nas plataformas durante o período chamado *dwell time* ou tempo de parada, que é o tempo decorrido durante a parada dos trens na plataforma, abertura de portas, desembarque, embarque de passageiros e a partida do trem.

Em razão do grande adensamento do ambiente urbano, má distribuição das atividades e padronização de horários de trabalho, os sistemas de transportes públicos acabam se tornando saturados, como em muitas cidades do mundo, onde estão atingindo sua capacidade operacional máxima (KAREKLA; TYLER, 2012). Além do mais, o desafio de transportar esse grande volume de passageiros é operar nos períodos de superlotação de trens e plataformas, visto que a capacidade do serviço metroferroviário não consegue acompanhar o crescente número de passageiros nas grandes cidades (FOX; KIRKWOOD; CAIN, 2017).

Tanto em caso de saturação, como de subutilização da infraestrutura instalada, nota-se um baixo índice de Mobilidade Produtiva (PORTUGAL; ALVES; ROSSI, 2017), que se verifica quando os recursos públicos disponibilizados para a operação dos transportes não são eficientes, ou seja, não há equilíbrio entre a demanda de viagens e a oferta de transportes. Portanto, pode-se observar a relação entre a capacidade ferroviária e as taxas de embarque e desembarque nas estações, a fim de propor intervenções de modificação de capacidade de transporte ou de atratividade do lugar para manter este equilíbrio. Assim, o sistema, principalmente os meios de circulação e estações, deve ser concebido levando em consideração a demanda de passageiros, a oferta de trens e o reflexo da densidade de ocupação de estações e trens na qualidade e conforto da viagem (TIRACHINI; HENSHER; ROSE, 2013).

O projeto das estações torna-se um fator importante no processo de direcionamento dos usuários no embarque e desembarque dos trens, entre os acessos/saídas dos passageiros nas plataformas. Nas plataformas de embarque e desembarque de passageiros, local onde ocorre a interface com o meio de circulação de alta capacidade, pode-se observar aspectos relacionados à macro acessibilidade do sistema metroferroviário, ou seja, a facilidade de circular pelo espaço para atingir destinos desejados, que vai desde as ações de acesso ao veículo, tempo de espera e tempo para acessar o destino final, após desembarque (VASCONCELLOS, 2001).

A área de interface plataforma-trem - IPT se localiza entre a porta do trem e o espaço da faixa de segurança de 0,60 m demarcada na borda da plataforma (SERIANI, 2016). Esta interface tem grande potencial de interação, agravado pela densidade de ocupação e pelo risco de acidentes no decorrer do processo de embarque e desembarque.

Dentro das estações metroferroviárias, os usuários se comportam como pedestres ao direcionarem-se para o trem, influenciados pela densidade e suas características pessoais, tais como idade, gênero, cultura, perfil de tomada de decisões ou até mesmo se portam bagagem ou não (DAAMEN, 2004). Estas características podem mudar a forma como o usuário se movimenta ao longo das plataformas, que influencia na escolha de qual carro embarcar, causando um desbalanceamento no carregamento do trem, que gera problemas de segurança do usuário e impacto financeiro, dado o aumento do *dwell time* provocado pelo grande número de passageiros a embarcar (FOX; OLIVEIRA; CAIN, 2017). A partir do momento em que há atraso acumulado, e viagens precisam ser canceladas para não comprometer a pontualidade, há prejuízo para o sistema, visto que a capacidade de transportar diminui, porém o custo da infraestrutura para operação e manutenção permanece o mesmo.

O aumento do *dwell time*, além do planejado, resulta no atraso do programa horário e no tempo de viagem (KAREKLA; TYLER, 2012), visto que o processo de embarque e desembarque consome mais de 60% do tempo de parada do trem (WIGGENRAAD, 2001). A capacidade de vazão das portas do trem se relaciona com o espaço disponível na plataforma, assim como o tempo de embarque e desembarque é influenciado pelo número de passageiros a bordo do veículo (HARRIS; ANDERSON, 2007).

Há estudos em sistemas metroferroviários saturados em grandes cidades, tais como Londres (KAREKLA; TYLER, 2012), Tóquio (HIBINO; YAMASHITA; MARIYAZAKI; MORICHI, 2010), Hong Kong (ZHANG; HAN; LI, 2008), Roterdã (DAAMEN, 2004), onde se pretende cumprir o intervalo entre os trens ou reduzir ao máximo os atrasos de

programação e possibilitar um aumento da capacidade de transportar. Sendo assim, busca-se melhorar o processo de embarque e desembarque de passageiros para realizar um *dwell time* mais próximo possível do planejado, visto que a capacidade do sistema já está no limite e para aumentá-la seria necessário grande investimento.

A superlotação dos sistemas metroferroviários é um problema das grandes cidades do mundo e afeta significativamente o programa horário e tempo de parada, e como consequência, há redução da capacidade do sistema em prestar o serviço, diminuindo a percepção de qualidade pelo usuário. As condições de serviço adequadas aos usuários nas estações são produto da segurança, fluidez, macroacessibilidade, microacessibilidade e nível de serviço (VASCONCELLOS, 2001). O conceito de macroacessibilidade é a facilidade de circular pelo espaço para atingir destinos desejados e engloba a microacessibilidade. Enquanto a macroacessibilidade é composta pelo tempo de acesso ao veículo, tempo de espera, tempo dentro do veículo e para acessar o destino após desembarque, a microacessibilidade, como facilidade relativa de ter acesso direto aos veículos e aos destinos, inclui a ação de acessar e sair do veículo em direção ao destino final. Assim, o estudo das interações entre usuários, plataforma e trem, derivados do processo de embarque e desembarque, mostra sua importância para a caracterização da microacessibilidade dos passageiros no sistema metroferroviário.

A abordagem deste tema permite avaliar a influência do carregamento de passageiros nos trens e saturação do sistema metroferroviário nas plataformas e no nível de interação entre passageiros, servindo de base para elaboração de diretrizes a fim de atingir melhores condições de serviço, segurança e tempo de viagem. O presente trabalho pode servir como modelo para avaliações, estudos e simulações de novos projetos, da viabilidade de reformas de estações e ampliação de sistemas metroferroviários, em decorrência de correção de problemas existentes, crescimento populacional, implantação de novas linhas ou incremento de demanda por integração ou novos polos geradores de viagens.

Sendo assim, o presente trabalho visa definir o quanto o carregamento dos trens interfere nos índices de eficiência do sistema metroferroviário e no nível de interação da área de interface plataforma-trem, realizando um estudo empírico da movimentação de passageiros em horário de pico no sistema de metrô do Recife, operado pela Companhia Brasileira de Trens Urbanos - CBTU.

1.1 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

A superlotação dos sistemas metroferroviários atinge tanto os trens, quanto as estações, principalmente pela má distribuição dos passageiros ao longo das plataformas, nas proximidades dos acessos, ocasionando o carregamento desbalanceado dos trens e dificuldade para os usuários no movimento de embarque e desembarque (FOX; OLIVEIRA; KIRKWOOD; CAIN, 2017). Desta forma, excetuando-se problemas operacionais de sistemas metroferroviários, a distribuição de usos e atividades pelas cidades de maneira desbalanceada e desconectada com a infraestrutura de transportes, além da padronização de horários de funcionamento de empresas e instituições de ensino, resultam em estações e trens com maior volume de passageiros em determinados horários do dia e trechos de via, enquanto outros trechos estão subutilizados.

Os operadores de transportes sobre trilhos estabelecem uma tabela horária, contendo a programação planejada de horários de chegadas e partidas dos trens em cada estação durante o período de funcionamento do sistema metroferroviário, com intervalos diferentes em horário de pico e de vale, devido à quantidade de trens injetados no sistema para suprir a demanda. A referida tabela considera o tempo de deslocamento entre estações e o tempo de permanência em cada plataforma e o número de viagens programadas para acontecer no horário comercial.

Como o sistema metroferroviário opera de forma “circular imaginária”, considerando que ao final de cada sentido de via, existe um prolongamento onde o trem faz o retorno e continua a operação no sentido contrário, todos os dias antes de iniciar a operação, os trens que vão circular são distribuídos num chamado “carrossel”, expressão usada que faz referência à circulação de ida e volta na mesma linha. Este arranjo se dá de acordo com o planejamento da ordem, quantidade de trens e o intervalo de tempo estes durante a operação.

O *dwell time*, ou tempo de parada do trem na estação, impacta nos tempos do ciclo dos trens (a diferença entre o horário de partida da primeira estação até a sua chegada na mesma, completando o ciclo da linha) e, conseqüentemente, sobre o número de trens que operam na linha. Portanto, um *dwell time* maior que o previsto gera atraso no programa horário, aumenta o tempo de viagem e demanda maior quantidade de material rodante para atender a demanda (KAREKLA; TYLER, 2012).

Quanto maior o atraso, maior o tempo de espera e maior número de passageiros na plataforma para embarcar. Estas aglomerações formadas nas plataformas e dentro dos trens,

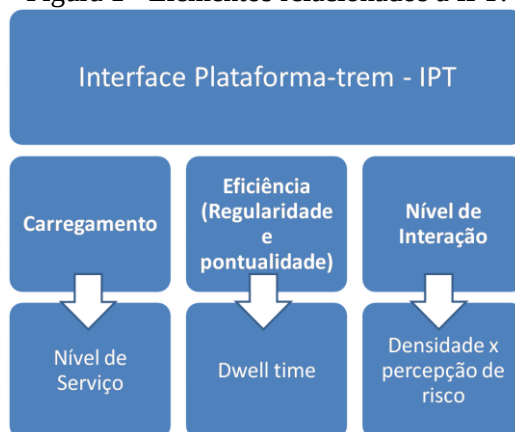
principalmente próximo às portas, dificultam o fluxo de passageiros no embarque e desembarque, pois a densidade de ocupação de um espaço aumenta a dificuldade de deslocamento, chegando a um ponto de saturação, no qual não é possível se deslocar (FRUIN, 1971), o que traz como consequência um maior tempo de parada.

Como o tempo de embarque e desembarque é maior que o planejado, aumenta o *dwell time* e o *headway*, que é o tempo decorrido (expresso em minutos) entre o momento que um trem e seu subsequente passam por um ponto fixo, no caso, uma estação, circulando numa mesma linha e direção (VUCHIC, 2005). Quanto maior o tempo de parada e *headway*, reduz-se a velocidade de operação, para manter uma distância segura entre os trens, o que pode acabar afetando a capacidade do sistema (KAREKLA; TYLER, 2012), pois como os trens operam de forma circular, há um atraso geral, como num círculo vicioso (HIBINO *et al.*, 2010; YAMAMURA *et al.*, 2014), afetando a pontualidade do sistema.

Como os atrasos acumulados diminuem a velocidade operacional dos trens e a capacidade do sistema, e de modo a não diminuir ainda mais os índices de pontualidade, ocorrem cancelamentos de viagens ao longo do dia, o que repercute na regularidade. Portanto, ao cancelar uma viagem, os passageiros que estavam aguardando para embarcar, se juntam aos demais que continuam chegando, provocando superlotação nas estações, dificuldade de locomoção dos usuários ao longo da plataforma no período de embarque e desembarque e problemas de segurança, devido ao risco associado ao movimento de pessoas próximo a trens em movimento, a linhas elétricas de alta tensão e risco de quedas na via férrea.

Dentre os conceitos apresentados anteriormente, a figura 1 apresenta a forma como estes elementos se relacionam no presente estudo. Como pano de fundo está a interação plataforma-trem – IPT analisada sob influência de três elementos: carregamento, atrelado ao nível de serviço nos trens e plataformas; o *dwell time*, que quando aumentado gera atrasos que refletem nos índices de pontualidade e regularidade, e; a combinação de densidade/percepção de risco, que compõem o conceito de nível de interação. Estes elementos dão subsídios para avaliar a microacessibilidade do sistema metroferroviário.

Figura 1 - Elementos relacionados à IPT.



Fonte: A Autora, 2018.

Como há uma interação direta entre os passageiros na plataforma e os trens, no movimento de embarque e desembarque, o aumento no *dwell time* resulta em atraso. A superlotação agravada pelo atraso gerado influencia o carregamento, nível de interação e eficiência do sistema.

1.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

A partir dos conceitos de *dwell time*, nível de serviço e nível de interação, atrelados às suas relações na interface plataforma-trem, foram definidos os objetivos deste trabalho, detalhados nas seções a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar quanto o carregamento dos trens interfere (1) na eficiência do sistema e (2) no nível de interação na área de interface de plataforma-trem, propondo diretrizes para aumento da capacidade de transporte do sistema, através de medidas operacionais, físicas e tecnológicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

A partir de observações da movimentação de passageiros e coleta de dados operacionais, pretende-se apontar os problemas e suas possíveis ações mitigadoras, visando à

redução de atrasos de programação dos trens, evitando assim cancelamentos de viagens no final do dia e riscos decorrentes da superlotação. Para isso, foram definidos os objetivos específicos:

- a) Avaliar medidas de redução de *dwell time* para proporcionar mais eficiência no sistema e otimização do processo de embarque e desembarque;
- b) Apontar os possíveis riscos aos quais os usuários estão expostos e as medidas para diminuí-los, sensibilizando os operadores de transportes para adoção de melhorias no sistema.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Essa dissertação segue estruturada em 6 capítulos. O **capítulo 1** é constituído por essa introdução, onde há apresentação do tema estudado, delimitação do problema e objetivos gerais e específicos da pesquisa.

No **capítulo 2**, são descritos estudos relativos à área de interação plataforma-trem. A pesquisa bibliográfica possibilitou a conceituação e descrição dos aspectos que influem direta ou indiretamente nesta pesquisa, tais como *dwell time* ou tempo de parada, níveis de serviço, níveis de interação, embarque e desembarque de passageiros, comportamento de pedestres, dimensionamento de plataformas, eficiência e segurança de transportes sobre trilhos, capacidade de sistemas metroferroviários e medidas de gerenciamento de aglomerações.

A metodologia utilizada na pesquisa é descrita no **capítulo 3**, onde é feita a justificativa de escolha do método e conta com descrição detalhada de cada uma das etapas a serem desenvolvidas ao longo da pesquisa. O capítulo também conta com descrição e levantamento de informações para o estudo empírico, o sistema do Metrô do Recife, apresentando a descrição do sistema, sua infraestrutura e operação, a partir da delimitação do trecho a ser estudado.

O **capítulo 4** diz respeito à descrição dos resultados das observações na área estudada, tanto em campo, quanto através de imagens de CFTV, visando avaliar a relação entre as variáveis que influenciam nos níveis de interação na área da interface plataforma-trem.

O **capítulo 5** traz a análise dos dados de operação, tais como diário operacional, boletim de partidas e chegadas e dados de carregamento dos trens e tempo de parada levantados que subsidiam a análise estatística e interpretação das situações reais do sistema

nos períodos estudados, comparados com o estudo empírico. Com base nos conceitos estudados, observações e dados relativos às estações e operação dos trens, o capítulo traz a relação entre os aspectos qualitativos observando-se os dados analisados, bem como os problemas que comprometem a eficiência do sistema, de modo a permitir traçar diretrizes de ações e estudos futuros nas áreas operacional, tecnológica e intervenções físicas para melhoria de eficiência do sistema.

O **capítulo 6** tece as considerações finais, com a síntese dos estudos realizados e os correspondentes resultados alcançados na pesquisa, de modo a sensibilizar os operadores de transportes da importância do tema e com proposição de estudos futuros.

2 ELEMENTOS DE INTERAÇÃO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM

Este capítulo apresenta a revisão bibliográfica, relacionada com o tema de estudo, detalhando conceitos, métodos e experimentos empíricos ou por simulações. A pesquisa bibliográfica contou com artigos, dissertações, relatórios, manuais técnicos e teses, em sua maior parte de produção internacional e atual, onde, partindo da definição de zona de interface plataforma-trem– IPT, são abordados os elementos ligados a esta área.

A literatura consultada liga as definições e características operacionais de capacidade do sistema metroferroviário, estudo de estações e dimensionamento de plataformas, assim como as relações entre comportamento dos pedestres, *dwell time* e o processo de embarque e desembarque, macroacessibilidade, com estudos sobre níveis de interação, níveis de serviço e percepção de risco, direcionando-os para medidas utilizadas para gerenciar aglomerações e reduzir seus impactos na eficiência do sistema.

2.1 A INTERFACE PLATAFORMA-TREM – IPT

A área de interface plataforma-trem – IPT, composta pelas imediações da porta e espaços adjacentes da plataforma e do trem (SERIANI; FERNANDEZ, 2015), é um item importante na garantia de eficiência das estações metroferroviárias como sistema de alta capacidade, onde ocorre a interação dos três principais atores do sistema: passageiros, plataformas e material rodante (DELL’ASIN; HOOL, 2018). O estudo da zona de interface plataforma-trem apresenta relevância nas avaliações do atendimento à macroacessibilidade e aos níveis de serviço, conforto e segurança requeridos pelos os usuários do sistema metroferroviário.

A área de IPT é um espaço crítico em relação à segurança do sistema, principalmente durante o embarque e desembarque (SERIANI, 2016), visto que este processo engloba variáveis referentes ao comportamento humano, que além de ter impacto direto na segurança, conforto e funcionalidades das plataformas, constitui importante componente do *dwell time* (DELL’ASIN; HOOL, 2018), impactando a eficiência através dos índices de pontualidade e regularidade do sistema de transporte metroferroviário.

No *Manual to Improve Rail Transit Safety at Platform/ Vehicle and Platform/ Guideway Interfaces* (RSSB, 2015) existem estratégias para prevenção de acidentes e melhoria da segurança nesta área de vulnerabilidade das estações, sob influência de vão e

desnível entre a plataforma e o trem, veículos, operador, comportamento e características dos passageiros. O manual elenca os fatores relacionados à operação metroferroviária de forma a garantir a segurança na interface plataforma-trem, contemplando o ajuste do *dwell time*, definição do ponto de parada nas plataformas, esquemas de fechamento de portas, aumento de funcionários durante os horários de pico e em plataformas superlotadas. Sobre as características dos usuários, a idade e gênero são os fatores mais relacionados com acidentes, além do comportamento, distrações, ultrapassagens e desordens no fluxo de pedestres (RSSB, 2013).

Seriani (2018, p.23) cita a existência de cinco espaços de circulação de usuários em estações metroferroviárias “o espaço trem-plataforma, o espaço plataforma-escada, o corredor de circulação, espaços complementares e a cidade”. Entretanto, em sua tese, o autor estuda apenas a área de IPT, que tem maior número de interações e risco de acidentes durante o processo de embarque e desembarque de passageiros.

Seriani *et al.* (2016) propôs a definição da Área de Conflito de Plataforma (ACP), composta pela zona de interação plataforma-trem e o espaço semicircular diante das portas de borda de estação onde ficam os passageiros que aguardam o embarque.

2.2 CONCEITOS OPERACIONAIS DO SISTEMA METROFERROVIÁRIO

O transporte metroferroviário é um modo de alta capacidade, confiabilidade e velocidade, utilizado para atender a necessidade de deslocamento da população urbana nas grandes cidades. O sistema funciona com tração elétrica, transitando em via segregada, com até 10 carros, além de plataformas de embarque e desembarque em nível e pagamento antecipado de tarifas (VUCHIC, 2007). A operação do sistema metroferroviário em via segregada permite maior controle e melhor desempenho (VUCHIC, 2004), viabilizando a alta capacidade e eficiência operacional, assegurando os índices de regularidade e pontualidade.

2.2.1 Capacidade operacional do sistema metroferroviário

A capacidade do transporte público sobre trilhos é representada pelo quanto o material rodante é capaz de transportar e em qual frequência de serviço, onde essa inter-relação se estabelece com o processo de embarque e desembarque de passageiros (RUDLOFF *et al.*,

2011), que espacialmente ocorre na área de interface plataforma-trem. Para estimar a capacidade de uma linha, parte-se de quantos trens poderiam ser operados, desconsiderando restrições quanto a falta de carros ou operadores (TRB, 2013).

Segundo o *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (TRB, 2013, p. 8-3), a capacidade da linha corresponde ao “número máximo de trens que podem ser operados numa seção dos trilhos num determinado período de tempo, comumente em uma hora”. Segundo o manual, a capacidade de um sistema metroferroviário para transportar pessoas se relaciona com a capacidade da linha e do material rodante, ao determinarem o número de trens que podem ser operados por hora, bem como o provimento de energia de propulsão (energia elétrica consumida durante a tração do trem). Segundo o manual, o sistema de sinalização também pode interferir nesta capacidade, visto que determina o *dwelt time* e a separação mínima dos trens. Em relação ao material rodante, além do número de trens operados, a capacidade da linha depende da extensão desses trens, dos padrões de carregamento e demanda de passageiros e suas variações entre trens e entre os carros do trem.

A interface plataforma-trem tem impacto direto na capacidade de transportar, visto que os trens que se encontram parados nas estações podem permanecer um tempo maior que o planejado devido ao volume de passageiros movimentados durante o horário de pico, a capacidade e configuração das plataformas, a razão entre passageiros que embarcam e desembarcam, o vão e o desnível entre os pisos da plataforma e do trem, o tempo de abertura e fechamento das portas e os procedimentos operacionais que impactam o processo de embarque (TCRP, 2013).

Dado o problema de distribuição das atividades atrativas na cidade que agravam o desbalanceamento dos carregamentos dos sistemas de transportes, é fácil observar que algumas estações concentram maior densidade de passageiros em determinados horários do dia e/ou são subutilizadas em outros horários. Este desbalanceamento temporal e por sentido denota uma rede estrutural de transporte público subutilizado e estações metroferroviárias desbalanceadas. Desta forma, dentro do conceito de Mobilidade Produtiva, é ressaltada a capacidade de promover o uso eficiente dos recursos públicos através do “equilíbrio entre demanda de viagens e oferta de transportes” (PORTUGAL; ALVES; ROSSI, 2017, p. 269). As estações metroferroviárias desbalanceadas possuem uma relação de oferta de lugares com taxa de embarque e desembarque desbalanceada. No estudo são considerados os índices que relacionam oferta e demanda, proporção do número de viagens e capacidade, número de

passageiros por quilômetros de linhas, percentual de viagens em horário de pico e de vale e percentual de viagens centro/ subúrbio.

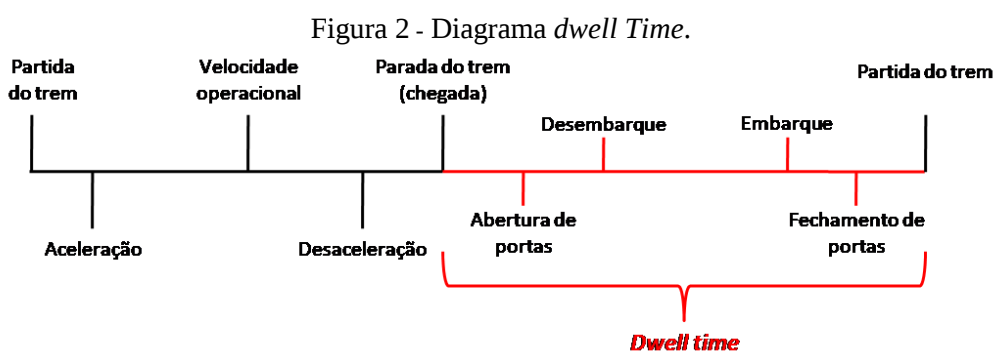
A capacidade da linha é reduzida quando a saída não é dimensionada suficientemente para evacuar a plataforma antes da chegada do próximo trem, o que aumenta o *dwell time* (TCRP, 2013).

2.2.2 *Dwell time* ou tempo de parada e eficiência na operação

O *dwell time* ou tempo de parada é o tempo decorrido entre a parada do trem na estação até a partida do mesmo em direção à estação seguinte (BUCHMUELLER *et al.*, 2008; COXON *et al.*, 2011; FARNSWORTH *et al.*, 2017), também chamado *passenger service time* (SERIANI e FERNANDEZ, 2015). Entretanto, Puong (2000) define que o tempo de parada se refere apenas ao tempo entre a abertura e fechamento das portas do trem.

O *dwell time* é influenciado pelo número de usuários usando o transporte e a velocidade em que a movimentação dos passageiros entrando e saindo do trem ocorre (SERIANI; FERNANDEZ, 2015), bem como o número desses embarques e desembarques, características do material rodante, tais como número de portas e sua largura, tempo de abertura e fechamento das portas e diferença de altura e vão entre a plataforma e o piso trem, modo de pagamento da tarifa e circulação de passageiros dentro dos veículos (KAREKLA; TYLER, 2012; RSSB, 2015).

O *dwell time* é um bom parâmetro para medir a eficácia do movimento de passageiros (THOREAU *et al.*, 2017), constituindo-se em uma função linear dos fluxos de embarque e desembarque que leva em consideração fatores como tempo do comando de abertura e fechamento das portas e velocidade do passageiro durante essa movimentação (KAREKLA; TYLER, 2012).



Fonte: Adaptado de Kelley *et al.*, 2016.

No tempo decorrido a partir da parada do trem, primeiro é dado o comando de abertura de portas, as portas abrem, acontece o desembarque e embarque de passageiros. Passado o tempo programado para abertura das portas, é dado o comando de fechamento e após verificação de que as portas estão devidamente fechadas, é dada a partida do trem. O tempo de parada, por ser uma parte significativa do tempo de viagem e afetar a capacidade do sistema (COXON *et al.*, 2011), é um parâmetro para avaliar o desempenho, confiabilidade e qualidade de serviço (PUONG, 2000).

Os atrasos podem ser causados por fatores externos, tais como falhas na via, clima, mas também pelo aumento do *dwell time* nas estações (THOREAU *et al.*, 2017). Entretanto, não se considera *dwell time* quando o veículo está parado por quaisquer outros motivos técnicos e que, portanto, caracterizam apenas atraso.

A interação do trem com a plataforma ocorre durante o *dwell time*, que é um fator passível de controle e que tem influência direta na capacidade da linha (TRB, 2013). O tempo de parada real ocorre em função do tempo de parada planejado, somado ao atraso. Esta variação acontece em função do número de passageiros embarcando e desembarcando, material rodante e infraestrutura do sistema, bem como o processo de chegada e partida dos trens (WIGGENRAAD, 2001) e os grandes carregamentos dos trens afetam o tempo de movimentação dos passageiros (HARRIS; ANDERSON, 2007). Se o *dwell time* é previsto com exatidão, o sistema possui pontualidade, permitindo uma precisão maior no tempo de viagem e capacidade do sistema (THOREAU *et al.*, 2017).

Para estudar o *dwell time*, deve-se conhecer os diferentes itens que o compõem, além da forma como acontece a distribuição dos passageiros ao longo da plataforma na espera e no momento do embarque, o tempo padrão de embarque e desembarque de passageiros, a influência do tipo de estação, tipo de serviço, largura das portas dos trens e o período do dia a se estudar (WIGGENRAAD, 2001). Estes fatores fazem com que seja difícil prever a variação do tempo de parada, principalmente nos horários do dia onde há uma maior demanda de passageiros. Os altos níveis de ocupação nas estações metroferroviárias levam, ainda, ao bloqueio ou obstrução das portas dos carros por pessoas ou objetos pessoais, o que provoca o aumento do tempo de parada, por razões de segurança, e o consequente atraso (TIRACHINI; HENSHER; ROSE, 2013).

Nos sistemas com menores intervalos (entre 2 e 3 minutos) o *dwell time* é o maior componente do *headway* (SERIANI, 2018), e a redução de alguns segundos de sua duração,

faz com que estes ganhos, acumulados em cada parada nas estações gerem um efeito positivo no desempenho do sistema (KAREKLA; TYLER, 2012), melhorando a frequência do serviço e a confiabilidade (THOREAU *et al.*, 2017).

A redução do *dwell time* é uma forma relativamente simples e barata de aumentar a capacidade do sistema de transporte sobre trilhos sem precisar aumentar o número de material rodante disponível (PERKINS *et al.*, 2015). Os autores estudam como as simulações podem avaliar os métodos de diminuição do *dwell time* e seus impactos em diferentes cenários no contexto dos transportes sobre trilhos, focando na interface entre trem e plataforma. O estudo avalia cenários com portas de trens mais largas (entre 1,5 a 2 vezes) que as convencionais de 1,60 m; portas distintas destinadas a embarque e desembarque de passageiros e um novo sistema de informações aos passageiros que mostra o número de assentos disponíveis em cada carro.

Perkins *et al.* (2015) abordam a otimização do *dwell time* através de um Modelo Baseado em Agente - *Agent Based Model*, a fim de abranger cenários com população heterogênea. Para isso, os autores aplicaram a simulação de algoritmos que levam em conta os conhecimentos da estação pelos pedestres e a atratividade social entre pessoas de um mesmo grupo. O estudo apontou o sistema de informação ao usuário como a melhor estratégia, com redução de 7,3% do tempo de parada, seguido do cenário de portas separadas de embarque e desembarque, com 7% de redução.

Harris e Anderson (2007) avaliam o tempo de parada estimado e realizado em estações em diferentes cidades do mundo, tais como Cidade do México, São Paulo, Santiago, Hong Kong, Copenhagen, Moscou, Nova York, tomando como referência o metrô de Londres através da fórmula de *Weston*, apesar das particularidades de cada localidade. Os autores expõem medidas tomadas pelos operadores para redução do *dwell time*, como plataformas mais largas, plataformas distintas para embarque e desembarque de passageiros e limitação de área lateral para os passageiros esperarem o desembarque total antes de embarcar.

O estudo (*ibid*) validou a aplicação da fórmula para os diferentes casos, onde, na maior parte das estações estudadas, o comportamento dos passageiros no processo de embarque e desembarque se relaciona com o projeto da plataforma, do trem e o carregamento dos trens. É dada recomendação de estimativa do tempo de parada com base na operabilidade tanto de linhas existentes com problemas de desempenho, quanto para testar estações projetadas.

Segundo Yamamura *et al.* (2014), podem ser tomadas quatro medidas para a prevenção do atraso causado por aumento do tempo de parada: adaptação do programa horário, colocação de funcionários fazendo o direcionamento dos usuários para não obstruir as portas dos carros, trens com portas mais largas para facilitar o embarque e desembarque e identificação e correção dos gargalos das plataformas.

O estudo de Karekla e Tyler (2012) usou a Linha Victoria, do metrô de Londres como estudo de caso, concluindo que houve uma pequena redução no *dwell time* em cada estação e, cumulativamente, diminuição do tempo do ciclo do trem e tamanho do material rodante. Assim, foi mostrada a possibilidade de economia por parte do operador, pois seria possível diminuir o número de trens rodando para atender à demanda de passageiros.

O nível de serviço relacionado ao transporte público estudado por Vasconcellos (2001) relaciona-se com as condições proporcionadas aos usuários sobre conforto, relativo à ocupação média dos meios de circulação, a confiabilidade, numa relação entre tempo de espera e possibilidades de embarque e sobre qualidade da informação, prestada através de sinalização dentro do sistema.

Segundo a metodologia baseada no conceito de Qualidade de Serviço (NEVES; PEREIRA; PORTUGAL, 2017), é medido o nível de satisfação do usuário, de forma qualitativa, dado pela sua percepção do desempenho do sistema para promover seu uso. No estudo, são levantados atributos e suas variáveis relacionadas. Dentre os atributos (1) acesso, (2) conforto, (3) confiabilidade, (4) conveniência, (5) rapidez e (6) segurança citados em relação ao transporte público, há variáveis diretamente relacionadas com as características das estações metroferroviárias.

O acesso, como a infraestrutura e o serviço de transporte, pode sofrer impacto de dimensionamentos na integração com outros modos e na superlotação, que culmina em restrição da entrada de mais passageiros (NEVES; PEREIRA; PORTUGAL, 2017). O conforto, por ser um critério de percepção pessoal, é medido em função de sua ausência, ou seja, o nível de desconforto. A confiabilidade perpassa o aspecto de certeza de atendimento do serviço, conforme programação, mantendo regularidade de horários e informações aos usuários. A conveniência se relaciona com os demais atributos para retratar as condições de serviço, tais como a regularidade no horário. A rapidez se vincula com velocidade ou tempo, onde as variáveis de tempo de espera do veículo na plataforma, frequência e tempo de embarque e desembarque sofrem a influência do projeto das estações. Já na segurança, como atributo da confiança do usuário sobre riscos pessoais e materiais, o dimensionamento

inadequado de plataformas pode aumentar a probabilidade de acidentes envolvendo veículos ou durante embarque e desembarque, em caso de superlotações. Portanto, o dimensionamento e projeto de plataformas pode ter influência direta em aspectos relacionados à qualidade do serviço prestado (NEVES; PEREIRA; PORTUGAL, 2017).

Considerando um sistema saturado e a necessidade de realizar as viagens planejadas dentro do horário, busca-se chegar o mais próximo possível do *dwell time* planejado, ao otimizar o tempo de embarque e desembarque de passageiros, de forma a evitar atrasos na programação e cancelamento de viagens, assegurando a eficiência.

É possível avaliar a eficiência do sistema pela perspectiva do operador através de dois índices: a regularidade, representada pelo percentual de viagens realizadas sobre todas as viagens programadas e a pontualidade, pelo percentual de viagens realizadas no horário dentre todas as viagens realizadas. Deste modo, os atrasos diminuem os índices de pontualidade e estes atrasos acumulados acabam gerando cancelamento de viagens, que repercutem na regularidade. Portanto, a redução nesses índices provoca redução da capacidade do sistema em transportar pessoas.

2.3 DIMENSIONAMENTO OPERACIONAL DE PLATAFORMAS

As estações são estruturas pertencentes ao sistema metroferroviário, projetadas segundo critérios de demanda diária e horária, que atuam como pontos de acesso e condutoras dos usuários no sistema de circulação, direcionando-os para os meios de circulação (trens) e destes saindo do sistema para alcance do destino final. São compostas de área de acumulação e distribuição, circulação e área técnica-administrativa (BRANDÃO; SILVA; CARMO, 1987). O projeto das estações segue o fluxo de passageiros, considerando o nível de serviço pretendido, segurança e capacidade operacional do sistema, desde a entrada até o acesso aos trens e qualquer falha de projeto ou dimensionamento pode ocasionar restrições operacionais que comprometem seu funcionamento e segurança (TERRA, 2014).

As áreas de plataformas, corredores, escadas, rampas, saguão e bloqueios, funcionam como áreas de acumulação e distribuição (BRANDÃO; SILVA; CARMO, 1987), por onde passam diariamente milhares de passageiros. As estações fazem a ligação dos passageiros ao meio de circulação e os distribuem no tecido urbano ou para outros modos integrados. Segundo os autores (ibid), à medida que se oferece conforto aos usuários nas estações, há uma maior percepção de qualidade do serviço, que reflete no comportamento dos mesmos. Para

isso, ao dimensionar as áreas de uma estação, deve-se quantificar a demanda de pico atual e prevista, o fluxo de passageiros dentro e fora da estação, o *headway*, número de plataformas, carregamento dos trens, integração com outros modos e acessos necessários.

As plataformas comportam tanto os usuários que chegam às estações por outros modos para alcançar seus destinos no intervalo entre os trens (MARTÍNEZ *et al.*, 2007), como recebem usuários, que desembarcam dos trens e circulam pela plataforma até os pontos de saída. Portanto quanto maior o intervalo entre trens, maior o número de passageiros a sua espera. Uma carga adicional de usuários, em horários de pico, deve ser considerada, visto que alguns passageiros decidem esperar o próximo trem em razão da superlotação, o que aumenta o tempo de espera e o desconforto da viagem (TIRACHINI; HENSHER; ROSE, 2013). Desta forma, para os autores, quando um trem atrasado chega à plataforma, o número de passageiros está ainda maior que o previsto, o que faz com que aumente o tempo de parada para embarque e desembarque de todos e, conseqüentemente, há um atraso do programa horário, agravado pela redução da capacidade de estocagem das plataformas, que invadem a área de circulação e o aumento da densidade de ocupação. Assim, o tempo de espera médio não é somente consequência do *headway*, e sim, função do alto nível de ocupação das estações (TIRACHINI; HENSHER; ROSE, 2013), portanto atrasos não se referem apenas aos trens, mas também às estações superlotadas (HIBINO *et al.*, 2010).

A fim de manter os níveis de eficiência do transporte metroferroviário, deve-se considerar o layout das estações, que acaba sendo o fator predominante para direcionar os usuários ao longo da plataforma para sua distribuição ao redor das portas dos trens, no momento que antecede o embarque, assim como a localização e quantificação das entradas/saídas das plataformas é um fator determinante dessa distribuição e, conseqüentemente, define o número de passageiros embarcando por cada porta do trem (KRSTANOSKI, 2014). Além dos problemas resultantes de um dimensionamento de plataformas equivocado, a disposição dos acessos à plataforma é uma das causas do aumento do tempo de parada dos trens, pois se neste momento há uma maior concentração de passageiros em determinados pontos, isso ocasiona dificuldades no embarque e desembarque (WELDING, 1965 *apud* MARTÍNEZ *et al.*, 2007).

Esses acessos às plataformas devem ser diretos e sem interferência, sempre que possível, interligando também às demais plataformas dentro da área paga da estação. Além disto, os acessos devem ser estudados no sistema como um todo e distribuídos de modo variado, pois o usuário frequente escolhe o carro da composição que vai ocupar e a porta de

embarque e desembarque de acordo com a localização da saída na estação de destino, enquanto outros estão dispostos a caminhar ao longo da plataforma em busca de assentos disponíveis (RSSB, 2015). Ao localizar os acessos às plataformas no mesmo ponto em diferentes estações da mesma linha, gera-se um carregamento assimétrico dos trens, diminui a capacidade de transporte da linha e a velocidade comercial, em virtude da maior duração de paradas (BRANDÃO; SILVA; CARMO, 1987).

Daamen (2004) destaca que, para um sistema ser considerado estável, é necessário que todos os passageiros que desembarcaram não estejam na plataforma no momento da chegada do trem seguinte, portanto o *headway* deve ser calculado também com base no tempo necessário para evacuação da plataforma, que sofre maior influência do número de saídas do que do número de passageiros na plataforma.

Segundo Barron (2015), por não serem condições facilmente mutáveis, problemas no layout das estações e trens acabam sendo tratados com medidas para o direcionamento de passageiros por funcionários, avisos e sinalização visual para alertar e dar preferência aos que estão desembarcando, para não bloquear as portas, movimentar-se ao longo da plataforma para não obstruir passagens e equilibrar o carregamento dos carros etc. Entretanto, mesmo sendo o comportamento dos passageiros o fator importante no aumento do tempo de parada, as medidas educativas e de direcionamento para induzir um comportamento positivo não são eficazes para o fluxo, caso haja limitações de projeto de estações e trens.

Realizado na fase de projeto ou de reformas, o dimensionamento operacional inclui a definição de quantos elementos irão compor a instalação, onde serão locados e as características da atividade de operação que possam afetar o nível de serviço e capacidade do sistema. Deve-se atentar para balancear a ocupação destas áreas de modo que não haja ociosidade além do planejado, visto que o sistema deve trabalhar com diferentes cenários de grande fluxo de passageiros, desde o momento de troca de passageiros na chegada de trens a exceções como situações de emergência (GUAZZELLI, 2011). Em sua pesquisa, o autor levantou estudos que usam dados de demanda para aplicar métodos e técnicas para dimensionamento operacional de terminais de passageiros e identifica quatro métodos de dimensionamento: método empírico, método analítico, simulações e métodos de dimensionamento utilizados pela Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM e Metrô de São Paulo.

2.3.1 Método empírico de dimensionamento

O método empírico trabalha com conceitos ao invés de recursos de modelagem ou métodos científicos, que mesmo não garantindo qualidade no dimensionamento, são muito usados em razão do “baixo custo e rapidez nas definições” (GUAZZELLI, 2011, p.17). Daamen (2004), em seu estudo realizado em estações holandesas, relata o uso de um método empírico de definição de diretrizes de concepção e dimensionamento de estações metroferroviárias, com base na experiência e observação de sua operação.

O método é bastante empregado no Brasil e se utiliza de dados de demanda em horários de pico, fatores de segurança, dimensões mínimas dos componentes com base na experiência de técnicos e em aspectos qualitativos, como o porte da estação e resultando, às vezes, em estações com discrepâncias de dimensionamento (GUAZZELLI, 2011). Segundo Terra (2014), tanto o Metrô de São Paulo quanto a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM trabalham com diretrizes baseadas no conhecimento empírico e experiência da equipe técnica ao longo dos anos, para dimensionamento das estruturas das estações.

Embora a utilização desse método não seja recomendada por representar grande risco para o investimento em terminais para grandes capacidades de passageiros em áreas urbanas, o conhecimento da equipe técnica é importante para a utilização dos demais métodos (GUAZZELLI, 2011), seja no desenvolvimento de parâmetros, como na criação de diretrizes para verificação e validação dos métodos empregados.

2.3.2 Método analítico

Segundo Guazzelli (2011, p. 18), o método utiliza o conhecimento científico para gerar cenários de soluções desejadas para o projeto, através de modelos matemáticos, teorias e metodologias, tais como “teoria das filas, inteligência artificial, regressões lineares e dados estatísticos”.

O fluxo de pedestres, no modelo analítico, é estudado através de cenários gerados a partir de padrões de qualidade definidos, tais como níveis de serviço e capacidades. Entretanto, em virtude da dificuldade de representar os movimentos de embarque e desembarque com modelos matemáticos, as ferramentas computacionais se valeram dos

modelos analíticos para simulação do movimento de pedestres, facilitando sua representação e mudança nos dados de entrada, para teste de cenários variados.

2.3.3 Modelos de simulação

Dada a rejeição dos modelos analíticos, a pesquisa de Daamen (2004) foca no uso de softwares de simulação para representação do fluxo de passageiros, que embora se baseiem nos modelos matemáticos e estatísticos, permitem representar o movimento de embarque e desembarque sob efeito de fatores que influem na movimentação, tais como diversidade de características, níveis de serviço etc. Segundo a autora, as representações macroscópicas e microscópicas são apontadas como a melhor opção para abordagem de modelos complexos de dimensionamento e projeto de estações de transporte público sobre trilhos.

Em razão das limitações de dimensionamento das plataformas, infraestrutura e via permanente, quando uma ampliação da capacidade do sistema representaria altos custos de implantação e a diminuição do *headway* não é possível devido a razões operacionais e de segurança, o atendimento à crescente demanda por transporte público permite aumentar a capacidade das linhas reduzindo o tempo de embarque e desembarque através de mudanças no projeto dos trens (RUDLOFF *et al.*, 2011). Segundo os autores, essa possibilidade de mudança na infraestrutura deve ser testada através de modelos de simulações, considerando tanto as dimensões do trem, como o comportamento dos usuários, o que daria mais confiabilidade na aplicação de estratégias para aumento da capacidade do sistema e melhorias na operação.

O modelo macroscópico permite analisar fluxos de pedestres dentro do espaço físico das estações, sob aspectos de densidade, velocidade de caminhada e intensidade desse fluxo (DAAMEN, 2004). O modelo microscópico é a representação do pedestre como uma entidade única, com uma série de características próprias de comportamento e interação com os demais e com o ambiente (RONALD, 2007), que segundo Seriani (2018), é baseado em abordagens de modelos estatísticos, de acordo com as modificações de variáveis.

Os dados de entrada requeridos em softwares de simulação são na maioria dos casos: tempo de viagem, tipo de sistema, parâmetros de comportamento de caminhada (tais como idade, gênero etc.), atividade programada, parâmetros de escolha de rotas, demandas, tipologia da estação, novo projeto indicando as modificações das plataformas etc. Como

resultado, o software fornece animações e diagramas das situações percebidas, densidades, velocidades e trajetórias dos usuários.

Projetos e layouts de estações e trens podem ser explorados através de experiências de laboratório com simulações em escala real da aplicação de medidas de gerenciamento de aglomerações no tempo de embarque e desembarque de passageiros e no tempo de interação, que é o tempo do embarque e desembarque simultâneo. Em diversos trabalhos (ROWE; TYLER, 2009; SERIANI, 2016; 2018; SERIANI *et al.*, 2016; SERIANI; FUJIYAMA; RODRIGUEZ, 2016; HOLLOWAY *et al.*, 2016; THOREAU *et al.*, 2017) é apresentado um método para estudar o comportamento e interação de passageiros na IPT, por meio de simulação em laboratório, como o *Pedestrian Accessibility Movement Environmental Laboratory* - PAMELA, na *University College London* – UCL, no Reino Unido e o *Laboratorio de Dinámica Humana* - LDH da *Universidad de los Andes*, no Chile.

As simulações feitas em laboratório têm o objetivo de superar as limitações dos estudos de campo sobre comportamento, interação e movimentação de pedestres em estações, visto que no ambiente real só é possível trabalhar com a estrutura física e o material rodante existente e outras situações não podem ser controladas. Assim, foi criado o PAMELA, a primeira instalação para estudo do movimento de pedestres em ambiente controlado da Europa. O laboratório funciona com maquetes de um carro do trem e plataformas em escala real, contando com a participação de um grupo de pessoas reais e a possibilidade de controle das variáveis, enquanto em pesquisas e observações de campo, apesar de contarem com situações reais, apresentam algumas variáveis que não são passíveis de controle. Assim, os experimentos de laboratório são úteis para análise de cenários, visto que “fatores externos que podem afetar o desempenho dos passageiros são controlados, tais como interações sociais, atividades e restrições de segurança” (SERIANI, 2018, p. 67-68).

2.3.4 Métodos utilizados para dimensionamento de plataformas

Dada a função de acumular os passageiros e abrigar a movimentação de embarque e desembarque, as plataformas são consideradas áreas críticas que, projetadas conforme condições locais e de demanda, podem ser classificadas como laterais, centrais ou mistas. O estudo de Brandão *et al.* (1987) adotou parâmetro para dimensionamento das estações do sistema operado pela Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), projetadas na década de 1980, com o horizonte de 20 anos em operação, a partir de quando as estações poderiam

entrar em processo de saturação. O referido estudo (ibid) faz a aplicação dos índices de capacidade de fluxos de pedestres do “*Pedestrian Planning and Design*” de John Fruin (1971), precursor da definição dos Níveis de Serviço para análise qualitativa de áreas de circulação de pedestres e escadas, ainda utilizados para estabelecer densidades aceitáveis nos projetos de espaços para fluxo de pedestres em estudos recentes (SERIANI, 2016; 2018; DAAMEN, 2004; KELLEY *et al.*, 2016; TERRA, 2014; GUAZZELLI, 2011).

A largura da plataforma é dividida em quatro zonas: (a) zona de linha amarela ou zona de segurança, (b) zona de espera, (c) zona de circulação e (d) zona de equipamentos (BRANDÃO; SILVA; CARMO, 1987).

A zona da linha amarela ou zona de segurança, no sistema metroferroviário, corresponde a uma faixa de 0,60 m que deve ser livre de obstáculos e em todo o comprimento da borda da plataforma e só deve ser cruzada no momento do embarque e desembarque. Esta zona é demarcada, na maioria das vezes por uma faixa amarela e sua largura varia em função da velocidade do trem ao passar pela plataforma, a fim de mitigar efeitos aerodinâmicos (NETWORK RAIL, 2011), riscos para os usuários em situações de superlotação e para segurança de pessoas com deficiência visual e com baixa visão (RSSB, 2010).

O manual “*Evaluation of the benefits of yellow lines on non-high speed platforms*” (RSSB, 2010) apresenta estudo dos benefícios das linhas amarelas em plataformas de trens de baixa velocidade em vários países, tais como Reino Unido, Bélgica, Alemanha, Suíça, Hong Kong, Austrália e Estados Unidos. O estudo mostra que a zona de segurança é demarcada com cores e texturas diferentes, com base nas normas específicas do sistema de cada país e varia de acordo com o seu objetivo. No Brasil, a zona de segurança deve distar 0,50 m da borda da plataforma, além da demarcação de uma faixa amarela de no mínimo 0,10 m de largura com sinalização tátil de alerta adjacente com largura entre 0,25 e 0,40 m (ABNT, 2005; 2016).

A elaboração de projetos de zonas de circulação de pedestres em plataformas leva em consideração tanto fatores quantitativos, comumente usados pela engenharia de tráfego, na classificação de máxima capacidade, como qualitativos, denominados Níveis de Serviço (FRUIN, 1971).

As plataformas possuem uma zona de espera ou estocagem para acomodação dos passageiros aguardando o próximo trem, assim como uma zona de circulação dos passageiros que desembarcam do trem ou daqueles que estão se movimentando ao longo da plataforma (NETWORK RAIL, 2011), portanto devem ter largura suficiente para abrigar passageiros a

embarcar e permitir circulação de passageiros que se deslocam do desembarque para a saída, evacuando a plataforma antes da chegada do próximo trem (RSSB, 2015).

Para calcular a área da zona de estocagem e circulação, é preciso partir da demanda num intervalo de trem na hora de pico, considerando a capacidade de carga do trem, tempo de parada na estação e tamanho das portas. Essas variáveis estão diretamente ligadas à capacidade de vazão das portas, o que faz com que a largura da plataforma seja também limitada pela capacidade de absorção dos trens (BRANDÃO; SILVA; CARMO, 1987). Mesmo considerando a largura da plataforma em função das características da linha e da demanda prevista, o Metrô SP e a CPTM sugere destinar no mínimo 4,00 m para a zona de estocagem, com aproximadamente três passageiros por m^2 , pois em caso de emergência, o ideal é a plataforma ser capaz de acomodar o carregamento de 2/3 de um trem evacuado, em torno de 1.000 pessoas, além da zona de segurança desocupada e uma faixa de segurança para deficientes visuais (GUAZZELLI, 2011).

Como a dimensão das plataformas impacta diretamente a capacidade operacional do sistema, o Metrô de São Paulo e a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) consideram em seu dimensionamento o período crítico das plataformas somado a um complemento de um trem chegando carregado e a possibilidade de evacuação em 4 minutos, considerando as saídas existentes, definidos no manual “Diretrizes para elaboração de projeto de arquitetura” (METRÔ, 2008 *apud* TERRA, 2014). Segundo o manual, a plataforma deve ter condições de abrigar no mínimo 2/3 da capacidade de um trem com densidade de 3 usuários/ m^2 , além da demanda de passageiros no período de um *headway* em situação de emergência.

O Metrô de São Paulo utiliza fórmulas de padrões internacionais para dimensionamento da largura total das plataformas (Equação 1), em função da demanda, reduzindo para no mínimo 2,00 m em casos especiais e pequenos trechos (GUAZZELLI, 2011).

Equação 1 - Fórmula para cálculo da largura de plataformas no Metrô de São Paulo.

$$L = 0,60 + 0,25 + \frac{N1 + N2}{(C - 2 \times 0,25) \times 3,0} \quad (1)$$

Onde:

L = largura da plataforma

0,60 m = faixa de segurança

0,25 m = afastamento das paredes

C = comprimento da plataforma

N1 = número de embarques previstos em um *headway*

N2 = 2/3 da capacidade de um trem

3,0 = densidade máxima admitida

Fonte: Metrô (2005) *apud* Terra (2014).

No “*Transit Capacity and Quality of Service Manual*” (TRB, 2013), manual com conceitos e parâmetros relativos à capacidade e qualidade do transporte público elaborado pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos, é descrito que a largura das plataformas deve ser suficiente para comportar a espera dos passageiros a embarcar e a circulação dos que desembarcam e caminham em direção à saída, de modo que a plataforma seja evacuada antes da chegada do próximo trem.

A zona de espera ou estocagem, no sistema ferroviário do Reino Unido, deve ser dimensionada com o intuito de acomodar os passageiros que esperam e deve disponibilizar no mínimo 0,65 m² de área por pessoa por minuto em horário de pico (NETWORK RAIL, 2011). No *London Underground Limited* (LUL, 2012 *apud* SERIANI, 2016) é estabelecida a largura mínima de 3,00 m para a plataforma, considerando a capacidade de 4,00 pass./m², para comportar situações de emergência de evacuação de trem.

A zona de equipamentos deve reservar 0,60 m do trecho final da plataforma para a localização de equipamentos tais como bancos e lixeiras, para que estes não atrapalhem o fluxo e estocagem de passageiros nas plataformas (BRANDÃO; SILVA; CARMO, 1987).

O comprimento da plataforma deve ser suficiente para acomodar o comprimento do trem somado a um excedente de precisão de parada, entre 2,00 e 5,00 m (NETWORK RAIL, 2011).

Os parâmetros de dimensionamento das zonas de estocagem e circulação de plataformas são aproximados nos casos estudados e variam um pouco no nível de serviço. Atualmente, entretanto, com o aumento da demanda dos sistemas metroferroviários, pode-se

observar grande adensamento das plataformas, que provavelmente não condizem com a densidade proposta pelos estudos citados.

Segundo o manual técnico “Capacidade do transporte urbano de passageiros sobre trilhos”, usado como referência para projetos no Metrô de São Paulo (METRÔ, 2005 *apud* TERRA, 2014), é indicado o padrão de lotação como uma diretriz para concepção de projetos de estações. Por padrão de lotação entende-se a densidade de passageiros em pé por m² que quanto maiores, há aumento da receita de custeio, porém com redução do conforto dos usuários. Ainda segundo o manual, mesmo estabelecidos os padrões de maior densidade nos horários de pico, é comum a capacidade estimada ser extrapolada.

Tabela 1 - Síntese dos parâmetros para dimensionamento da plataforma.

Referência	Densidade	Evacuação	Largura
Network Rail (2011)	0,65 m ² / pass./ min em horário de pico	-	Mínimo 2,50m
Metrô (2005) <i>apud</i> Terra (2014)	3 pass./ m ²	2/3 de trem evacuado + <i>headway</i>	Mínimo 4,60 e Equação 1
LUL (2012) <i>apud</i> Seriani (2016)	4 pass./ m ²	1 trem evacuado	Mínimo 3,00 m

Fonte: A Autora, 2018.

2.3.5 Desafios para projeto e dimensionamento de plataformas

A metodologia para o planejamento, projeto e dimensionamento operacional de plataformas atualmente conta com muitas ferramentas que podem estar associadas, para apresentar melhores resultados na eficiência das construções ou reformas. Os modelos de simulação representam bem essa confluência de métodos, pois foram criados a partir de modelos analíticos, que geraram cálculos que partiram de observações empíricas e devem ser avaliados através destes métodos para o alcance de um resultado mais próximo da realidade.

As fórmulas e parâmetros são calculados para situações ideais, e se tornam frágeis, dada a necessidade de estarem em consonância com o dimensionamento das demais áreas da estação. Entretanto, pode-se partir de um cálculo de pré-dimensionamento para a formação de cenários, utilizados na modelagem de simulação de fluxo de pedestres, é possível identificar gargalos, conflitos de fluxos, velocidade de caminhada, dentre outros aspectos, além de simular situações de emergência.

Com os resultados dos cenários simulados, deve ser feita a verificação e validação do modelo. A verificação consiste em testar se os resultados da simulação foram os esperados, com os modelos corretamente implantados, comparando os resultados simulados com os teóricos (DAAMEN, 2004), através dos modelos analíticos. Por outro lado, o conhecimento empírico agrega valor às simulações de projetos de plataformas, pois atua como ferramenta importante para a validação do modelo. Segundo Daamen (2004), na validação os resultados obtidos através da simulação são comparados a partir de observações da realidade, divididas em duas partes: validação do modelo de escolha da rota na opinião de especialistas e observações.

2.4 NÍVEIS DE SERVIÇO COMO INDUTORES DO COMPORTAMENTO DE PEDESTRES

De acordo com as recomendações de projetos de espaços para circulação de pedestres, propostas por Fruin (1971), é necessário considerar a natureza do espaço e as atividades nele desenvolvidas, tais como seu padrão de tráfego, restrições físicas e necessidades que cada ambiente requer. Quanto mais próximo à capacidade de tráfego, densidade e volume de uma área de pedestres, menor é o conforto no ambiente, além de ocasionar a redução da velocidade, tornando limitada a liberdade de manobra. Quanto mais livres as condições de fluxo, o pedestre tende a evitar contato com os outros, adotando um maior espaço interpessoal, o que determina também uma maior facilidade de ultrapassagem.

Segundo o autor, a ocorrência de conflitos entre pedestres se dá em função do espaço disponível e velocidade, ao se fazer uma parada ou quebra no ritmo de caminhada. Quando há uma densa concentração de pedestres, há também alteração das velocidades de caminhada, ocasionando movimentos de “anda e para” e conflitos entre pedestres.

Ao fazer uma análise ou projeto de uma estação, o usuário deve ser sempre o foco, pois ao estudar algum componente do sistema, o objetivo real é caracterizar o comportamento e interação do usuário com este componente (GUAZZELLI, 2011).

2.4.1 Comportamento dos passageiros nas estações e plataformas em função do nível de serviço

Segundo Fox *et al.* (2017), alguns passageiros agem naturalmente nas plataformas de estações e embarcam em alguma porta, talvez influenciados pelo ambiente que os rodeiam. Por outro lado, os autores afirmam que as decisões sobre o local de embarque seguem o nível de consciência dos usuários, pois enquanto alguns escolhem o carro onde vão embarcar por alguma conveniência ou razão específica, os passageiros frequentes escolhem o local de embarque com base no *layout* da estação de destino ou de forma a não caminhar muito ao longo da plataforma. Por outro lado, Krstanoski (2014) afirma que passageiros apressados embarcam no ponto mais próximo do acesso quando chegam à plataforma no momento em que o trem está parado, assim priorizam o embarque em detrimento do conforto.

Na medida em que a densidade de passageiros a embarcar aumenta, as pessoas são obrigadas a se distribuírem ao longo das plataformas e se deslocarem para embarcar em outras portas, devido às grandes filas formadas em frente às portas próximas aos pontos mais densos (FOX *et al.*, 2017).

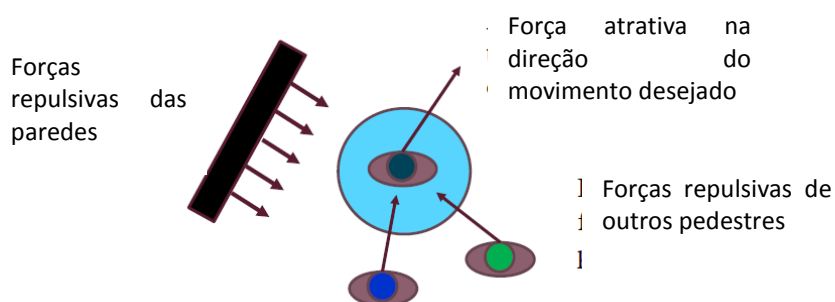
Ronald (2007) apresenta seis categorias de pedestres distintos por seu comportamento:

- a) com propósito e habituais – pedestres que sabem para onde estão indo, como chegar e tem baixa probabilidade de se distraírem no caminho;
- b) sem propósito e não familiarizados – pedestres que sabem para onde querem ir, mas não estão certo de como chegar ao local e podem se distrair ou se perder no caminho;
- c) sem propósito – Quando o ponto de início e final da viagem são os mesmos, como um circuito: modo errante;
- d) evacuação ou pânico – pedestres comportam-se de modo diferente do normal em situações extremas;
- e) espera forçada – quando um motivo externo impede que o pedestre continue sua caminhada e seja forçado a esperar até que aquela situação se conclua;
- f) restrições temporais – Isso ocorre em estações de trens e aeroportos, visto que se você chega após a partida do trem/ avião, não há outra solução senão esperar o próximo veículo.

Helbing e Molnar (1995) deram uma importante contribuição para o estudo do movimento e comportamento de pedestres, com o desenvolvimento do Modelo de Força Social que presume a existência de forças de atração e repulsão entre pedestres, provenientes

de motivação pessoal, entre o ambiente e velocidade, conforme representação adaptada por Seriani (2018) na Figura 3. Este modelo gera um padrão de comportamento e de fluxos auto organizados, como a formação de filas, que antecede o embarque nos trens e podem ser representadas por equações e confirmadas por modelagem computacional. Estas simulações revelaram resultados de formação de faixas e comportamento de pedestres na passagem por gargalos bem próximos à realidade que o modelo de força social apresenta.

Figura 3 - Representação de forças que afetam pedestres no espaço contínuo a partir do modelo de força social de Helbing e Molnar (1995).

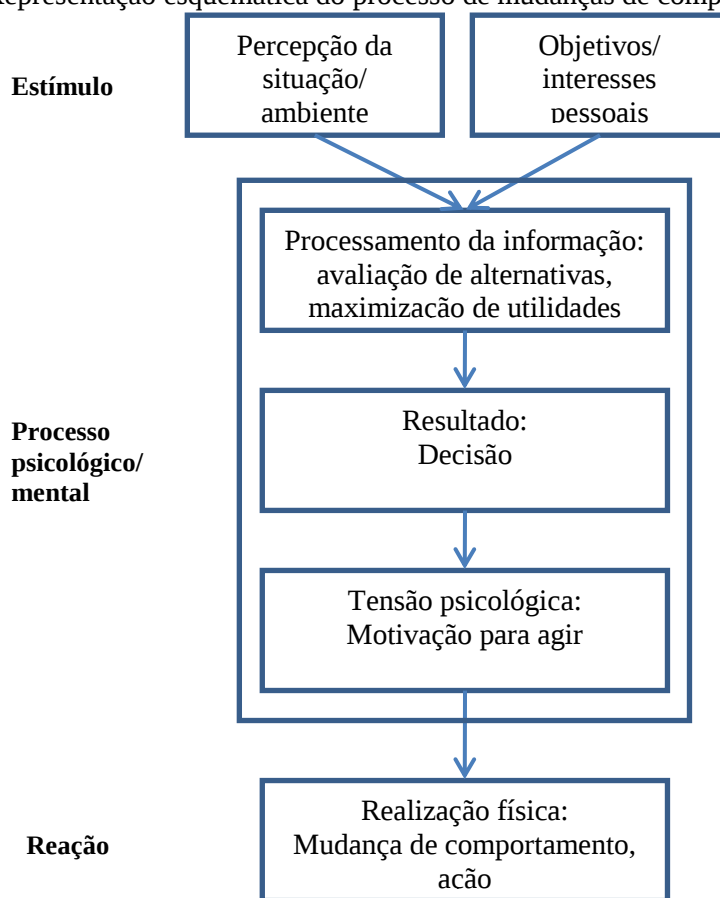


Fonte: Adaptado de Seriani, 2018.

Nas representações de força para estudo do movimento das grandes massas, especialmente em estações de metrô, os pedestres são afetados pela força repulsiva da parede e dos outros pedestres e força atrativa na direção do movimento desejado (SERIANI, 2018). Segundo o autor, essas representações não se aplicam aos passageiros que apresentam nervosismo em pequenos espaços lotados, dado o fato de que nem todos os parâmetros considerados se encaixem nos cenários estudados e há dificuldade em representar e estudar o movimento de pessoas com mobilidade reduzida.

A Figura 4 mostra um fluxograma apresentado por Helbing e Molnar (1995), detalhando como ocorre o processo de mudança de comportamento, desde o estímulo sensorial ao qual corresponde uma reação comportamental, escolhida dentre opções de comportamento com base nos objetivos pessoais.

Figura 4 - Representação esquemática do processo de mudanças de comportamentos.



Fonte: Adaptado de Helbing e Molnar, 1995.

Assim como os modelos de força social (HELBING; MOLNAR, 1995), os Modelos baseados por Agentes (*Agent-based Models* - ABM), foram empregados no início pelas ciências sociais, como forma de mostrar como os comportamentos individuais podem influenciar o comportamento de uma multidão. Neste modelo, o pedestre é um agente individual, inserido numa aglomeração heterogênea, seguindo determinadas regras comportamentais (PERKINS; RYAN; SIEBERS, 2015).

Como dito anteriormente, a localização dos acessos às plataformas constitui um dos fatores determinantes na distribuição dos usuários em sua extensão, resultando numa concentração de passageiros em pontos localizados da plataforma e definindo o número de passageiros embarcando por cada porta do trem (KRSTANOSKI, 2014; FOX *et al.*, 2017). Quando grande parte dos passageiros costuma se concentrar num dado ponto da plataforma, esse comportamento os leva a embarcar por uma porta do trem mais próxima do ponto de espera, resultando em um carro específico superlotado, enquanto outros carros estão relativamente vazios, que podem acarretar dois grandes impactos. O primeiro diz respeito à

segurança dos passageiros na área de interface plataforma-trem, visto que o grande volume de passageiros embarcando ao mesmo tempo pode levar usuários a tropeçar ou escorregar (RSSB, 2015; FOX *et al.*, 2017). O segundo, ao impacto financeiro para os operadores, em razão do aumento do *dwell time* provocado pelo grande volume de passageiros tentando embarcar (FOX *et al.*, 2017).

Em seu estudo, Guazzelli (2011) descreve o usuário padrão e o usuário com necessidades especiais para locomoção, com base nas suas características significativas de comportamento que possam influenciar a sua forma de utilizar a estação e que possam ser identificadas e mensuradas. O autor ressalta a importância dos dados da pesquisa de Origem e Destino para construção desses perfis que tem influência direta na forma de caminhar, tais como: idade, cultura/origem étnica, gênero, distância de conforto, temperatura ambiente, motivo da viagem, tipo de infraestrutura, direção de caminhada, bagagens ou objetos carregados, grupos de passageiros, tamanho dos passageiros e conhecimento do ambiente (passageiros habituais).

Sobre os usuários com necessidades especiais para locomoção, as estações devem prever um nível de serviço específico considerando-os e que suas instalações estejam adequadas para uso com adaptação que leve em conta o impacto que esses usuários recebem dos demais e como eles impactam os usuários padrão. Por razões de segurança, os usuários com necessidades especiais para locomoção precisam percorrer grandes distâncias ao longo das plataformas, buscando o embarque no primeiro carro, o que os deixam vulneráveis a um grande número de interações com usuários padrão, aumentando o risco de acidentes (GUAZZELLI, 2011).

A fim de estudar as características de fluxo de pedestres em estações metroferroviárias, destacando a relação velocidade-densidade, Daamen (2004) usou uma forma de coleta de dados, a partir de gravação de vídeos e software para rastrear os usuários. Essas características são determinadas pelo comportamento individual dos pedestres e o comportamento do fluxo, tais como densidade, velocidade e disposição, de forma a mostrar a tendência da escolha de rotas e preferências dos pedestres.

2.4.2 Níveis de Serviço

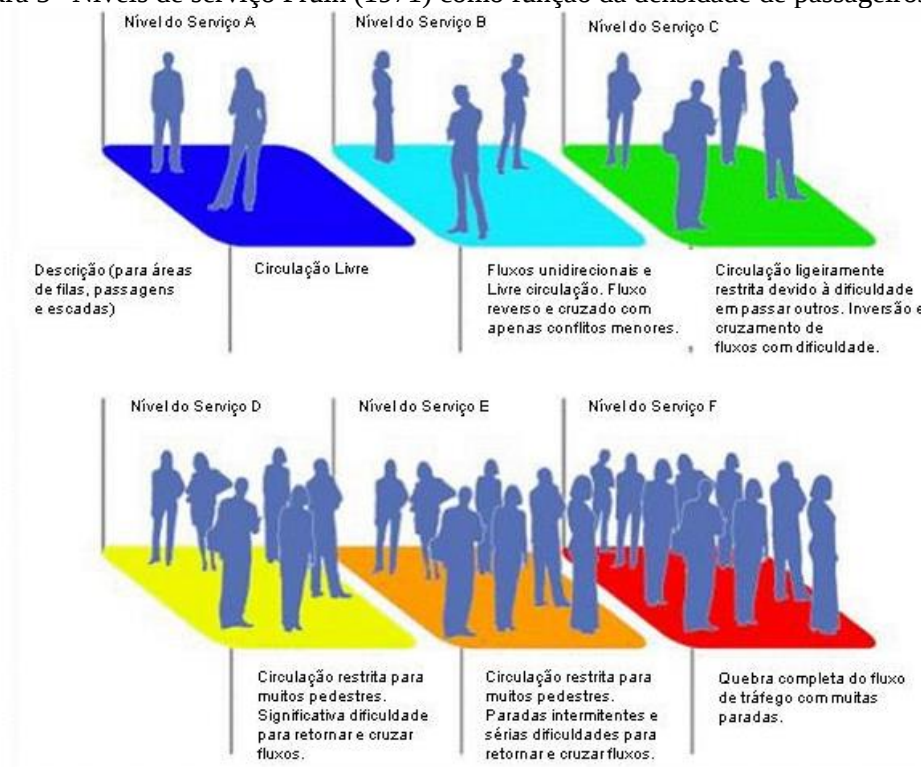
O Nível de Serviço é uma medida qualitativa para descrever intervalos de volumes para condições operacionais de tráfego determinados, tomando como base, módulos de

ocupação por pessoa, que Fruin (1971) classificou do nível de serviço de A ao F, do menos denso até a saturação de ocupação.

Antes do uso das ferramentas computacionais de inteligência artificial para simulação do fluxo de pedestres em passeios e escadas, os estudos eram feitos através de fotografias *time-lapse*, onde se estabeleciam as relações entre volume, velocidade e conforto humano em diferentes concentrações de pedestres. Analogamente ao fluxo de carros, onde são avaliados parâmetros de escolha de velocidade e capacidade de mudança de faixa, os níveis de serviço sistematizados por Fruin (1971) se baseiam em três aspectos: a liberdade para o pedestre selecionar sua velocidade de caminhada, a liberdade de ultrapassar pedestres mais lentos e facilidade de cruzamento, evitando qualquer espécie de conflito físico em cruzamentos, considerando diferentes concentrações de fluxo unidirecional.

Na distribuição dos seis níveis de serviço propostos por Fruin (1971), o nível A corresponde à densidade de até 0,31 passageiros por m^2 , enquanto o nível F excede 2,17 pass./ m^2 . Para fins cálculo de capacidade de projetos de plataformas, considera-se o nível E como máximo, que fica entre a densidade de 1,08 e 2,17 pass./ m^2 (Figura 5).

Figura 5 - Níveis de serviço Fruin (1971) como função da densidade de passageiros/ m^2 .



Fonte: Adaptado de Network Rail, 2011.

O uso de níveis de serviço, propostos por Fruin (1971) e seus tipos de representação em estudos de plataformas de estações não se mostra suficiente, pois consideram apenas as variáveis de densidade, velocidade e fluxo e acabam por subestimar problemas reais da interação entre passageiros na área de interface plataforma-trem, colisões, formação de faixas e espaço usado ou distribuição (SERIANI, 2018). Segundo o autor, como essas interações não se dão uniformemente e variam de acordo com a área da plataforma e com o tempo, deve ser identificado o local em que ocorrem as maiores interações, provenientes de maiores densidades, atreladas ao processo de embarque e desembarque e do risco percebido.

Daamen (2004) sintetiza as recomendações da Companhia Holandesa de Trens, *The Dutch Railway Company*, para cada infraestrutura e tipo de fluxo de pedestres nas estações, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Nível do serviço mínimo para diferentes tipos de infraestrutura.

Infraestrutura	Fluxo de pedestres	Nível de serviço (Fruin, 1971)
Plataforma	Área de circulação	D
	Área de espera	C
	Passageiros a embarcar	E
Escadas		E
Túneis e passagens	Área de circulação	D
Hall/ saguão	Área de circulação	C
	Área de espera	C

Fonte: Adaptado de Daamen, 2004.

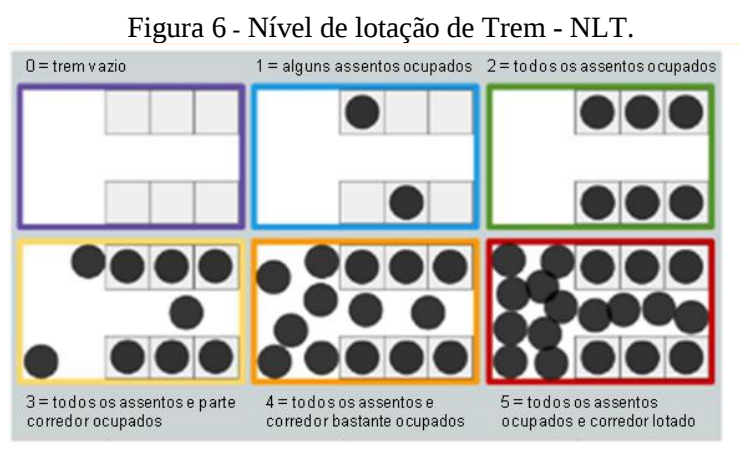
O comportamento de passageiros numa estação de metrô, considerado nos trabalhos da área de estudo, diz respeito ao modo como os passageiros se comportam para evitar colisões com outros passageiros ou obstáculos em uma situação de alta densidade, segundo o nível de serviço F (FRUIN, 1971), quando há mais de 2,17 passageiros por m² (SERIANI, 2016). Além dos meios de estabelecer critérios qualitativos de projeto de plataformas, os níveis de serviço devem ser utilizados sob uma visão crítica do projetista de forma a examinar todos os elementos da área, tais como a duração das horas de pico e quantidades de passageiros, concentração de pessoas decorrente da espera e ramificação do uso de espaços. Outras observações a serem feitas são com relação ao perfil dos usuários, passageiros comuns, trabalhadores ou viajantes com bagagens, pessoas com compras ou se há necessidade de

movimentos cruzados, fluxos reversos ou outros conflitos, quando deve ser previsto menor volume de fluxo (FRUIN, 1971).

Nas estações metroferroviárias, os picos são de extrema curta duração, no momento da chegada de um trem e desembarque de grande quantidade de passageiros em estações localizadas em grandes polos atrativos de viagens, além da concentração de pessoas nas plataformas à espera do próximo trem. Em casos de plataformas simultaneamente de embarque e desembarque de passageiros, quando a sua densidade crítica é excedida, o fluxo se torna crítico, resultando em conflitos e atraso, onde se recomenda a retirada de equipamentos, áreas de espera ou filas (FRUIN, 1971).

Em estudo de Kelley *et al.* (2016), foram usados dois métodos qualitativos para medir a densidade de passageiros nos trens e nas plataformas, como uma melhor forma de representar os níveis de serviço, pois mesmo sendo dois espaços onde circulam pedestres, estes se comportam de maneira específica em cada local e na forma de organização de fluxos, visto o objetivo principal de acessar o trem e deslocar-se pela cidade. Os autores apresentam, portanto, o Nível de Lotação dos Trens (NLT) e Nível de Lotação das Plataformas (NLP).

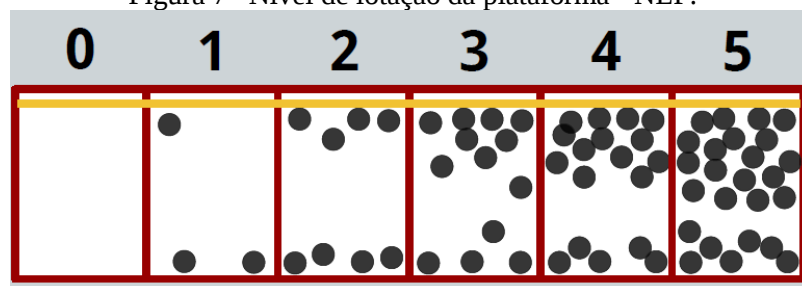
O Nível de Lotação dos Trens (Figura 6) é uma forma de medir a densidade de passageiros em cada carro, onde NLT 0 corresponde ao carro totalmente vazio e o NLT 5 é o carro superlotado, com todos os assentos e corredores ocupados e grande dificuldade de locomoção. Desta forma, a classificação proposta segue a lógica de ocupação dos trens pelos passageiros, visto que no início os assentos são ocupados e, à medida que vai aumentando o carregamento dos trens, são ocupados os corredores e adensados.



Fonte: Adaptado de Kelley *et al.*, 2016.

O Nível de Lotação das Plataformas (Figura 7) corresponde a uma medição similar à anterior, porém realizada segundos antes da abertura das portas do trem, dividindo a plataforma em quatro partes, visto que as tendências de aglomerações variam também ao longo das plataformas, dependendo dos acessos, comportamento do usuário etc. Nesta classificação, foram utilizadas como base da análise empírica a observação das plataformas. Quando o NLP é 0, o trecho de plataforma encontra-se vazio e quando é NLP 5, há excesso de passageiros e dificuldade de caminhada. Nota-se que a distribuição não é uma mera representação da densidade, e sim, mostra a tendência de ocupação das plataformas pelos passageiros que aguardam o embarque.

Figura 7 - Nível de lotação da plataforma - NLP.



Fonte: Kelley *et al.*, 2016.

2.4.3 Comportamento no embarque e desembarque

Durante os períodos de pico, o tempo de parada pode variar devido ao comportamento dos passageiros que embarcam e desembarcam do trem (DAAMEN, 2004; HIBINO *et al.*, 2010; MARTÍNEZ *et al.*, 2007). O processo de embarque e desembarque é caótico em casos de superlotação de trens, há pouco espaço para locomoção e conflitos entre os fluxos de passageiros nas portas do trem (WIGGENRAAD, 2001). Hibino *et al.* (2010) afirmam que os passageiros escolhem o carro e a porta do trem por onde vão embarcar, em razão da lotação dos carros e da disposição da entrada/saída da plataforma da estação de origem e/ou destino e esse carregamento excessivo em determinados pontos do trem, causa, muitas vezes, o aumento do *dwell time*.

2.5 O PROCESSO DE EMBARQUE E DESEMBARQUE DE PASSAGEIROS

O processo de embarque e desembarque de passageiros é integrado e simultâneo, visto que o tempo decorrido das ações é afetado pelo tempo de espera e embarque e desembarque de cada indivíduo (DAAMEN, 2004). Segundo a autora, como o *dwell time* se dá com a parada do trem alinhado à plataforma, quando é dada a abertura de portas, os passageiros já se encontram dentro do sistema, posicionados na porta por onde vão desembarcar e os passageiros a embarcar, encontram-se na plataforma. O movimento que os passageiros realizam da plataforma para o trem (embarque) e do trem para a plataforma (desembarque) é um fator importante para a eficiência e segurança das estações de metrô (SERIANI, 2018), pois na ação simultânea e de fluxo bidirecional, ocorre o conflito, com o agravante da grande densidade de ocupação da plataforma e do trem, resultando em dificuldade no deslocamento, demora na acomodação dos passageiros do trem e dificuldade no direcionamento às saídas da plataforma (TIRACHINI; HENSHER; ROSE, 2013).

O movimento de embarque e desembarque, bidirecional, através de uma porta estreita que funciona como um gargalo (ZHANG; HAN; LI, 2008) é um acontecimento consecutivo, e dividido em partes: chegada dos passageiros a embarcar até a parada do trem, passageiros do trem desembarcam, enquanto os que estão na plataforma formam fila ao redor das portas dos trens. Os passageiros deixam a plataforma e embarcam, o trem parte e os passageiros desembarcados se movimentam na plataforma em direção à saída (DAAMEN, 2004).

Como os passageiros influenciam o processo de embarque e desembarque nas suas características, número de passageiros embarcando e desembarcando, distribuição espacial nas plataformas e bagagens (DELL'ASIN; HOOL, 2018), além de não chegarem para embarque a uma taxa regular ao longo de uma hora, geralmente não se distribuem uniformemente entre os carros de um trem (TRB, 2013). O tempo de embarque e desembarque aumenta quando a distribuição dos passageiros na plataforma é desigual (KELLEY *et al.*, 2016), pois quanto maior o número de passageiros movimentados em determinada porta do trem, maior é o tempo gasto para acomodá-los (KAREKLA; TYLER, 2012), assim como quando o desnível entre a plataforma e o piso do trem é grande (ROWE; TYLER, 2009) e quando a porta do trem é estreita (THOREAU *et al.*, 2017).

O material rodante influi no embarque e desembarque por conta do número de portas e sua largura, capacidade de passageiros sentados e o layout dos veículos (DELL'ASIN; HOOL, 2018). Assim, quanto mais rápido o movimento entrando e saindo do trem, mais

rápido será o tempo de viagem, aumentando a capacidade de transportar da linha (THOREAU *et al.*, 2017).

O projeto e layout das plataformas impactam sobre o embarque e desembarque em razão da área disponível na plataforma, localização dos acessos, mobiliários e equipamentos instalados, vão e desnível entre plataforma e piso do trem e a existência de zonas de segurança que só devem ser ultrapassadas no processo de embarque e desembarque. Em momentos de superlotação nas estações, há dificuldade de locomoção dos usuários ao longo da plataforma e problemas de segurança, devido ao risco associado ao movimento de pessoas próximo a trens em movimento, a linhas elétricas de alta tensão e risco de quedas na via férrea.

No estudo de Thoreau *et al.* (2017), o *gap* horizontal, ou seja, o vão horizontal entre o piso da plataforma e do trem, de 75 mm apresentou maior vazão de passageiros pela porta e redução de 4 segundos no *dwell time* para embarcar o mesmo número de passageiros que um *gap* de 200 mm. Já o *gap* vertical, que é a diferença de nível entre o piso da plataforma e o piso do trem, medindo 150 mm promove uma redução no tempo de embarque e desembarque (FERNANDEZ *et al.*, 2015 *apud* THOREAU *et al.*, 2017). Entretanto, para o embarque de pessoas com deficiência ou mobilidade reduzida, recomenda-se que o local de embarque tenha o vão horizontal máximo de 100 mm e o desnível máximo de 80 mm (ABNT, 2005).

2.6 PERCEPÇÃO DE RISCO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM – IPT

O documento “*Platform train interface strategy*”, produzido pelo *Platform Train Interface Strategy Group*, da Grã-Bretanha (RSSB, 2015), é uma estratégia de IPT com o objetivo de reduzir os riscos relacionados à segurança, otimizando o desempenho operacional e capacidade do sistema de transportes sobre trilhos. O relatório apresenta o perfil de acidentes ocorridos no sistema e foca nos fatores relacionados a ocorrências na área de interação plataforma-trem, tais como o efeito do tempo em que ocorrem e seu efeito nas pessoas envolvidas, dependendo de idade e gênero, bem como uso de álcool e drogas de usuários, condições climáticas, tipo de estação e tipo de trem e seu operador. Os eventos ocorridos na área de interface plataforma-trem são classificados em dois tipos: (1) acidentes ocorridos durante o processo de embarque e desembarque e (2) acidentes ocorridos na borda da plataforma, não relacionados ao processo de embarque e desembarque (RSSB, 2013; 2015).

Segundo o relatório (RSSB, 2015), acidentes ocorrem predominantemente durante o processo de embarque e desembarque com as mulheres e fora desse período com homens, sobressaindo-se os incidentes relativos ao consumo de álcool e outras drogas. As maiores taxas de acidentes acontecem fora do horário do pico diário e semanal e período de férias, o que levou a conclusão de que usuários menos frequentes e não familiarizados com o sistema estão mais predispostos. Há uma tendência destas ocorrências em época de tempo úmido, quando acontecem quedas, escorregões e tropeços. De modo geral, os comportamentos dos usuários mais relacionados com acidentes são uso de álcool, passageiros parados muito próximos à borda da plataforma, passageiros distraídos pelo uso de *smartphones* ou *tablets* e passageiros que correm apressados. Comparando os eventos registrados no relatório, ao processo de desembarque correspondem 70% das ocorrências registradas, comparando com o embarque (RSSB, 2013; 2015).

Segundo Still (2014), o processo convencional de avaliação de risco em grandes eventos e espaços urbanos é falho, dada a forma de simplificação de descrição e atribuição de um valor para o risco, considerando o dano causado ou prejuízo financeiro. O autor considera os riscos de multidão como dinâmicos, pois são relacionados com locais específicos e que variam ao longo do tempo na sua gravidade. As falhas ligadas a incidentes com multidões se dividem em falhas relacionadas a projeto, informação e gerenciamento, sendo a primeira a mais comum, dados os casos onde o espaço disponível para o evento não é suficiente para a demanda de pessoas, resultando em maior risco de superlotação, esmagamento e lesões físicas.

O processo de avaliação de risco inicia-se na identificação dos perigos, quem pode ser ferido e de que forma, a fim de estimar os riscos e precauções a serem tomadas (STILL, 2014). Desta forma, para compreender melhor os riscos dinâmicos, recomenda-se fracioná-los de acordo com sua fase: entrada, circulação e saída das pessoas, de modo que, para cada tipo de evento e período, haverá a necessidade de um plano de contingência em condições normais e de emergência. O autor sugere, portanto, um método de avaliação de risco simples, porém com detalhes de informações sobre a localização dos riscos, duração e o momento em que ocorre e a gravidade do risco em cada momento, indicando, através de diagramas, as rotas da multidão e o espaço disponível para o evento e sua capacidade de absorver a demanda.

Dos estudos ligados aos riscos de acidentes, o método DIM-ICE (*Design, Information and Management - Ingress, Circulation e Egress*), propõe avaliar problemas ocorridos em aglomerações, com intuito de prover o público de segurança, informação e gerenciamento em

cenários normais e de evacuação (STILL, 2013). Este modelo é gerado a partir de um *template* (Tabela 3) que, ao ser preenchido, permite que seja feita uma avaliação de riscos e elaboração de planos de contingência para todas as fases dos eventos, visto que um acidente ou incidente podem acontecer durante a entrada, decorrer e final de um evento, causados por projetos, informação e gerenciamento.

Tabela 3 -Template do modelo DIM-ICE.

NORMAL	ENTRADA	CIRCULAÇÃO	SAÍDA
PROJETO			
INFORMAÇÃO			
GERENCIAMENTO			
EMERGÊNCIA	ENTRADA	CIRCULAÇÃO	SAÍDA
PROJETO			
INFORMAÇÃO			
GERENCIAMENTO			

Fonte: Adaptado de Still, 2013.

Complementando o método anterior, o autor desenvolveu a análise RAMP, que é uma estratégia onde são identificados Rotas, Áreas, Movimentos e Perfil da aglomeração. Estas estratégias usam diagramas, que facilitam a visualização e sistematização, ilustrando tempo, lugar e gravidade do risco previsto (STILL, 2013; 2014). Desta forma, o autor sugere que os planejadores/ projetistas de espaços de grandes eventos avaliem o movimento da multidão para entrada e filas, ao considerar suas direções, espaço para filas, o período de tempo dessa movimentação, além das características e comportamento cultural dos usuários do espaço e o modo como a eficiência do espaço afeta seu comportamento.

No caso das aglomerações em plataformas metroferroviárias, os riscos normalmente são altos, dado o espaço “confinado” entre uma parede e a linha do trem e que tem agravantes ao longo do tempo e diferentes formas de risco, tanto no momento da interface plataforma-trem, quanto nos intervalos entre trens, incluindo situações de emergência que podem ser necessário evacuar um trem carregado na plataforma da estação. O risco é, portanto, dinâmico, devido a sua variação ao longo do tempo e suas particularidades, dependendo da área de ocorrência.

2.7 NÍVEL DE INTERAÇÃO NO PROCESSO DE EMBARQUE E DESEMBARQUE

O nível de interação na área de IPT pode ser classificado como alto, médio e baixo, a partir da relação entre densidade e percepção de risco de acidentes no IPT (SERIANI, 2016; 2018). Em seus trabalhos, o autor apresenta um método de mensuração do Nível de Interação (NI) de passageiros embarcando e desembarcando em estações de metrô como forma mais precisa que o Nível de Serviço, proposto por Fruin (1971). O método chamado de *Boarding and Alighting Matrix Behavior Interaction* (BAMBI) consiste na criação de uma matriz, que relaciona variáveis estudadas na interação e comportamento dos pedestres separadas por local (plataforma, IPT e trem) e por tipo de usuários (somente embarque, somente desembarque e embarque e desembarque simultâneos).

Diferentemente do conceito de tipo de passageiros (relativo ao gênero, idade, cultura, necessidades especiais etc.), na metodologia apresentada por Seriani (2018), é apresentada a interação entre passageiros, dividida em três tipos de usuários: (1) somente embarque, interação entre passageiros que embarcam; (2) embarque e desembarque, quando o processo ocorre simultaneamente, e; (3) somente desembarque, relativo aos passageiros que desembarcam. Com isso, o autor divide o processo de embarque e desembarque de modo a poder analisar o tipo de interação ocorrida na plataforma, interface plataforma-trem e no trem.

O autor (ibid) faz estudos em laboratório visando comparar o comportamento dos passageiros em estações com e sem porta de borda de plataforma, que são barreiras físicas entre a plataforma e os trens, com portas que se abrem em sincronia com as portas do trem, para no momento do embarque e desembarque. A partir de observações no metrô de Londres e de maquetes em escala real de um laboratório de experimentos, foi possível estudar variáveis, tais como tipos de filas para embarque e a formação de faixas de desembarque, a densidade por camadas e a distância entre passageiros em distribuição logarítmica, para medir e classificar a interação com e sem as portas de bordas de plataformas. O método, focado em plataformas com densidade elevada de passageiros é importante para servir de base para projetar espaços em sistemas metroferroviários e concluiu que nos casos das estações que não tem a porta de borda de plataforma, os passageiros adentram primeiro a área de IPT, comparado às estações que tem o dispositivo. Entretanto, onde existem as portas de borda de plataforma, os passageiros já sabem por onde vão embarcar e tendem a formar filas laterais a fim de aguardar o final do desembarque para entrar no trem, tornando menor o nível de interação.

Em Seriani (2018), são escolhidas as variáveis que influenciam o Nível de Interação, divididas conforme a infraestrutura onde ocorre o estudo: trem, interface plataforma-trem e plataforma, citadas a seguir:

- a) Trem:
 - Passageiros embarcando e desembarcando;
 - Passageiros a bordo do trem.
- b) IPT:
 - Portas de borda de plataforma, como indicativo da posição das portas para embarque;
 - Existência de *gap* horizontal e vertical;
 - Tempo de embarque e desembarque;
 - Tempo de interação ou tempo de embarque e desembarque simultâneos;
 - Sobreposição de passageiros;
 - Formação de filas de fluxo.
- c) Plataforma:
 - Tipos de fila;
 - Passageiros esperando para embarcar no trem;
 - Presença de desnível na plataforma.

2.8 MEDIDAS PARA GERENCIAMENTO DE AGLOMERAÇÕES

O gerenciamento do tráfego de pedestres ou Medidas de Gerenciamento de Aglomerações (MGA) visa à melhoria do uso das infraestruturas para pedestres, induzindo o movimento dos usuários para obter um comportamento adequado ao espaço público, agregando melhoria da infraestrutura, segurança e melhor desempenho do processo de embarque e desembarque, e cujos resultados se refletem na redução do *dwell time* (SERIANI; FERNANDEZ, 2015). Além do mais, ao intervir para a mudança de comportamento dos passageiros, sua interação, projeto de estações e operação de trens, é possível reduzir o número de acidentes no IPT (RSSB, 2015). Entretanto, somente as medidas para gerenciamento de aglomerações não são efetivas para basear uma tomada de decisões, visto que é necessário analisar e padronizar o seu tipo, seu impacto e as variáveis a estudar (SERIANI, 2016).

Os exemplos comuns de MGA vão desde portas de borda de plataforma e zonas livres de ocupação (*keep out zones*) em frente a cada porta do trem, depois da linha amarela e até

funcionários destacados para disciplinar a ocupação das plataformas pelos usuários de forma a melhorar a distribuição de passageiros nos carros dos trens (SERIANI, 2018). Para o autor, no caso das portas de borda de plataforma e as zonas livres de ocupação onde existe a marcação exata de onde ficará a porta do trem, há uma mudança no comportamento dos passageiros na forma como interagem entre si em altas densidades (mais de 2 passageiros/m²) para evitar colisão com outros passageiros ou obstáculos na zona IPT.

O estudo, realizado em duas estações do metrô de Londres, sugere implantar em uma das plataformas estudadas, sem porta de borda de plataforma, uma zona livre de ocupação com 1,2 m de largura após a faixa amarela (SERIANI, 2018).

Seriani e Fernandez (2015) mostraram os efeitos de medidas de baixo custo de implantação e de economia para o operador, tais como corrimão vertical no hall do carro, zona livre de circulação em frente às portas dos carros e diferentes portas para embarque e desembarque de passageiros, constatando redução no tempo de embarque e desembarque e melhora na densidade nos carros e plataformas, estudados através de simulação por software e experimentos em laboratório. A medida mais eficiente foi a divisão de portas com fluxo unidirecional, seguida do corrimão vertical, dividindo a porta de acesso fisicamente em dois onde um lado funciona apenas para embarque e o outro, desembarque.

Para lidar com comportamentos que podem levar a acidentes, é possível adotar algumas medidas, tais como:

- a) capacitação dos funcionários da operação para lidar com pessoas alcoolizadas ou drogadas;
- b) sinalizar, orientar e coibir a permanência de pessoas na área de segurança na borda das plataformas;
- c) direcionar comunicações de segurança e anúncios para os usuários;
- d) chamar a atenção dos usuários sobre as distrações por equipamentos de tecnologia, alertando para os riscos na área IPT e segurança;
- e) monitorar os comportamentos dos usuários associados a risco de acidentes por CFTV, atrelados a *softwares* de rastreamento (RSSB, 2015).

Seriani e Fernandez (2015) fazem estudos através de simulações por *software* e experimentos em laboratório em escala real sobre os efeitos de medidas de baixo custo para gerenciamento do fluxo de pedestres no tempo do processo de embarque e desembarque de

passageiros, cujos resultados fizeram a relação entre Nível de Serviço, *dwell time* e densidade de passageiros em trens e plataformas.

O estudo de Fox *et al.* (2017) aborda as concentrações de passageiros em plataformas e propõe estratégias que podem ser usadas para diminuir esta concentração de pessoas e seus efeitos negativos, divididas em três eixos principais: material rodante, infraestrutura das estações e uso de tecnologias. Segundo os autores, o projeto do trem pode ser determinante para uma distribuição equilibrada dos passageiros, quando a distância entre as portas é maior. O estudo (*ibid*) aborda também sugestões de modificações nas plataformas, tais como sinalização para indução dos passageiros ao longo de seu comprimento, além da distribuição igualitária de equipamentos e mobiliário.

O uso da tecnologia para evitar grandes concentrações de passageiros provê os usuários de informação em tempo real sobre assentos disponíveis em cada carro do trem, por meio de sinalização em plataforma ou em dispositivos móveis, cujas simulações indicaram uma melhor distribuição dos passageiros (FARNSWORTH *et al.*, 2017). Enquanto as estratégias relativas ao material rodante e à infraestrutura das estações exigem mudanças com grande custo e comprometimento dos operadores e usuários, medidas tecnológicas representam formas acessíveis para induzir o comportamento do passageiro a se movimentar para ocupar o trem uniformemente (FOX *et al.*, 2017).

Segundo estudo de Yamamura *et al.* (2014), podem ser tomadas 4 medidas para a prevenção do atraso causado por aumento do tempo de parada: adaptação do programa horário, colocação de funcionários fazendo o direcionamento dos usuários para não obstruir as portas dos carros, trens com portas mais largas para facilitar o embarque e desembarque e identificação e correção dos gargalos das plataformas.

Tabela 4 - Síntese das Medidas para Gerenciamento de Aglomerações.

ITEM	MEDIDA	REFERÊNCIA
1	Capacitação dos funcionários da operação para lidar com pessoas alcoolizadas ou drogadas.	RSSB (2015)
2	Sinalização, orientação e proibição da permanência de pessoas na área de segurança na borda das plataformas.	RSSB (2015)
3	Direcionamento de comunicações de segurança e anúncios para os usuários	RSSB (2015); Yamamura <i>et al.</i> (2014)
4	Abordagem para chamar a atenção dos usuários sobre as distrações por equipamentos de tecnologia, alertando para os riscos na área IPT e segurança.	RSSB (2015)
5	Monitoramento do comportamento dos usuários associado a risco de acidentes por CFTV, atrelados a softwares	RSSB (2015)
6	Portas de borda de plataformas	Seriani (2016; 2018)
7	Zonas livres de ocupação	Seriani e Fernandez (2015); Seriani (2016)
8	Informação de sinalização do carregamento dos trens	Farnsworth <i>et al.</i> (2017); Fox <i>et al.</i> (2017).
9	Corrimão vertical dividindo a porta do carro	Seriani e Fernandez (2015)
10	Distinção de portas de embarque e desembarque	Seriani e Fernandez (2015)

Fonte: A Autora, 2018.

2.9 CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica apresentou referências de temas relacionados com a interação plataforma-trem, detalhados separadamente nas seções anteriores e sintetizados na Tabela 3.

Partindo-se da definição da interface plataforma-trem, foram estudados os conceitos operacionais de capacidade e *dwell time*, além de estudadas as necessidades do dimensionamento operacional das plataformas. Desta forma, foi possível partir para a descrição dos elementos estudados nessa pesquisa e que se relacionam entre si, tais como: níveis de serviço, comportamento de passageiros, processo de embarque e desembarque, percepção de risco, nível de interação e medidas de gerenciamento de aglomerações. A bibliografia, em sua maioria de produção internacional e atual possibilitou apreensão de conceitos e definição de metodologias a serem aplicadas para análise empírica deste trabalho (Tabela 5).

Tabela 5 - Quadro Resumo da Revisão Bibliográfica.

Item	Tema	Referências
1	PTI	RSSB (2015; 2017); Seriani e Fernandez (2015); Seriani <i>et al.</i> (2016); Seriani; Fujiyama; Rodriguez (2016); Seriani (2016); Seriani (2018); Dell’Asin e Hool (2018).
2	Níveis de serviço	Fruin (1971); Daamen (2004); Kelley <i>et al.</i> (2016); Seriani (2018).
3	Níveis de interação	Seriani; Holloway; Fujiyama (2016); RSSB (2015); Seriani (2018); Seriani; Fujiyama; Rodriguez (2016); Seriani (2016)
4	Dimensionamento de plataforma	Brandão (1987); Daamen (2004); ABNT (2005; 2016); Guazzelli (2011); RSSB (2010; 2015); Network Rail (2011); Terra (2014).
5	<i>Dwell time</i>	Puong (2000); Wiggensraad (2001); Harris e Anderson (2007); Buchmueller <i>et al.</i> (2008); Coxon <i>et al.</i> (2011); Karekla e Tyler (2012); Tirachini <i>et al.</i> (2013); TRB (2013); Yamamura <i>et al.</i> (2014); Seriani e Fernandez (2015); Barron (2015); Perkins <i>et al.</i> (2015); Kelley (2016); Farnsworth <i>et al.</i> (2017); Thoreau <i>et al.</i> (2017); Seriani (2018).
6	Capacidade do sistema	Rudloff <i>et al.</i> (2011); TCRP (2013); RSSB (2015; 2017);
7	Medidas de Gerenciamento de aglomerações	Yamamura <i>et al.</i> (2014); RSSB (2015); Seriani e Fernandez (2015); Fox <i>et al.</i> , 2017, Farnsworth (2017); Seriani (2018).
8	Riscos	Seriani (2018); Still (2000; 2013; 2014); RSSB (2010; 2013; 2015; 2017)
9	Modelagem e simulação	Krstanoski (2014); Perkins <i>et al.</i> (2015); Ronald (2007); Zhang; Han; Li. (2008); Seriani <i>et al.</i> (2016); Still (2000);
10	Comportamento dos pedestres	Helbing e Molnar (1995); Ronald (2007); Martínez <i>et al.</i> (2007); Daamen (2004); Hibino <i>et al.</i> (2010); Guazzelli (2011); Fox <i>et al.</i> (2017); Krstanoski (2014); Perkins <i>et al.</i> (2015).
11	Embarque e desembarque	Wiggensraad (2001); Daamen (2004); Seriani (2016; 2018); Thoreau <i>et al.</i> (2017); Tirachini <i>et al.</i> (2013); Dell’Asin e Hool (2018); Zhang; Han; Li (2008); Kelley <i>et al.</i> (2016); TRB (2013); Karekla e Tyler (2012).

Fonte: A Autora, 2018.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia usada na pesquisa, descrevendo desde a justificativa da escolha do método e seleção da literatura estudada, à delimitação da área de estudo, bem como os procedimentos de coleta e análise dos dados quantitativos e qualitativos e proposição de diretrizes. O trabalho é desenvolvido em três etapas principais: (1) revisão de literatura; (2) coleta de dados e estudo empírico, e; (3) análise comparativa de dados coletados, a serem detalhados a seguir.

3.1 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO MÉTODO

A escolha do método de Coleta de Dados se deu de forma a possibilitar relacionar as variáveis de carregamento, *dwell time* e nível de interação do processo de embarque e desembarque de passageiros nas plataformas, usando como estudo empírico as informações do metrô do Recife. Desta forma, os dados operacionais, que representam aspectos quantitativos, puderam ser comparados com a realidade de operação do sistema, através dos aspectos qualitativos observados, identificando os problemas decorrentes da superlotação e sua causa, possibilitando o traçado de diretrizes para medidas e ações mitigadoras de forma a aumentar a segurança e eficiência do sistema. Com isso, os resultados encontrados representam a análise das informações operacionais coletadas, aspectos quantitativos e qualitativos observados na área de estudo e os conceitos apreendidos na revisão de literatura, de forma a responder ao objetivo do trabalho.

3.2 REVISÃO DE LITERATURA

Primeiramente, foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica, focando principalmente em artigos de revistas científicas, manuais técnicos, dissertações e teses, de produção internacional em sua maioria, recente ou de estudos que, mesmo antigos, continuam sendo aplicados na atualidade. A bibliografia consultada aborda os conceitos ligados aos temas relacionados à interface plataforma-trem e conceitos relacionados à área onde ocorrem as interações, tais como níveis de serviço, medidas de gerenciamento de aglomerações, plataformas de estações metroferroviárias, embarque e desembarque de passageiros, comportamento de pedestres, segurança e *dwell time*.

A revisão de literatura traz constatações das relações entre as variáveis de *dwell time*, carregamento, densidade e nível de interação, a partir de resultados de estudos na área de conhecimento, utilizando simulações por *software* ou laboratórios em escala real e utilização da metodologia proposta para analisar sistemas metroferroviários de Londres. O conhecimento dos conceitos relacionados ao comportamento dos usuários que embarcam e desembarcam e o nível de interação entre eles, suscitou o apontamento dos problemas gerados pelo excesso de carregamento, densidade de ocupação do sistema e a percepção dos riscos, como forma de sensibilizar os operadores de transportes para adoção de melhorias no sistema.

3.3 COLETA DE DADOS E ESTUDO EMPÍRICO

O estudo empírico desenvolvido neste trabalho possibilitou, através de observações, a análise de situações reais, onde nem todas as variáveis podem ser controladas. Para isso, foi realizada coleta de dados, de forma a subsidiar o estudo comparativo das variáveis e alcance dos objetivos propostos. A coleta de dados se deu em seis etapas: (1) delimitação e caracterização da área de estudo; (2) coleta de dados operacionais; (3) observação da movimentação de passageiros; (4) coleta de dados estáticos e dinâmicos; (5) escolha das variáveis, e; (6) organização dos aspectos observados na matriz de comportamento e interação de embarque e desembarque, detalhados a seguir.

As principais dificuldades encontradas se deram no levantamento de dados, visto que as informações das viagens amostrais são retiradas de cada trem e precisam de tempo de descompactação e processamento para geração de planilhas de dados. Outro fator é que não é possível a coleta de amostras de imagens de todos os eventos cujos dados foram aferidos, devido ao grande tamanho dos arquivos, que precisam ser selecionados um a um, por cada câmera.

O sistema de câmeras do Circuito Fechado de Televisão (CFTV) dentro dos trens e nas plataformas é disposto com o objetivo de monitoramento de segurança e, mesmo cobrindo todas as áreas das plataformas, não dão condições de contagem precisa do fluxo de passageiros em todas as portas dos trens nas estações estudadas.

Mesmo com vídeos das viagens amostrais, não é possível extrair as informações das imagens com rapidez e precisão, visto a falta de um software de *tracking* para aferição de elementos da movimentação dos passageiros. Portanto, foi decidido elencar uma viagem

crítica dentro da amostra para ser analisada e aplicada à metodologia escolhida, bem como tratar os dados coletados estatisticamente.

3.3.1 Delimitação e caracterização da área de estudo

Tomando como base estudos existentes sobre interface plataforma-trem e seus conceitos relacionados e a fim de quantificar a influência da superlotação na área de interface plataforma-trem e nos índices de eficiência do sistema metroferroviário, foi estudada a movimentação do Metrô do Recife. A pesquisa bibliográfica forneceu subsídios para a coleta de dados do sistema do Metrô do Recife, permitindo a análise da movimentação de usuários de forma a contemplar os objetivos deste estudo.

A delimitação da área de estudo definiu, primeiramente, a linha Centro como foco, em razão das suas relações com o sistema de transportes públicos do Recife, com mais de 30 anos de operação e maior volume de passageiros transportados/dia, em relação às outras linhas do sistema. Para definição de quais das estações da linha Centro seriam estudadas, foram feitas duas coletas de informações: entrevistas com profissionais da Gerência de Operação do Metrô de Recife (Apêndice A) e observações de campo da operação e fluxo de passageiros no sistema.

O sistema estudado apresenta saturação nos horários de pico e opera na sua capacidade máxima nos sentidos mais carregados nos dias úteis, atualmente sem a possibilidade técnica de redução do *headway*, de modo a dar vazão à demanda de usuários.

Embora sendo distintas as razões da impossibilidade de redução do *headway* nas cidades citadas na bibliografia e a do estudo empírico desta pesquisa, o Metrô do Recife, onde há superlotação de trens e plataformas por conta do *headway* previsto ser o mínimo possível, esta pesquisa visa apontar alternativas de redução de problemas provocados por grandes níveis de interação, a fim de proporcionar mais eficiência no sistema, estudando a interação ocorrida no processo de embarque e desembarque.

A seguir, será descrito o Metrô do Recife, operado pela CBTU – Companhia Brasileira de Trens Urbanos, através da Superintendência de Trens Urbanos de Recife (STU REC), abordando desde aspectos de sua implantação, operação e infraestrutura e características de cada uma das estações estudadas.

3.3.1.1 Visão geral do sistema Metrô do Recife

A Região Metropolitana do Recife (RMR) dispõe de um sistema de transporte urbano sobre trilhos, inserido no Sistema de Transportes Públicos de Passageiros (STPP), operado pela Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), através da STU REC. A partir da fusão da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA) e da extinta Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU), foi criado pelo Ministério dos Transportes, o consórcio METROREC que iniciou a construção do metrô em janeiro de 1983.

A malha ferroviária sob a responsabilidade da STU REC é composta por três linhas férreas, sendo duas eletrificadas com bitola de 1,60 m e a restante em bitola métrica, operada com VLTs a diesel. O sistema tem extensão total de 71 km, com 37 estações que servem, diretamente, a quatro municípios da RMR: Recife, Jaboatão dos Guararapes, Camaragibe e Cabo de Santo Agostinho (Figura 8).

Figura 8 - Mapa do sistema CBTU - STU Recife.



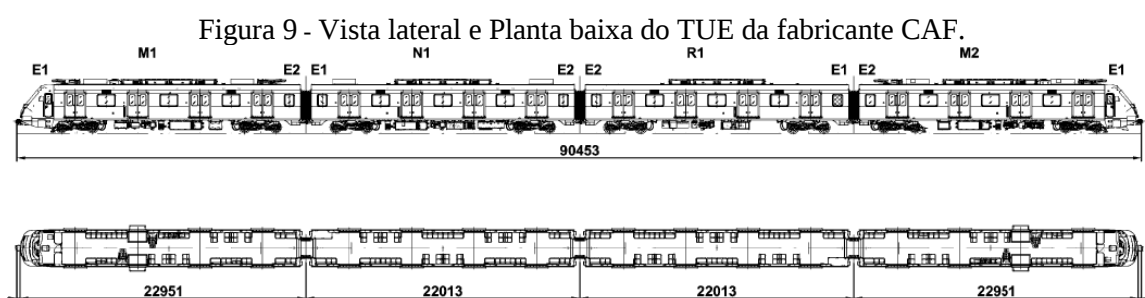
Fonte: CBTU, 2018.

O metrô do Recife faz parte do Sistema Estrutural Integrado (SEI), contando com 15 terminais de integração. Possui também acesso direto ao Terminal Integrado de Passageiros

(TIP) (Estação Rodoviária) e ligação com o Aeroporto Internacional dos Guararapes (Estação Aeroporto). Atualmente são transportados aproximadamente 400 mil passageiros por dia (CBTU, 2018), entre passageiros lindeiros e integrados através do SEI.

3.3.1.2 Material Rodante

O Trem Unidade Elétrico (TUE) da fabricante CAF, que circula na linha Centro, foi fabricado em 2012, conta com 15 unidades compostas por 4 carros, sendo 2 carros motores e 2 carros reboques. Cada carro possui 4 portas de cada lado, com 1,600 m de largura cada, distribuídas em seu comprimento. Possui comprimento total de 22,000 m e largura de 3,000 m, totalizando mais de 90,000 metros de comprimento (Figura 9). O trem possui 202 assentos e 4 espaços para pessoas em cadeira de rodas viajarem, sendo dois lugares em cada carro motor. A lotação máxima calculada de cada trem é de 1.200 passageiros, considerando uma lotação de 7 pessoas/m² na proximidade das portas e 6 pessoas/m² no restante do trem, densidades comuns na realidade brasileira. O TUE tem capacidade de desenvolver a velocidade máxima de 90 km/h, entretanto a velocidade máxima na operação comercial de 78 km/h. Seu sistema de alimentação elétrica é realizado por rede aérea do tipo catenárias simples.



Fonte: Manual de Operação (CBTU, 2013).

Para avaliar as relações na interface plataforma-trem com a eficiência do transporte metroferroviário, foi escolhida a linha Centro do metrô do Recife, representada pela linha vermelha na Figura 11, com as seguintes justificativas:

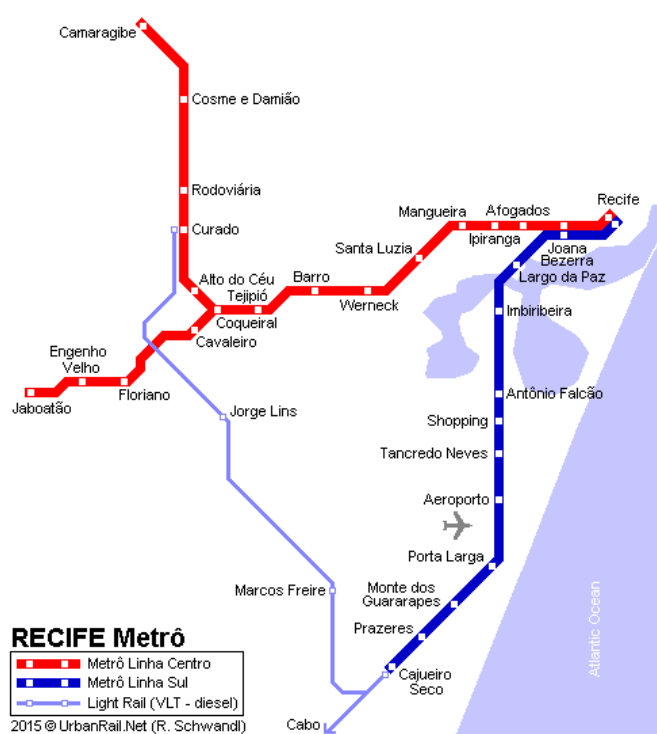
- a) encontra-se em operação desde a década de 1980;

- b) conta com pesquisas de origem e destino (2008), Pesquisa de Satisfação (2009) e Perfil dos Usuários (2017) e trabalhos científicos sobre operação (ARAÚJO, 2008) e uso do solo no entorno das estações (ANDRADE, 2006);
- c) representa corredor de transporte de massa com maior parte dos usuários transportados/dia do sistema STU REC e tem as maiores integrações com terminais do SEI;
- d) conta com estações nitidamente saturadas e com necessidade de estudos para proposta de melhoramentos;
- e) opera predominantemente com o trem da fabricante CAF, mais moderno do sistema, que possibilita a coleta de informações de operação e carregamento.

3.3.1.3 Linha Centro

A linha Centro é composta de um tronco que parte da Estação Recife e vai até Coqueiral, onde se divide em dois ramais, um levando à Estação Jaboatão e outro, à Estação Camaragibe, e cuja implantação, iniciada na década de 1980, deu-se com aproveitamento das vias existente da RFFSA. A Figura 10 apresenta a linha Centro destacada em vermelho e suas estações.

Figura 10 - Linhas operadas pela CBTU STU Recife.



Fonte: UrbanRail.net, 2015.

A linha, com 20,5 km de extensão, é duplicada, eletrificada, segregada e com bitola de 1,60 m, composta por 19 estações, com distância média de 1,2 km entre elas e 5 subestações retificadoras, responsáveis pela eletrificação do sistema. Possui uma via sentido sai do centro (estação Recife) em direção ao subúrbio (Jaboatão ou Camaragibe), chamada de via 1, e outra, a via 2, que opera desde o subúrbio até o centro. Sua implantação se deu em 5 etapas:

- a) trecho Recife – Werneck, com 6,15 km, inaugurado em março de 1985;
- b) trecho Werneck – Coqueiral, com 3,15 km, inaugurado em agosto de 1986;
- c) trecho Coqueiral – Rodoviária, com 4,7 km, inaugurado em setembro de 1986;
- d) trecho Coqueiral – Jaboatão, composto por 6,50 km, inaugurado em agosto de 1987;
- e) trecho Rodoviária – Camaragibe, com 4,7 km, inaugurado em 2002. Em 2013, foi concluída a Estação Cosme e Damião, situada entre Rodoviária e Camaragibe.

Apesar de a implantação ter se dado sobre linhas ferroviárias antigas, visando induzir a expansão urbana para o oeste (CORTÊS, 2004), as áreas de entorno do eixo não tiveram o adensamento esperado ao longo dos anos, provando que a implantação do sistema não impulsionou ação de planejamento estratégico, nem mesmo políticas públicas, visando ao desenvolvimento do entorno do sistema (ANDRADE, 2006). Como o eixo de transporte não induziu o adensamento da área, o centro da cidade continuou sendo o grande polo atrativo, ocasionando períodos de sobrecarga e de ociosidade durante os picos, devido ao movimento mais intenso que se dá direcionado para o centro pela manhã e sentido subúrbio no período da tarde.

Entretanto, grande parte dos usuários entra no sistema CBTU através do SEI, sistema de transporte rodoviário urbano organizado em eixos radiais e perimetrais, integrados aos eixos metroferroviários na RMR, onde podem se deslocar pagando apenas uma tarifa. O SEI possui 10 terminais de ônibus distribuídos nas principais estações da Linha Centro.

A linha Centro, que em 2008, na ocasião da Pesquisa Origem Destino, transportava em média 160 mil passageiros/dia, hoje transporta aproximadamente 230 mil passageiros/dia (CBTU, 2018).

3.3.1.4 Características Operacionais da Linha Centro

A linha Centro opera de segunda a domingo, das 5 horas às 23 horas. O material rodante predominantemente usado é o trem da fabricante CAF e o sistema de sinalização é o *Automatic Train Control* (ATC), que controla a velocidade dos trens especificamente para cada trecho da via.

No início da operação diária, os trens são dispostos no carrossel, assegurando a distância planejada entre eles. Como o sistema possui dois ramais (Jaboatão (JAB) e Camaragibe (GIB), os trens que partem da estação terminal Recife (REC) intercalam seus destinos.

O Centro de Controle Operacional (CCO) atua na supervisão e controle operacional do sistema, com auxílio de computadores e painéis com transmissão de informações em tempo real.

Segundo dados do Diário Operacional de Tráfego linha Centro (Anexo A), referentes aos períodos estudados, nos dias úteis, são planejadas em média 150 viagens na linha centro, sendo em média 30 viagens planejadas no pico vespertino, contando com 12 trens. Os intervalos nos horários de pico são em média 5 minutos, enquanto no horário de vale fica em torno de 8 a 9 minutos. Durante a operação comercial de um dia útil, o trem desenvolve velocidade média de 25 km/h, reduzindo em horário de pico em virtude dos atrasos que podem ocorrer. Todas as viagens totalizam em média 4.500 km percorridos diariamente.

Sobre o tempo de parada ou *dwell time* nas estações, a orientação operacional é de parada de 30 segundos em cada estação e é regulado pelo sistema conhecido como “retém/libera”, um sinal triangular vermelho, localizado na cabeceira da plataforma. O trem é retido e liberado automaticamente pelo sistema, dependendo dos comandos do CCO, por questões de segurança e estratégias operacionais. Caso o trem esteja adiantado em relação ao programado, ele demanda um maior tempo de parada, que não excede 1 minuto. Caso o trem esteja atrasado, o tempo de parada é reduzido. O maquinista tem o papel de verificar o fluxo de passageiros e dar o comando de fechamento de portas, certificando-se que não existe nenhum impedimento.

O trem da fabricante CAF, que opera na linha Centro, possui um sistema de alerta luminoso e sonoro para sinalizar aos passageiros o acionamento do comando para fechamento das portas, que serve para avisar aos passageiros que o tempo de embarque e desembarque está se esgotando. O alerta luminoso dura 2 segundos, quando acontece o sinal sonoro, com

duração de 3 segundos. Em seguida, ocorre o fechamento das portas. Quando a porta é obstruída durante esse fechamento, ela reabre, devido a um dispositivo de segurança antiesmagamento presente no equipamento, no entanto, como o sistema funciona com intertravamento de segurança, o trem só consegue partir de portas fechadas e, conseqüentemente, retarda a partida, causando reflexos em toda a circulação.

3.3.1.5 Partido arquitetônico das estações da Linha Centro

As Estações que servem a linha Centro foram construídas, em sua maioria, paralelamente a implantação da linha e são classificadas em três tipos, de acordo com o posicionamento da via e dos acessos: tipo 1, tipo 2 e especial. As estações tipo especial, tem partido arquitetônico que varia de acordo com a função da estação (terminal, transferência etc.) e sua localização.

As estações tipo 1 tem bilheterias e plataformas de embarque no nível do acesso, passarela pública de transposição e área técnica localizada no mezanino. Já as estações do tipo 2 possuem acesso e bilheterias em nível e plataformas superiores, com a acesso através de rampas ou escadas.

As áreas públicas das estações são compostas por:

- a) acesso;
- b) áreas de distribuição (área livre e área paga);
- c) bloqueios (ordena e controla o fluxo de pessoas)
- d) rampas, escadas e elevadores;
- e) passarela;
- f) plataforma.

As áreas operacionais são compostas por salas técnicas (subestações, telecomunicações e Grupo Gerador Diesel (GGD) e salas administrativas (Sala de Coordenação Operacional (SCO), copa, banheiros e vestiários).

As plataformas da linha Centro são nomeadas assim como as vias, para facilitar a comunicação operacional. Assim, a plataforma 1 serve à via 1 e a plataforma 2, à via 2, entretanto nas estações servidas pelas linhas Centro e Sul, são consideradas as plataformas 1C e 2C, fazendo referência à linha Centro.

3.3.2 Escolha das estações a serem estudadas

A delimitação dos trechos e definição das estações para a realização do estudo empírico levou em consideração o resultado de entrevistas com funcionários da Operação da STU Recife e observações em campo. A seguir, além do método de escolha da área de estudo, são descritas as estações escolhidas sob aspecto da localização na cidade e no sistema, movimentação de passageiros e características físicas gerais das plataformas do trecho selecionado.

3.3.2.1 Entrevistas com funcionários da Operação

Optou-se pela realização de uma pesquisa qualitativa, onde há interação e transmissão de informação através de perguntas de um roteiro, direcionadas a pessoas envolvidas no problema estudado. Foram elencados, primeiramente, treze profissionais a serem entrevistados, em razão da experiência profissional na área de operação no Metrô do Recife, visando absorver sua visão sobre acontecimentos diários relativos ao tema estudado. Os entrevistados, que pertencem às gerências operacionais de Transportes, Segurança Empresarial e Estações da CBTU – STU REC, com capacidade técnica para apontar elementos para subsidiar a delimitação do tema a ser estudado, dando uma visão geral dos problemas encontrados no dia-a-dia da operação do metrô do Recife.

Das entrevistas planejadas, foram realizadas sete ao todo, pois por se tratar de uma pesquisa qualitativa, a partir do momento que as respostas se tornam recorrentes, não há necessidade de prosseguimento nas entrevistas (BARDIN, 1997 *apud* AMORIM, 2009).

Desta forma, foi possível indicar facilmente as estações saturadas, as dificuldades encontradas entre os operadores e passageiros sob uma visão geral de soluções operacionais, organizacionais e técnicas para os problemas. Para isso, foi aplicado um questionário a funcionários das gerências operacionais (Apêndice A), contendo três perguntas:

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?
2. Quais os principais problemas de comportamento de usuários que causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?
3. Qual a sua sugestão para apresentar solução para este problema?

Como resultado das entrevistas realizadas com empregados da Gerência de Operação da CBTU - Superintendência Recife, as respostas que se sobressaíram apontavam as estações Recife, Joana Bezerra, Afogados e Barro como as que causam mais interferências no fluxo da operação, pois se encontram saturadas. Sobre os aspectos de comportamento dos usuários que interferem na circulação dos trens destacou-se o fato de segurarem a porta (principalmente os vendedores ambulantes) e o fato dos passageiros das plataformas não aguardarem o término do desembarque pelos passageiros que estão no trem antes de embarcar.

Dentre as soluções para os problemas existentes, apresentadas pelos entrevistados, houve sugestões desde mudanças na estrutura física de plataformas, mudança de equipamentos de sinalização, adaptação da tabela horária em virtude da demanda, melhoramentos da comunicação visual e avisos para o usuário, coibição de ambulantes, retenção de passageiros entre bilheteria e bloqueios, de forma a controlar o volume de usuários nas plataformas, e diminuir o *headway*.

3.3.2.2 Observações em campo

Na revisão bibliográfica, foram identificados dois tipos de coleta de dados e estudos sobre otimização do tempo de embarque e desembarque de passageiros: tratamento estatístico a partir de dados de observação e modelagem através de softwares de simulação de fluxo de pedestres (ZHANG; HAN; LI, 2008), além das pesquisas empíricas feitas em laboratório.

Antes de iniciar a coleta de dados, foi preciso analisar o comportamento dos fluxos de usuários e a interação plataforma-trem através de observações de campo, a fim de delimitar a área de estudo e compreender o padrão de viagens em horário de pico e, assim, subsidiar a escolha das amostras estudadas. Portanto, foram visitadas as estações mais problemáticas, citadas na entrevista, focando no fluxo e movimentação dos passageiros ao longo da plataforma e como se dá o processo de embarque e desembarque e comportamento dos usuários em cada estação. As constatações realizadas através das observações em campo serviram para a seleção de uma viagem crítica de horário de pico para retirada de informações para o estudo empírico.

As observações de campo foram realizadas nas estações Recife, Joana Bezerra, Afogados e Barro, da linha Centro, sob os aspectos de densidade em plataforma, fluxo de passageiros no embarque e desembarque, movimentação ao longo da plataforma antes do embarque e fluxo de saída da plataforma após desembarque. Foram observados os casos onde

acontece obstrução das portas, acidental ou proposital, ocorrência de pessoas com mobilidade reduzida e pessoas portando bagagens ou grandes volumes. Como a observação se dá pela perspectiva de pedestre, em momentos de superlotação, a apreensão das características da movimentação dos passageiros fica bastante limitada, uma vez que a grande extensão do trem e a densidade de ocupação não permitem uma visão geral do evento de embarque e desembarque, que pode ter características diferentes, dependendo da porta do trem estudada.

A estação Recife, por ser uma estação terminal, funciona na plataforma 1C apenas para embarque, que em momentos de grande demanda, o trem passa bastante tempo parado a fim de acomodar todos os passageiros. A plataforma 2C funciona apenas para desembarque de passageiros, vindos de Jaboatão ou Camaragibe e apresenta maior fluxo no período da manhã.

A estação seguinte, Joana Bezerra, tem uma grande demanda de integração, apresentando concentração de pessoas próximas aos acessos das plataformas de embarque e desembarque. Observa-se fluxo predominante de desembarques na plataforma 2C no período da manhã e de embarques na plataforma 1C, no pico vespertino.

A estação Afogados apresenta, no pico vespertino, grande fluxo de embarque pela plataforma da via 1 e observa-se os trens que chegam lotados da estação anterior, Joana Bezerra. Cabe ressaltar a ocorrência de passageiros que buscam embarcar, porém, devido à superlotação dos trens, tem dificuldade de se acomodar e decidem esperar o trem seguinte.

Na estação Barro, importante nó da linha Centro com a BR-101, onde se observa grande número tanto de embarques quanto de desembarques, nos dois horários de pico. Notou-se trechos de plataformas com grande quantidade de usuários a espera do trem e, após partida, é possível identificar passageiros que não embarcaram, pois aguardam o trem de destino alternado.

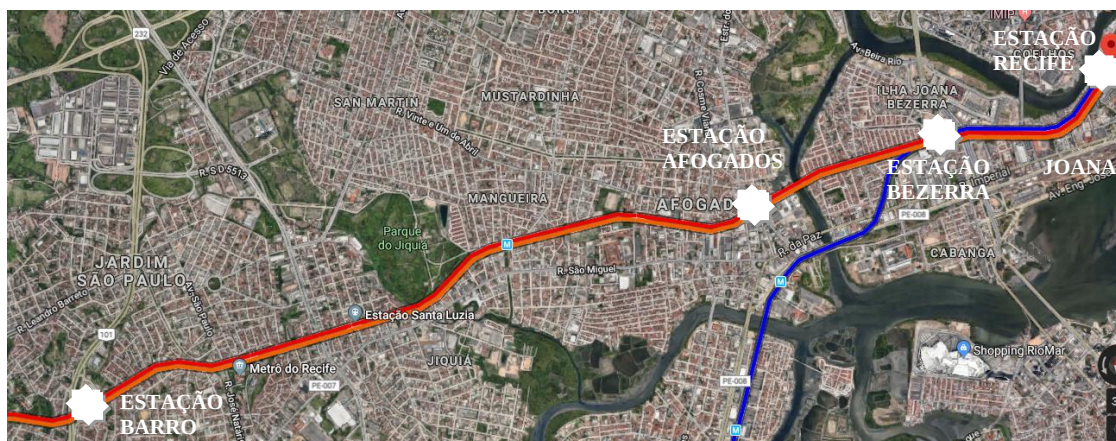
Uma observação importante se dá em relação ao sentido da via 1, nas estações estudadas, pois como os trens são intercalados no sentido da estação Jaboatão ou estação Camaragibe, sempre há usuários estocados aguardando o trem seguinte, conforme sentido desejado.

3.3.2.3 Definição do trecho e estações estudadas

Como já mencionado, as estações estudadas foram escolhidas dentre as mais citadas na entrevista e com grande movimentação observada em horário de pico, apresentando

características diferentes quanto ao tipo, demandas de embarque e desembarque, localização na cidade e níveis de interação diferentes entre passageiros. As estações escolhidas para o presente estudo foram Recife (REC), Joana Bezerra (JOA), Afogados (AFO) e Barro (BAR), onde as duas primeiras fazem parte do sistema tanto pela linha Centro quanto pela Linha Sul, sendo Recife a estação Terminal. As demais estações que funcionam como *hub* e ficam localizadas nos bairros de mesmo nome, estão destacadas na figura 11.

Figura 11 - Foto de satélite de trecho do sistema Metrorec entre estação Recife e Barro.



Fonte: Google Maps, 2018 (destaques da autora).

O trecho a ser estudado é a via 1 da linha Centro, que leva os passageiros do centro ao subúrbio e as respectivas plataformas 1 de cada estação. Este trecho mostra ocorrências importantes no horário de pico vespertino, quando se pode acompanhar desde o carregamento gradual dos trens até sua saturação, além da concentração de passageiros estocados em plataforma, tentando embarcar ou aguardando o próximo trem.

As informações utilizadas na pesquisa foram levantadas de forma a caracterizar a área de estudo por observação e coleta de dados operacionais da movimentação nas datas e estações escolhidas, bem como medições das instalações e veículos. As informações operacionais foram coletadas, considerando o horário de maior movimentação na via 1 (centro-subúrbio), que é o pico vespertino, ocorrido entre as 16h30 as 19h30, nos dias úteis.

A seguir será dada a descrição detalhada de cada uma das estações estudadas, tanto pelo contexto urbano da cidade, em relação ao sistema viário e eixos integrados de transporte público da RMR, quanto suas características físicas e de movimentação.

3.3.2.4 Estação Recife (REC)

A estação Recife (REC) é uma estação terminal tipo especial que serve à linha Centro e linha Sul. Construída ao lado da estação Central, atual Museu do Trem, foi inaugurada na 1ª etapa de implantação da linha Centro, trecho Recife – Werneck, sofrendo uma reforma, concluída em 2005, para atender à linha Sul.

Atualmente, movimenta em média 45 mil passageiros por dia útil, entre passageiros vindos do entorno e passageiros integrados. Por estar situada no centro da cidade, área dotada de pontos turísticos, comércio e serviços em seu entorno, a estação tem bastante fluxo e atratividade, onde predomina a chegada de passageiros no pico da manhã e partida de passageiros no pico vespertino.

O terminal integrado do SEI na estação Recife, inaugurado em 1994, é servido por cinco linhas de ônibus, a maioria circular do centro do Recife, onde passam aproximadamente 32 mil passageiros por dia, provenientes dos principais eixos do centro e do centro expandido (GRANDE RECIFE, 2018).

A plataforma 1C serve ao embarque da via 1, sentido Recife- Coqueiral- Jaboatão ou Camaragibe e apresenta comprimento de 95,25 m e largura útil mínima de 2,65 m. O acesso a plataforma é feito através de 2 escadas fixas, 1 escada rolante e um elevador. Em momentos de superlotação, os passageiros ficam estocados nas áreas reservadas para a chegada das escadas fixas e rolante, que acaba se transformando em uma área extra de estocagem além da largura da plataforma. Possui 4 conjuntos de 3 bancos em concreto com formato retangular, bem como pilares e lixeiras em área recuada, conforme Figura 13.

3.3.2.5 Estação Joana Bezerra (JOA)

A estação Joana Bezerra (JOA) serve tanto à linha centro quanto à linha Sul. Foi inaugurada na 1ª etapa de implantação da linha Centro, trecho Recife – Werneck, com o partido arquitetônico tipo 2 e foi reformada para atender à linha sul em 2005.

Possui grande atratividade, devido a sua integração com um dos mais importantes eixos de circulação do Recife, a Avenida Agamenon Magalhães (I Perimetral), que liga Olinda a zona Sul do Recife, passando pela Praça do Derby, cruzando um importante eixo de ligação da zona Oeste da cidade com o centro expandido (Figura 12). Atualmente, a estação movimenta em média 47 mil passageiros por dia útil, entre passageiros, onde predomina o

desembarque no pico matutino e o embarque no pico vespertino, quando o trem se dirige no sentido subúrbio.

Figura 12 - Situação da Estação Joana Bezerra.

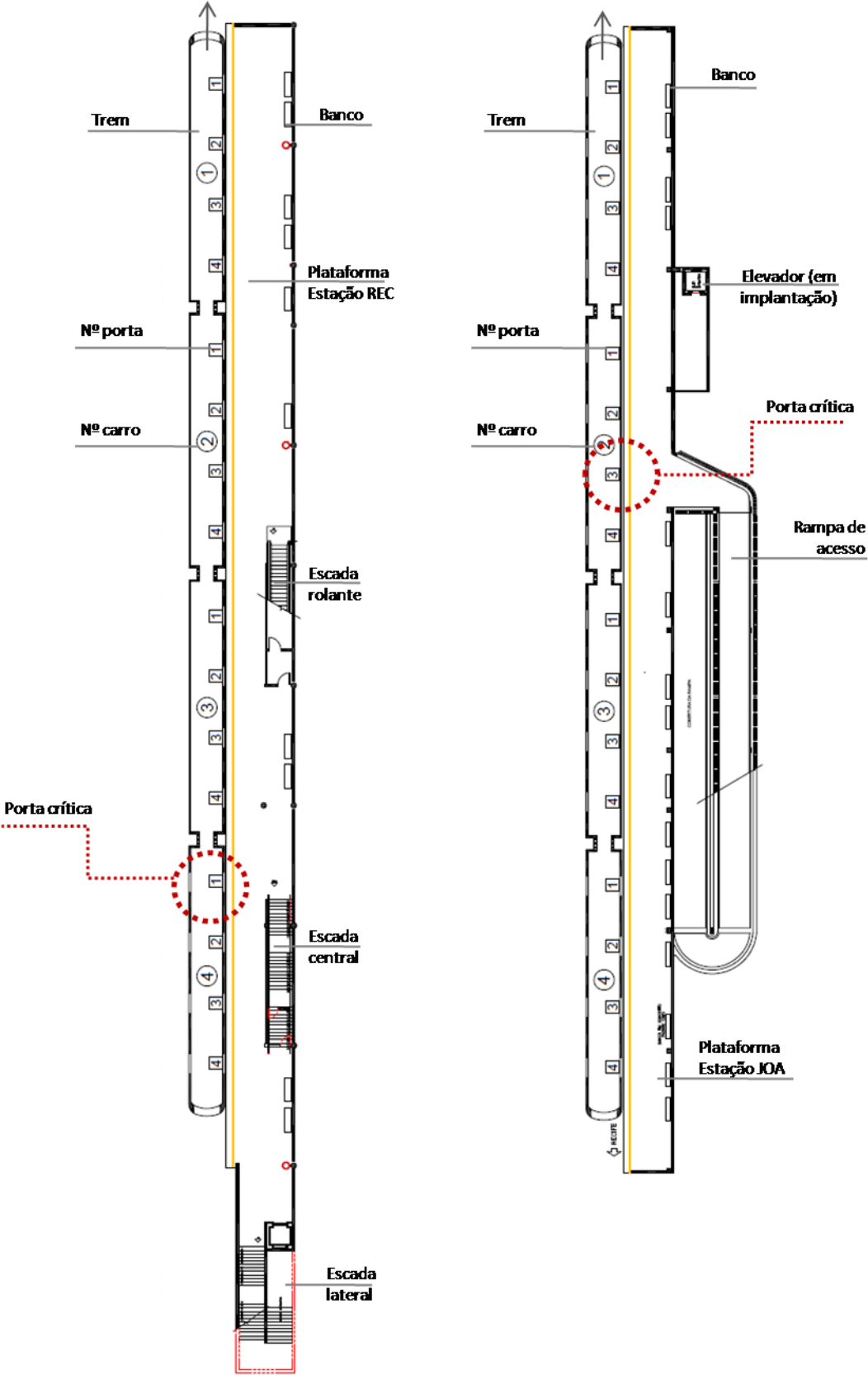


Fonte: Google Maps, 2018 (destaques da autora).

O terminal do SEI de Joana Bezerra, que é um dos principais do sistema de transporte rodoviário, foi inaugurado em 1994 e é servido por 11 linhas de ônibus que transportam aproximadamente 91 passageiros por dia (GRANDE RECIFE, 2018).

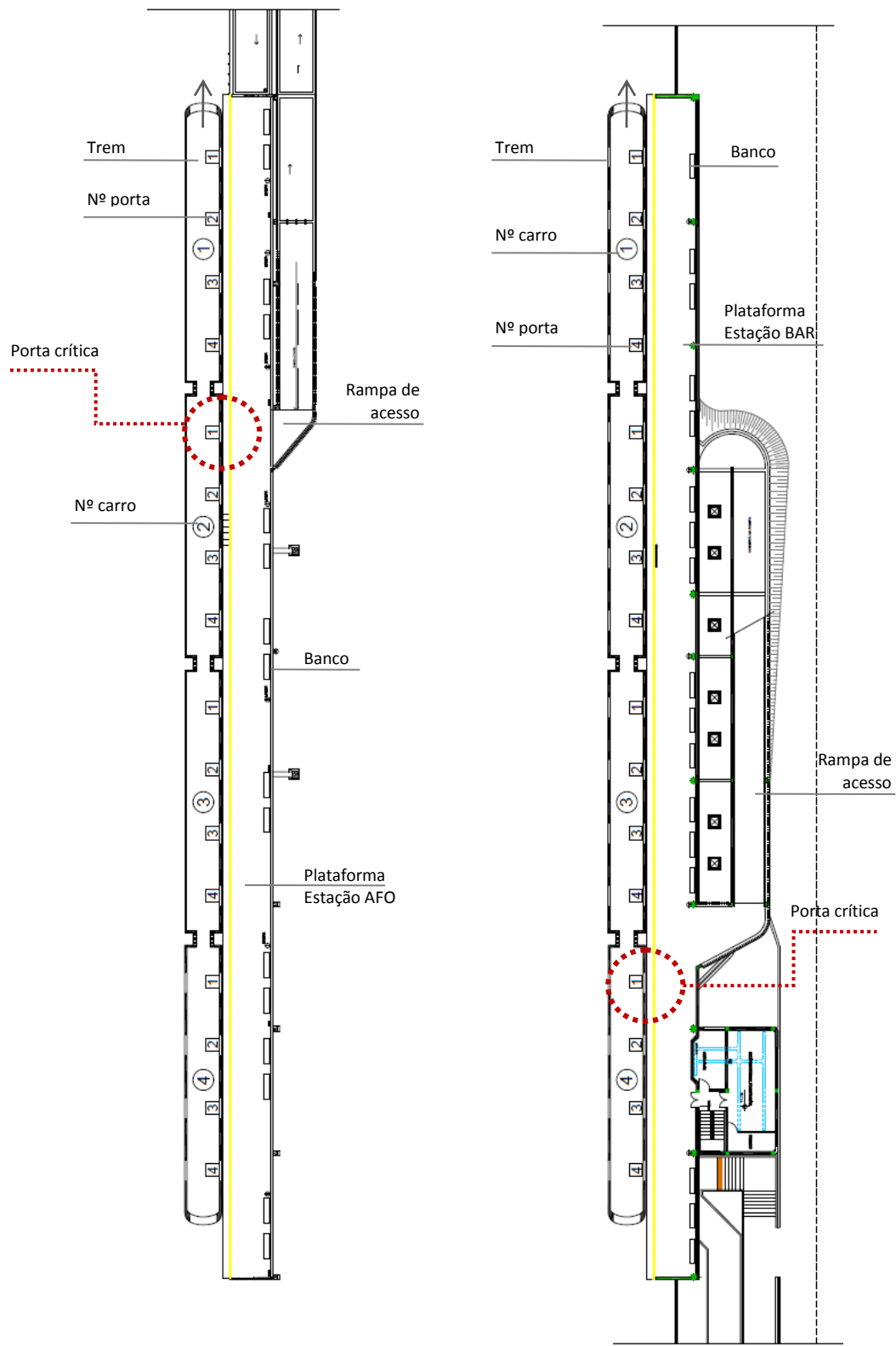
A plataforma 1 Centro, localizada na via 1C na Estação JOA, funciona para embarque e desembarque de passageiros que se dirigem para o sentido Recife – Coqueiral. Apresenta comprimento de 95,40 m e largura útil constante de 2,80 m. O acesso a plataforma é feito através de rampa com 2,60 m de largura. O elevador para uso de pessoas com mobilidade reduzida, que aparece em planta ainda não está instalado, porém a área está disponível. Possui seis conjuntos de dois bancos em concreto com formato retangular, como também pilares e lixeiras na faixa de 0,60 m na parte posterior da plataforma, conforme Figura 13.

Figura 13 - Planta Baixa Plataforma 1C - REC e Plataforma 1C JOA.



Fonte: Arquivos de projetos CBTU, 2018.

Figura 16 - Planta Baixa Plataforma 1 - Estação AFO e estação BAR.



Fonte: CBTU, 2018.

A plataforma da via 1 da estação BAR, permite embarque e desembarque de passageiros, sentido subúrbio. Apresenta comprimento de 95,40 m e largura útil constante de 2,80 m. O acesso a plataforma é feito através de rampa com 2,60 m de largura e entrada com 4,80m. A escada na extremidade da plataforma, que leva ao terminal integrado do SEI, ainda não está aberta para acesso e saída. Possui seis conjuntos de dois bancos em concreto com formato retangular, como também pilares e lixeiras na faixa de 0,60 m na parte posterior da plataforma, representada na Figura 16.

3.3.3 Coleta de dados operacionais

O Centro de Controle Operacional trabalha com o planejamento e o controle da operação. O planejado consta na tabela horária e o controle, na tabela de partidas e chegadas e diário operacional (Anexo A). Com o objetivo de obter as informações detalhadas da operação dos trens no período estudado, foram levantados documentos de registro do planejamento e da operação e realizadas coletas de dados sobre carregamento, para permitir comparar o planejamento da operação com o realizado, bem como tratamento, análise e interpretação estatística das variáveis de carregamento e *dwell time* com representação gráfica das amostras coletadas.

Foram coletados os dados de viagens realizadas por quatro trens, que circularam nos dias úteis da primeira semana de novembro e dezembro de 2018, na via 1 (sentido centro - subúrbio) da linha Centro do sistema CBTU STU REC, no horário de pico vespertino (Anexo A).

Esses dados coletados subsidiaram a escolha da viagem amostral, a qual foi detalhada em cada uma das estações elencadas para o estudo, utilizando o método de Coleta de Dados e aplicação destes aliados à observação na matriz proposta por Seriani (2018). Para isso, foram considerados: (1) tabela horária; (2) dados de tempo de parada; (3) dados de carregamento; (4) planilha de controle de chegadas e partidas; (5) Diário de Controle Operacional, detalhados nas seções a seguir.

3.3.3.1 Tabela Horária

A Tabela de Injeção e Recolhimento dos Trens ou Tabela Horária (Anexo A) define a quantidade e ordem dos trens a serem injetados ou recolhidos do sistema em horário de pico

ou de vale, a distância e o intervalo planejado para a operação dos dias úteis, considerando os horários de partidas e chegadas às estações e *dwell time* previsto.

O CCO segue o planejado na tabela horária que, ao definir os horários de injeção dos trens, já leva em consideração o *headway* e o tempo de parada. O CCO se comunica diretamente com os maquinistas e, caso existam restrições de circulação, estes têm que aguardar autorização para a partida, depois dedarem o comando de abrir e fechar portas e aceleram e param o trem, conforme instruções do CCO.

3.3.3.2 Dados compilados de peso dos trens

O TUE, da fabricante CAF, material rodante mais novo em circulação na linha Centro, operada pela STU - Recife, possui um sistema de registro de dados da operação dos trens, tais como peso, aceleração e velocidade, além dos horários quando o trem chega e parte das estações. Dentre essa série de dados registrados no sistema, foram retiradas as informações sobre o peso dos carros ao chegar a cada estação estudada e o tempo de parada. Os dados foram coletados na caixa preta de quatro a cinco trens, nos dois períodos estudados, descompactados, através de um programa específico desenvolvido para esta finalidade. Ao final do processo, foram geradas planilhas, referentes às viagens diárias de cada TUE com suas respectivas informações extraídas.

O trem CAF possui um sistema de bolsas de ar que inflam ou esvaziam, conforme o carregamento do trem, de modo a compensar a altura do piso do trem, deixando-o sempre nivelado com a plataforma. A aferição do peso dos carros do trem é feita através do cálculo de pressão sobre as bolsas de ar da suspensão, de modo a permitir estimar o número de passageiros a bordo do trem. Para se chegar à quantidade de usuários dentro do trem, foi utilizado o registro da variação entre o peso do trem vazio e o peso do trem ao chegar a cada estação, dividindo-se este resultado por 70 kg, considerado como média de peso de um passageiro (ARAÚJO, 2009). Esses dados permitiram subsidiar a comparação da observação da realidade e densidade dentro do trem, complementando a análise da ocupação e movimentação por meio das câmeras de CFTV.

3.3.3.3 Dados compilados de tempo de parada do trem

Ainda sobre o sistema de registro de dados da operação dos trens da CAF, nas duas semanas selecionadas, foram retirados e descompactados também, os dados de chegada e partida de quatro trens nas estações estudadas, que permitiram obter o *dwell time* em cada viagem. O registro de chegadas e partidas é feito desde o momento em que o freio está ativado e a aceleração chega a zero até quando o trem acelera e dá partida da estação estudada. Esses dados foram extraídos e compilados de forma a dar a posição do trem em cada estação e subsidiar a comparação com a observação da realidade.

3.3.3.4 Planilha de Controle Operacional de Chegadas e Partidas dos trens

O boletim de Chegadas e Partidas (Anexo A) dá o detalhamento das viagens realizadas, especificando o número do trem, número da viagem, a estação e plataforma onde é feita a aferição. Em seguida, apresenta o *headway* realizado, horários de chegadas, partidas na plataforma, os respectivos atrasos, se houver. O cálculo de atraso é feito sobre o tempo estimado para parada e o *headway*.

Se compararmos os dados de *dwell time* fornecidos pelo sistema CAF e do CCO, há diferença de alguns segundos, pois o primeiro considera a parada pela aceleração do veículo e a outra utiliza sensores de sinalização nas bordas de cada estação, portando, há uma variação de tempo entre o início da aceleração do trem e sua chegada ao ponto onde há a leitura de sua saída. Entretanto, de acordo com os conceitos de *dwell time*, optou-se neste estudo por considerar os registros da aceleração do trem para se obter o momento exato de sua parada e sua partida, por serem mais precisos na aferição da sua interação com a plataforma.

3.3.3.5 Diário Operacional do período estudado

O Diário Operacional (Anexo A) mostra informações sobre as viagens realizadas, sobre o cumprimento do horário e *headway* previsto num determinado período de tempo e trabalha esses dados atribuindo índices, dentre eles os de regularidade e pontualidade.

3.3.3.6 Escolha da viagem amostral

Como o objetivo do trabalho aborda carregamento, tempo de parada e níveis de interação, decidiu-se estudar como se dá a superlotação do sistema em uma viagem típica de horário de pico, avaliando o movimento de embarque e desembarque em cada uma das estações. Ao estudar as viagens da via 1, no horário de pico vespertino, é possível acompanhar como e onde se dá a superlotação do sistema, devido aos carregamentos nas estações críticas.

Para escolher a viagem para aplicação da metodologia do estudo empírico, foram analisados os dados coletados à luz das observações em campo em dias úteis dos meses de outubro, novembro e dezembro de 2018 e descartados os que tiveram a movimentação prejudicada por falhas e operação especial do sistema, com o mínimo de intervenções propositais que acabam por influenciar o aumento demasiado do *dwell time*.

Para selecionar a viagem amostral, usada para aplicação da metodologia de análise do nível de interação, foi escolhida uma viagem típica, com grande carregamento, porém pouco abaixo da capacidade máxima dos trens. As amostras coletadas em outubro e novembro de 2018 serviram como teste para aplicação da metodologia, de forma que fosse possível utilizar as informações coletadas, avaliar o posicionamento das câmeras de CFTV, e assim possibilitar a aplicação da metodologia escolhida. As viagens nas quais a capacidade do trem foi atingida, entre 1.000 e 1.200 passageiros, apresentaram difícil visualização do fluxo através do vídeo. Como as observações servem de base para o estudo empírico, optou-se, portanto, por uma viagem com grande carregamento a ponto de destacar os problemas de eficiência e segurança dos usuários, porém com capacidade de observação dos fluxos e identificação do nível de interação a serem estudados.

A viagem escolhida foi do TUE 37, no dia 06/12/2018, que iniciou a prestação de serviço na plataforma 1C da estação Recife às 17:53 e partiu às 18:11 da estação Barro, sentido Jaboatão, contando com os dados de chegadas, partidas, *dwell time* e carregamento na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados coletados da viagem estudada.

Evento	Horário	<i>Dwell time</i> realiz. (s)	Carregamento estimado de passageiros	Variação estimada passageiros
Partida REC-1	17:53:46	57	529	
Chegada JOA-1	17:55:38			
Partida JOA-1	17:56:51	73	855	326
Chegada AFO-1	17:58:32			
Partida AFO-1	17:59:56	84	898	43
Chegada BAR-1	18:10:26			
Partida BAR-1	18:11:35	69	831	-67

Fonte: Silva Junior, 2018¹.

3.3.4 Observações da movimentação de passageiros no embarque e desembarque

Partindo das observações de campo e dos dados operacionais coletados, foram identificados os pontos críticos das plataformas estudadas, comportamento recorrente de passageiros e problemas encontrados nas interações na área de interface plataforma-trem no horário de pico vespertino. As estações estudadas possuem sistema de câmeras de CFTV, cujas gravações foram solicitadas à CBTU pela autora, em alguns horários relacionados aos dados coletados nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2018, a fim de captar e extrair os dados da movimentação de passageiros durante a interação com o sistema. Foram obtidas imagens de oito câmeras da plataforma 1 C em REC, nove câmeras da plataforma 1C em JOA, sete câmeras da plataforma 1 em AFO e seis câmeras da plataforma 1 em BAR.

O método de estudo do comportamento de passageiros por observação de gravação de vídeos, conhecido como técnica do “olho de pássaro” ou voo de pássaro, além de obter um ângulo de visão geral da movimentação nas plataformas e trens, permite a coleta de informações sem interferir no comportamento dos observados (FOX *et al.*, 2017). As observações da área de estudo, através das imagens de CFTV da viagem amostral, tiveram como atividades:

- observação por CFTV dos dados estáticos e dados dinâmicos, de cada uma das estações estudadas;
- escolha das variáveis;
- matriz de comportamento e interação no embarque e desembarque de passageiros.

¹ Os dados apresentados foram extraídos e processados por Itamar Geraldo da Silva Junior, da Coordenação Operacional Movimento Linha Centro - CBTU STU Recife.

3.3.5 Observações de aspectos estáticos e dinâmicos

Entende-se por dados estáticos aqueles que dizem respeito às distâncias de caminhada e material rodante, à localização das portas e sua largura útil, ou seja, condições que não sofrem variação no cenário estudado. Já os dados dinâmicos são divididos em embarque e desembarque (número de passageiros e tempo) e densidade (DAAMEN, 2004), que variam de acordo com a movimentação nas estações.

3.3.5.1 Dados estáticos

Como parte dos dados estáticos, o projeto das plataformas, contempla a informação acerca do dimensionamento e layout de acessos, equipamentos de circulação, bancos e lixeiras implantados no local. As estações estudadas possuem plantas que diferem em alguns aspectos, que influenciam o comportamento do usuário nas plataformas e seu deslocamento. Ao analisar as plantas baixas das plataformas, obtidas dos arquivos da CBTU STU REC, foram levantados dados de cada uma das estações referentes a:

- a) comprimento e largura útil das plataformas (retirando 0,60m da faixa de segurança e 0,60m da faixa de equipamentos, tais como bancos e lixeiras);
- b) largura das rampas ou escadas;
- c) distância e altura entre o piso da plataforma e o piso do trem.

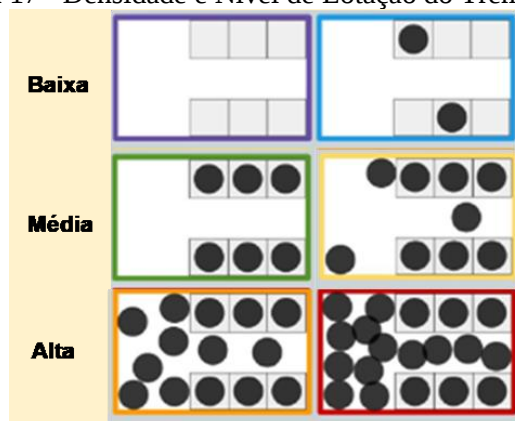
O material rodante que circula na linha Centro foi estudado e sua interação com as plataformas das estações Recife, Joana Bezerra, Afogados e Barro, mostradas anteriormente nas figuras 13 e 16, onde foi possível identificar, além das características físicas destas, o posicionamento do trem e da porta crítica, ou seja, a porta mais congestionada (SERIANI, 2018), em relação aos equipamentos instalados.

3.3.5.2 Dados dinâmicos

A partir da viagem estudada, ocorrida na quinta-feira dia 06/12/2018, com o TUE 37 indo de REC para JAB, no horário de pico vespertino, foram coletados dados de número de passageiros embarcados e desembarcados em cada porta do trem, durante as paradas nas

estações estudadas. Foi feita a contagem do número de usuários embarcando e desembarcando na porta crítica referente a cada estação estudada. Além dos dados de contagem, foram marcados os horários de abertura de portas e tempo de embarque e desembarque. A densidade foi avaliada usando os diagramas de Kelley *et al.* (2016), para representar graficamente o nível de aglomeração de plataforma e trem e o local em que ocorrem, porém sintetizando os 6 níveis de lotação em baixo, médio e alto de forma a facilitar obter a densidade crítica, para definição dos níveis de interação proposto por Seriani (2018), conforme Figuras 17 e 18.

Figura 17 - Densidade e Nível de Lotação do Trem - NLT.

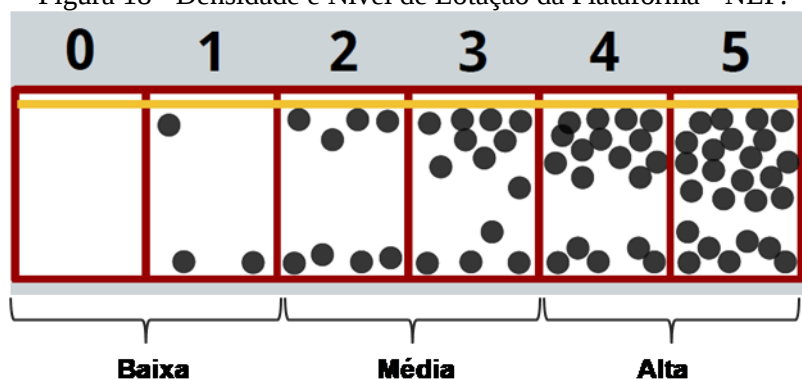


Fonte: Adaptado de Kelley *et al.*, 2016.

Os seis níveis de Lotação dos trens, foram divididos de modo que os NLT 0 e 1, correspondem à densidade baixa de ocupação, que representa o trem vazio até a ocupação de alguns assentos. A densidade média corresponde ao trem com todos os assentos ocupados, chegando até alguns espaços do corredor com passageiros. O nível alto vai desde todos os assentos e corredores ocupados até a lotação total do trem.

Sobre o Nível de Lotação das Plataformas (Figura 18) foi realizada uma síntese da distribuição das densidades, similar à anterior, onde NLP 0 e 1, correspondem à baixa densidade de ocupação da plataforma; NLP 2 e 3, média densidade e NLP 4 e 5, com alta densidade, com excesso de passageiros e dificuldade de caminhada. Nota-se que a distribuição não é uma mera representação da densidade, e sim, mostra a tendência de localização da ocupação das plataformas pelos passageiros que aguardam o embarque.

Figura 18 - Densidade e Nível de Lotação da Plataforma - NLP.



Fonte: Adaptado de Kelley *et al.*, 2016.

Através dos dados dinâmicos observados, relativos ao processo de embarque e desembarque de passageiros, é possível notar que quanto maior a distância da porta do trem para os acessos, menor é o número de passageiros embarcando nesta. Para isso, foram levantadas as informações de cada uma das estações nesta viagem, descritas a seguir:

- a) horário de chegadas e partidas dos trens;
- b) tempo de abertura de portas;
- c) número total de passageiros embarcando no trem;
- d) número total de passageiros desembarcando do trem;
- e) tempo de embarque e desembarque;
- f) tempo de interação ou de embarque e desembarque simultâneos.

A metodologia usada para análise da densidade de ocupação nas plataformas e dos trens foi a do estudo de Kelley *et al.* (2016). No caso da plataforma, foi usada a imagem de ocupação por estocagem de passageiros, divididas em 4 partes, em frente a cada carro, 3 segundos antes da parada do trem em cada estação. A densidade de ocupação dos trens antes da abertura das portas nas estações estudadas também foi analisada pela metodologia proposta pelos autores, somente na área da porta crítica.

A escolha da porta crítica para servir de base para a aplicação do método BAMBI, detalhado na seção 3.3.6, foi feita com base na observação em campo, observação por CFTV para identificação das portas mais congestionadas, onde constatou-se maior aglomeração próxima aos acessos às plataformas. No caso de BAR, como o posicionamento das câmeras localizadas na plataforma não favoreceu a contagem da movimentação de passageiros e não daria possibilidade de continuar o estudo empírico pela aplicação da matriz, foi escolhida uma

porta com grande movimentação de passageiros, com boa visualização para o estudo (figura 16).

3.3.6 Matriz de comportamento e interação de embarque e desembarque

Com o objetivo de verificar o quanto o carregamento influi nas relações de eficiência e interação na área de IPT, o presente trabalho contempla o estudo empírico, com base no método de Coleta de Dados, além da aplicação do método *Boarding and Alighting Matrix Behavior Interaction* (BAMBI), proposto por Seriani (2018) na área estudada.

O método proposto gera uma matriz de interação e comportamento no embarque e desembarque, que se adequa à disponibilidade de informações e imagens gravadas e permite uma forma detalhada de análise da interação de cada tipo de passageiro na plataforma, IPT e trem, durante o processo de embarque e desembarque. O presente estudo conta com observações de imagens de CFTV e estudos de campo, de modo a subsidiar um diagnóstico, através das matrizes, identificando as áreas mais congestionadas do sistema, seus problemas potenciais e onde estes ocorrem. Essas interações podem influenciar o comportamento dos pedestres e serem amenizadas por medidas de gerenciamento de multidões. O método consiste em três fases, detalhadas nas seções seguintes.

- a) modelo de representação e mapa de interação;
- b) identificação das variáveis dos modelos e categorizá-las conforme a área onde ocorrem;
- c) matriz de interação e comportamento no embarque e desembarque.

3.3.6.1 Modelo de representação e mapa de interação

A fim de representar o movimento dos passageiros e os problemas de interação ocorridos na área de IPT, foi estudada a porta crítica dos trens em cada estação estudada. A área em frente a essa porta crítica, chamada de área de conflito de plataforma (SERIANI, 2018), é onde os passageiros estocados na plataforma se organizam para embarcar. Desta forma, o autor criou um modelo de divisão da área das plataformas ao redor das portas em camadas concêntricas, com a localização dos passageiros prestes a embarcar. Seriani (2016) sugere que essa posição seja captada 2 a 3 segundos antes da parada do trem, quando já é

possível para os passageiros estimar o local de parada da porta. Desse diagrama, resulta um mapa de interação com registro da situação de aglomeração, cruzamento de fluxos, colisão e fluxos confinados, onde é possível observar a densidade e potenciais riscos. Foi realizada a identificação e representação dos padrões de movimentos e comportamentos de embarque e desembarque na área de interação plataforma-trem, desde 3 segundos antes da parada do trem até o fechamento das portas críticas, em cada estação estudada, seguindo a metodologia proposta por Seriani (2016).

As filas começam a se formar a partir do instante de abertura das portas e podem ser de quatro tipos:

- a) espera em frente às portas;
- b) aglomeração ao lado da porta;
- c) faixa na frente das portas;
- d) fila ao lado da porta.

Quanto ao desembarque, são identificadas quatro categorias de faixas: nenhuma, uma faixa, duas faixas e entre uma e duas faixas. Esse número de faixas se relaciona com a razão entre número de embarques e desembarques, representada por R , que quanto maior seu valor, menor o número de faixas (SERIANI; FUJIYAMA; RODRIGUEZ, 2016).

3.3.6.2 Identificação das variáveis

A definição das variáveis físicas, espaciais e operacionais aplicáveis no estudo permite fazer uma análise detalhada das interações ocorridas na interface plataforma trem. Estas variáveis dos modelos, que se aplicam ao estudo de caso, são divididas de acordo com as infraestruturas: (1) trem, (2) interface plataforma-trem e (3) plataforma, conforme metodologia proposta por Seriani (2018).

Em sua tese, Seriani (2018) cita as 11 variáveis que afetam o comportamento e interação dos passageiros no processo de embarque e desembarque no trem, na área de IPT e na plataforma, referenciando aos autores que fizeram o estudo das mesmas em experimentos de laboratório e em estudos de campo. Segundo o autor, as variáveis relacionadas ao veículo abrangem passageiros desembarcando e a bordo, enquanto as da IPT são portas de bordas de

plataforma, gap vertical e horizontal, tempo de embarque e desembarque, tempo de interação, sobreposição de fluxo de passageiros e formação de filas de fluxo. As variáveis que influenciam o comportamento nas plataformas são tipos de faixas, passageiros aguardando para embarcar no trem e presença de desníveis na plataforma.

Dentre as variáveis citadas pelo autor (ibid), foram elencadas nove, analisadas neste estudo empírico, conforme tabela 7. A cada variável foi atribuído um código (V1, V2, V3... V9), além da unidade e valor medido em cada estação, quando possível, a fim de facilitar a descrição sintética destes aspectos na matriz de interação, descrita no item 3.3.6.4.

Tabela 7 - Variáveis que afetam comportamento e interação no estudo proposto.

Categoria	Variável	Unidade	Código
Trem	Passageiros embarcando	Pass.	V1
	Passageiros desembarcando	Pass.	V2
	Passageiros a bordo na chegada	Pass.	V3
IPT	Tempo de embarque e desembarque	s	V4
	Tempo de interação (TI)	s	V5
	Formação de filas de fluxo	-	V6
	Sobreposição de Fluxo	Pass.	V7
Plataforma	Tipo de filas	-	V8
	Passageiros esperando para embarcar	Pass.	V9

Fonte: A Autora, 2018.

Dentre as variáveis que afetam interação nos trens, foi aferido o número de passageiros embarcando, desembarcando e a bordo do trem no momento de parada em cada estação. Essas variáveis influenciam a densidade dentro do trem e os riscos percebidos no movimento de acomodação dos usuários no nível de interação. Optou-se por contabilizar o número de passageiros embarcando nesse estudo, dada a necessidade de comparação da razão do número de embarques e desembarques nas estações, com diferentes demandas no trecho estudado.

A interação na área de IPT elencou as variáveis: (1) tempo de interação (quando há embarque e desembarque simultâneos); (2) tempo de embarque e desembarque; (3) formação de filas de fluxo e (4) sobreposição de passageiros, ou seja, número de passageiros movimentados simultaneamente. A maioria destas variáveis se relaciona com aspectos

dinâmicos e de tempo, visto que a área onde ocorre a interação deve ser usada apenas para o movimento de passageiros do trem para plataforma ou o contrário.

A definição das variáveis aplicadas nesse estudo empírico, desconsiderou as portas de borda de plataforma, inexistentes no sistema, e os desníveis entre o piso da plataforma e o piso do trem, visto que no estudo de campo, as dimensões do *gap* vertical e horizontal encontradas estão dentro do limite aceitável no estudo de Thoreau *et al.* (2017), até 150 mm e 75 mm, respectivamente, dada a baixa interferência no fluxo de embarque e desembarque de passageiros. O desnível entre pisos, conhecido como *gap*, pode aumentar o risco de ocorrência de acidentes no movimento de embarque e desembarque.

Já as variáveis elencadas relativas à plataforma são tipos de filas em função da influência da conformação da organização para o embarque e o número de passageiros à espera do próximo trem. A característica relativa à estocagem de passageiros na plataforma aguardando o trem seguinte em razão da superlotação é acentuada devido à operação do sistema estudado com viagens de destinos intercalados. A forma e local onde os passageiros ficam dispostos nas plataformas influenciam na densidade nas proximidades das portas do trem e na percepção de risco, bem como podem dificultar o processo de embarque e desembarque.

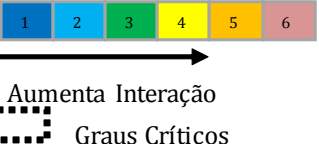
Embora as variáveis tenham relações entre si, o estudo destas, separadas por categoria, se dá como um recorte a fim de delimitar as áreas envolvidas no processo de embarque e desembarque e seus níveis de interação como processo dinâmico do fluxo de passageiros no tempo e no espaço. Conforme bibliografia revisada, o tempo de embarque e desembarque, tempo de interação, tipos de filas, formação de filas, fluxo são função do número e razão entre passageiros que embarcam e desembarcam, que por sua vez se relacionam com a densidade, como componente dos níveis de interação.

3.3.6.3 Matriz de interação e comportamento no embarque e desembarque

A partir da definição da densidade e percepção de risco, é determinado o Nível de Interação (NI), classificado como baixo, médio e alto, segundo a metodologia BAMBI (SERIANI; FUJIYAMA; RODRIGUEZ, 2016). No caso da percepção de risco, são analisados cinco aspectos em RSSB (2015): escorregões/ tropeços/ quedas, sobrecargas, usuários com pressa ou correndo, intoxicação e perigo na estrutura física da plataforma.

A Tabela 8 mostra o grau de interação, representado por cores e números de 1 a 6 resultantes da combinação da percepção de risco com a densidade, onde 1 corresponde à menor interação e 6, a maior interação.

Tabela 8 - Grau de interação entre passageiros de embarque e desembarque na área IPT.

Percepção de risco	Densidade			Legenda
	Baixa	Média	Alta	
Baixa	1	2	4	
Média	2	3	5	
Alta	4	5	6	

Fonte: Adaptado de Seriani, 2018.

Como síntese do método de medição do Nível de Interação (SERIANI, 2018), a partir dos graus distribuídos na tabela anterior, o autor os resumiu, conforme a seguir.

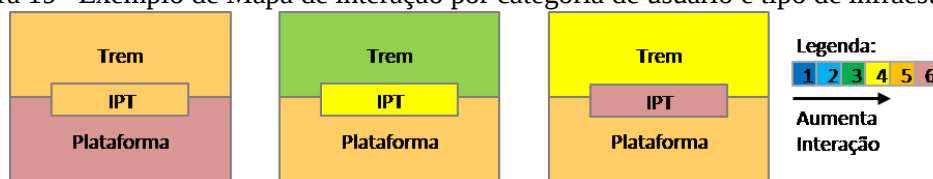
- interação alta: quando há risco de acidentes com mais de 2 passageiros por m^2 em movimento, ou mais de 4 passageiros parados a cada m^2 ;
- interação média: risco de acidente reduzido e densidade entre 1 e 2 passageiros por m^2 ;
- interação baixa: baixo risco de acidentes sem problemas possíveis e densidades menores que 1 passageiros por m^2 .

A matriz de interação e comportamento no embarque e desembarque aponta o agrupamento das variáveis por local onde ocorrem as interações (plataforma, trem ou IPT) e o tipo de usuários que são afetados pela interação, classificados como somente embarque, somente desembarque ou ambos. Para construção da matriz, seguindo dois passos:

- distribuição de cada variável, relacionada anteriormente, correspondendo a um grau de interação nas áreas onde ocorreram (trem, PTI ou plataforma) e pelo tipo de passageiros envolvidos;
- elaboração de uma matriz com 3 linhas e 3 colunas, com os 3 tipos de interação e 3 tipos de áreas e analisar, identificando problemas e o local onde ocorrem para relatar aos responsáveis pelo trem, plataforma e PTI.

A matriz gerada é sintetizada através do mapa de interação, com indicação das colunas e linhas da matriz, identificada pelas cores das interações resultantes da análise, conforme apresentado a seguir (Figura 19).

Figura 19 - Exemplo de Mapa de interação por categoria de usuário e tipo de infraestrutura.



Fonte: Adaptado de Seriani, 2018.

3.4 ANÁLISE COMPARATIVA DE DADOS E OBSERVAÇÕES

O método aplicado ao estudo empírico proposto, partindo da tese de Seriani (2018) e seus estudos anteriores (Seriani, 2016; Seriani *et al.*, 2016), chamado de *Boarding and Alighting Matrix Behavior Interaction* (BAMBI), permitiu identificar e quantificar as interações entre os passageiros do sistema metroferroviário e confrontar com os dados operacionais de carregamento coletados e a eficiência do sistema, através de análise do tempo de parada. Portanto, na análise comparativa é possível relacionar os dados operacionais levantados e as observações do sistema de modo a identificar as causas e os problemas gerados pela superlotação.

Os resultados da pesquisa iniciam-se com a exposição dos dados operacionais coletados e sua análise estatística, passando pelas observações das interferências no *dwell time* planejado e, por fim, as diretrizes para a superação do problema.

3.4.1 Análise estatística das variáveis de carregamento e *dwell time*

Foi realizado o tratamento estatístico sobre as variáveis de *dwell time* e carregamento dos trens. As amostras foram coletadas em duas semanas, primeira semana de novembro e primeira semana de dezembro de 2018. Para iniciar o teste das variáveis, foi feito um gráfico do tipo *Box plot* para possibilitar uma análise descritiva inicial e avaliar a distribuição das amostras, mínimo, máximo, médias, medianas e estipular um intervalo de confiança. Depois foi realizada uma análise por correlação geral e por estação entre as variáveis de peso e carregamento, para avaliar a possibilidade de gerar um modelo de regressão.

3.4.2 Relações entre carregamento, *dwell time* e níveis de interação encontrados

A partir dos dados operacionais previstos e realizados obtidos, somados à representação de gráficos das amostras, foi realizada uma comparação com a movimentação padrão observada em uma viagem em horário de pico vespertino e os resultados do nível de interação encontrados na área de interface plataforma-trem, buscando observar a influência do comportamento do usuário nas variáveis estudadas e nos padrões de embarque e desembarque observados.

Como resultado da análise, buscou-se apresentar o quanto o carregamento tem influência na eficiência do sistema metroferroviário, ao induzir um aumento do *dwell time* e a repercussão nos índices de pontualidade e regularidade e nos níveis de interação entre passageiros.

3.4.3 Diretrizes de ações mitigadoras para os problemas encontrados

Os problemas referentes ao nível de interação observados foram apontados, o que permitiu que fossem sugeridas ações para mitigação, dentre as medidas estudadas na revisão bibliográfica. Como a matriz gerada aponta o problema dividido por área de ocorrência e pelo tipo de usuário, é possível o direcionamento da ação, o que dá mais efetividade nos resultados. Se o problema de interação encontrado ocorrer dentro do veículo, na plataforma ou na área IPT, cada responsável pela área deve ser chamado a agir. Da mesma forma que o tipo de passageiro com o qual ocorre o problema pode ser informado, para assim evitar grandes interações (SERIANI, 2018).

A partir dessas definições, apontaram-se as diretrizes de medidas e ações de redução de *dwell time*, que podem proporcionar mais eficiência ao sistema metroferroviário e otimização do processo de embarque e desembarque de passageiros. Ao destacar os problemas e os riscos aos quais os usuários estão suscetíveis, foi possível propor melhorias ao sistema, a fim de sensibilizar o operador quanto à necessidade de ações direcionadas.

3.5 CONCLUSÃO

Como forma de contemplar as dimensões quantitativas e qualitativas de análise da realidade encontrada, decidiu-se pelo método de coleta de dados operacionais,

disponibilizados pela empresa, tais como partidas e chegadas, carregamento dos trens e diário operacional. Para dar base ao estudo empírico, foram feitas observações em campo e observação detalhada do movimento de embarque e desembarque, através das imagens de CFTV de trens e plataformas, cedidas pela empresa. Desta forma, foi possível aplicar o método BAMBI, de modo a analisar o comportamento e fluxo de passageiros em viagens de grande carregamento e sua influência nos índices de eficiência do sistema. Toda a análise apontou para a definição de diretrizes de medidas e ações para resolução dos problemas de interação entre plataforma e trem e atendimento aos objetivos gerais e específicos da pesquisa.

4 OBSERVAÇÕES DA ÁREA DE INTERFACE PLATAFORMA-TREM

A fim de caracterizar a movimentação dos usuários do sistema metroferroviário e reconhecer os fatores que contribuem para o aumento do *dwelt time* nas estações da linha Centro, do Metrô do Recife, este capítulo apresenta o estudo empírico a partir das observações do fluxo dos passageiros na área de interface plataforma-trem nas estações estudadas.

Foram selecionadas viagens nos horários de pico vespertino, onde é possível notar grande desbalanceamento entre o volume de passageiros na via 1 e via 2, de forma a caracterizar a volta dos passageiros que foram fazer suas atividades no centro da cidade. Visto que o centro é uma importante zona atrativa pelas atividades econômicas, de educação e empregos, os passageiros, moradores dos subúrbios e RMR, deslocam-se massivamente em direção ao centro durante o horário de pico da manhã, entre as 6h30 e 8h30 ao longo da via 2 (sentido Coqueiral – Recife) e dirigem-se ao subúrbio no pico vespertino das 16h30 às 19h30, ao longo da via 1 (sentido Recife – Coqueiral).

Desta forma, foi realizado estudo empírico, iniciado através de observações e posterior coleta de dados operacionais, coleta de dados estáticos e dinâmicos e montagem da matriz de comportamento e interação de embarque e desembarque, resultante da aplicação do método BAMBI. Os resultados encontrados a partir da aplicação das metodologias detalhadas no capítulo 3 para análise da viagem amostral escolhida, resulta em diagramas, quadros, tabelas e matrizes com informações coletadas e analisadas, apresentados nas seções seguintes.

4.1 OBSERVAÇÕES INICIAIS

Para início das análises da movimentação na área de IPT, foram realizadas observações em campo nas estações estudadas, durante os dias úteis, com foco no fluxo e movimentação dos passageiros ao longo da plataforma, em horários diversos e outros aspectos divididos entre físicos, espaciais e operacionais.

Dentre os aspectos físicos possíveis de se observar, foi constatado que nas estações estudadas o desnível e vão entre os pisos da plataforma e trens são pequenos, não excedendo os padrões aceitáveis levantados na bibliografia, com distância vertical aceitável até 150 mm e horizontal de até 75 mm. Os pisos nivelados e numa distância aceitável não ocasionam

grandes dificuldades no embarque e desembarque de passageiros e não representam grande risco de acidentes.

A largura da plataforma na estação REC não é constante, pois em razão da localização das escadas fixas e rolantes, a área de chegada destinada a estas acaba sendo ocupada pelos passageiros. Há usuários parados nessas áreas atrapalhando a chegada de mais passageiros e, ao movimentarem-se ao longo da plataforma, precisam passar por áreas mais estreitas, provocando um efeito de “gargalo” devido ao estrangulamento dos fluxos. Nas demais estações, a largura das plataformas é constante, tendo apenas os pilares da estrutura e os equipamentos tais como bancos e lixeiras. A largura das portas do trem é de 1,60 m, contando com quatro unidades de cada lado por carro da composição, aparentando suprir a necessidade de fluxo de passageiros.

Na observação de aspectos espaciais, foi constatado que não há marcação dos locais onde as portas dos trens ficam durante a parada, porém os passageiros podem estimar e, como o sistema opera com trens intercalados de destino Jaboaão e Camaragibe, os passageiros que aguardam o trem seguinte, posicionam-se no local onde observaram o embarque anterior.

Quando os trens estão muito cheios em horário de pico, os passageiros embarcados tendem a ficar na área próxima às portas de modo a facilitar o seu desembarque na estação de destino, o que provoca um grande adensamento na entrada do trem e dificuldade para a movimentação no processo de embarque e desembarque.

Sobre os aspectos operacionais, foram observados o tipo de passageiros, densidade, localização e movimentação de passageiros nos trechos de plataforma, fluxos nas portas dos trens e tempo de embarque e desembarque.

Nos dias de estudo de campo, foram poucos os passageiros com bagagens, porém é recorrente a presença de vendedores ambulantes carregando grandes volumes de mercadorias. São poucos os usuários com mobilidade reduzida, observados com mais destaque na estação REC, onde estes são orientados a pegar o trem na plataforma central, onde acontece o desembarque da linha Centro. O trem é esvaziado e segue com as pessoas de mobilidade reduzida acomodados nos assentos em direção ao prolongamento, para retorno e início da viagem em direção ao subúrbio. Quando o trem chega à plataforma 1C em REC, já está com alguns assentos ocupados por estes usuários que embarcaram na plataforma central.

Durante o período observado, foi percebida a variação de densidade dos trechos de plataforma ao longo do tempo, o que levou a identificar a intensa movimentação e densidade de passageiros nas proximidades dos acessos às plataformas nas estações JOA, BAR e AFO e

poucos usuários que se deslocam até as bordas. No caso de REC, que tem três acessos, a maior densidade fica próximo à escada fixa central. Nas proximidades das portas dos trens, apesar de não ter indicação no local, os usuários habituais já estimam o ponto onde poderão acessar o veículo e ficam aguardando a chegada do próximo trem.

A movimentação percebida dos passageiros desembarcados se dá em direção às saídas da plataforma em JOA, AFO e BAR. No caso de REC, que é estação terminal, a plataforma 1 funciona apenas como embarque. Ao observar o fluxo de passageiros embarcando e desembarcando pelas portas dos trens, é possível notar a aglomeração em frente às portas e o desrespeito à sinalização de embarque pelo lado direito, causando interferências no fluxo de desembarque.

O tempo de embarque e desembarque varia de acordo com a porta do trem e depende do número de passageiros disponíveis para entrada naquela porta e da densidade de ocupação de passageiros embarcados. Algumas vezes foi notada obstrução acidental ou proposital de portas por passageiros que embarcaram no último segundo ou que seguraram a porta.

4.2 LEVANTAMENTO E OBSERVAÇÃO DE DADOS ESTÁTICOS E DINÂMICOS

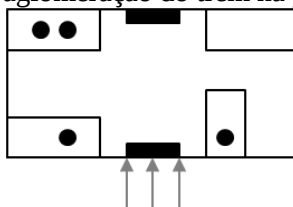
Partindo-se dos dados de viagens coletados (Anexo A), descritos no capítulo anterior, foi elencada uma viagem de um trem selecionado com grande carregamento de passageiros. De modo a caracterizar uma situação extrema do horário de pico vespertino, foram feitas aferições, através de observação de imagens gravadas de CFTV, na passagem por cada uma das estações estudadas.

Para isso, foi realizado o levantamento e a observação dos dados estáticos e dados dinâmicos, das portas críticas de cada estação estudada. Os dados estáticos são aqueles relativos às distâncias de caminhada e material rodante, localização das portas e sua largura útil, e os dados dinâmicos quantificam o tempo e quantidade de passageiros no embarque e desembarque, bem como a densidade (DAAMEN, 2004). A densidade foi avaliada usando os níveis de aglomeração do trem na porta crítica, antes da chegada em cada plataforma estudada, proposto por Kelley *et al.* (2016), com níveis expressos em baixo, médio e alto, conforme demonstrado nos diagramas a seguir.

Quando o trem para na plataforma 1 C da estação Recife, já conta com alguns passageiros sentados, que embarcaram na plataforma central, onde é realizado normalmente o

desembarque. A densidade dentro do trem próximo à porta crítica é baixa, contando com poucas pessoas ocupando os assentos, conforme Figura 20.

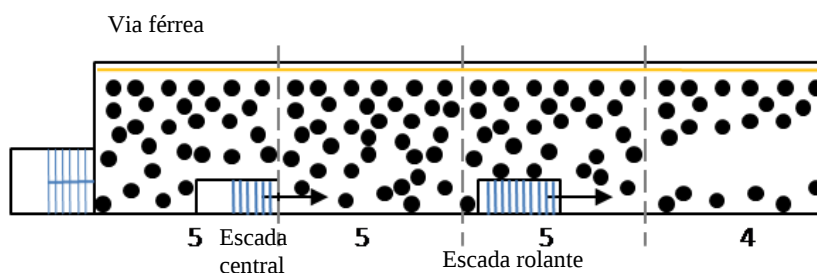
Figura 20 - Nível de aglomeração do trem na porta crítica em REC.



Fonte: A Autora, 2018.

A densidade de ocupação da plataforma REC em cada um dos trechos é alto, conforme representado na Figura 21 e apresenta maior ocupação dos trechos finais da plataforma, próximos aos acessos pelas escadas fixas e escada rolante.

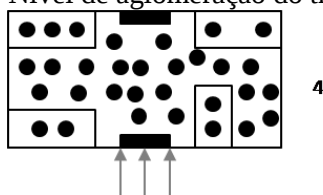
Figura 21 - Nível de aglomeração da plataforma em REC.



Fonte: A Autora, 2018.

Quando o trem para na plataforma 1C, em Joana Bezerra, o carro do trem, próximo à porta crítica encontra-se com densidade alta, todos os assentos ocupados e bastante pessoas viajando em pé, porém ainda é possível se deslocar para acomodação, conforme Figura 22.

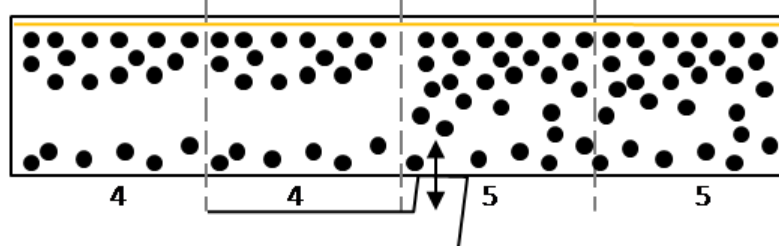
Figura 22 - Nível de aglomeração do trem em JOA.



Fonte: A Autora, 2018.

O nível de aglomeração de plataforma em Joana Bezerra está representado na Figura 23 e conta com densidade alta, destacando-se as proximidades da entrada da rampa de acesso, trecho que coincide com o local onde se localiza a porta crítica.

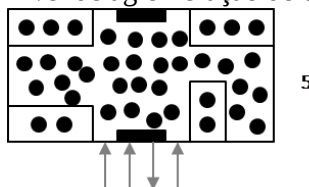
Figura 23 - Nível de aglomeração da plataforma em JOA.



Fonte: A Autora, 2018.

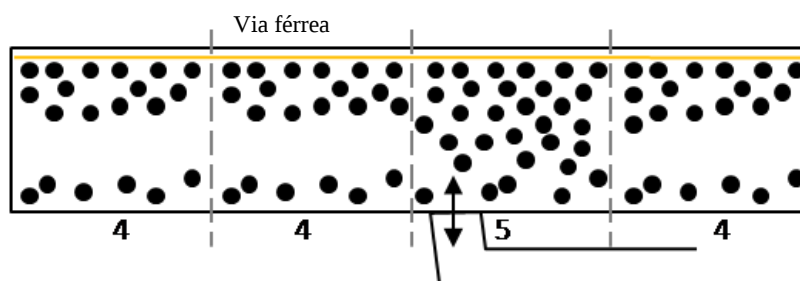
No momento de parada em Afogados, o nível de aglomeração dentro do trem, perto da porta crítica é alto (Figura 24), onde os passageiros têm dificuldade de se deslocar em direção à porta para desembarcar ou embarcar e se acomodar no trem. Os trechos de plataforma encontram-se com densidade alta, com destaque no trecho próximo à porta crítica, conforme Figura 25.

Figura 24 - Nível de aglomeração do trem em AFO.



Fonte: A Autora, 2018.

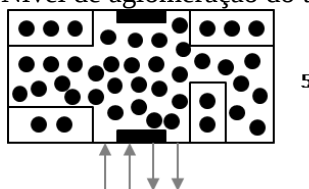
Figura 25 - Nível de aglomeração da plataforma em AFO.



Fonte: A Autora, 2018.

Ao parar na estação Barro, o trecho do trem, próximo à porta crítica encontra-se com densidade alta, onde os passageiros têm dificuldade de se deslocar em direção à porta para desembarcar ou entrar e se acomodar no trem, conforme Figura 26.

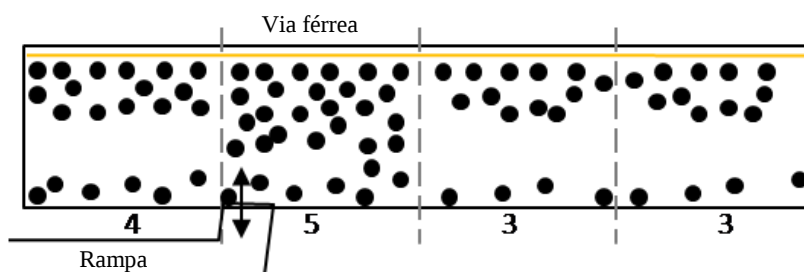
Figura 26 - Nível de aglomeração do trem em BAR.



Fonte: A Autora, 2018.

O nível de aglomeração de plataforma na estação Barro está detalhada na Figura 27 a seguir, onde se nota densidade alta de usuários na plataforma, próximo ao acesso e à porta crítica e trecho final da plataforma e densidade média nos demais trechos. O que se observa em BAR é que passageiros embarcados saem do trem para a plataforma de modo a permitir que outros desembarquem.

Figura 27 - Nível de aglomeração da plataforma em BAR.



Fonte: A Autora, 2018.

A partir das observações realizadas e da atribuição das densidades, conforme metodologia proposta por Kelley *et al.* (2016), foi constatada a grande densidade de passageiros estocados nas plataformas, divididas em quatro partes e foi possível entender como se dá a ocupação do carro do trem pelos passageiros embarcados. Estes índices encontrados estão resumidos na Tabela 9, onde a numeração do trecho de plataforma considera a divisão em quatro partes em frente a cada carro do trem, de 1 a 4.

Tabela 9 - Quadro resumo das densidades.

Estações	Densidade trem (porta crítica)	Densidade plataforma			
		Trecho			
		4	3	2	1
REC	1	5	5	5	4
JOA	4	4	4	5	5
AFO	5	4	4	5	4
BAR	5	4	5	3	3

Fonte: A Autora, 2018.

Legenda: 0 e 1: baixa; 2 e 3: média; 4 e 5: alta

Inicialmente, foram identificados traços do comportamento dos usuários na espera e circulação nas plataformas, a densidade nos trens e plataformas, fluxo de passageiros e contagens do processo de embarque e desembarque, tal como número de passageiros envolvidos por cada porta de cada um dos carros, tempo de embarque e desembarque, possíveis conflitos, reabertura de portas, passageiros com mobilidade reduzida ou carregando grandes volumes de bagagem, quando possível.

Em REC, o trem chegou às 17:52:06 e partiu às 17:53:03, permanecendo na estação por 57 segundos. A porta crítica do trem ficou aberta durante 47 segundos para permitir o embarque de passageiros, com tempo de embarque de 32 segundos, desde a abertura das portas até a entrada do último passageiro a entrar pela porta do trem. Foi contabilizado o embarque de 43 passageiros na porta crítica, e carregamento aferido de 529 passageiros na partida.

Notemos que, como a estação REC é uma estação terminal e encontra-se no centro da cidade, grande polo gerador de viagens, ela tem uma demanda muito grande de embarques no pico vespertino. Outra questão a se ressaltar, é que, como os trens que operam intercalam o destino pelos dois ramais existentes (Jaboatão e Camaragibe) a plataforma não fica vazia após os embarques no trem. De acordo com as observações no local, como o trecho de plataforma próximo ao carro onde fica a porta crítica é muito denso e os passageiros que vão esperar o próximo trem ficam parados na borda da plataforma, a sensação de quem chega é de que as portas estão obstruídas e há muita gente para embarcar ou o usuário não quer ter o desgaste de cruzar uma grande massa de pessoas a fim de embarcar no trem. Por outro lado, esse fato induz a distribuição dos passageiros ao longo da plataforma.

Na estação JOA, o trem permaneceu parado na plataforma durante 73 segundos. Teve movimentação estimada de 326 passageiros, sendo somente embarques. Na porta crítica, embarcaram 43 passageiros, durante 47 segundos.

Na porta crítica da estação AFO, movimentaram-se estimadamente 43 passageiros, entre 15 embarques e 9 desembarques, durante 59 segundos de tempo de embarque e desembarque, nos 84 segundos em que o trem ficou parado na plataforma. O trem teve uma movimentação estimada de 43 passageiros.

Já em BAR, o trem permaneceu na estação por 69 segundos. Foi contabilizada movimentação de 67 passageiros, entre embarques e maior parte de desembarques. Na porta crítica, foram aferidos 18 embarques, 30 desembarques, durante 43 segundos.

Na Tabela 10, são sintetizados os dados estáticos e dinâmicos encontrados em cada estação estudada e referente às portas críticas.

Tabela 10 - Síntese de aspectos estáticos e dinâmicos nas portas críticas.

Item	Dados levantados	Unid.	REC	JOA	AFO	BAR
1	Comprimento x largura útil plataforma	m	95,25 x 2,65	95,40 x 2,80	95,25 x 2,60	95,40 x 2,80
2	Largura rampas e escadas acesso	m	2,60	2,60	2,50	2,60
3	Tempo de parada	s	57	73	90	76
4	Tempo com portas abertas	s	47	55	71	53
5	Total passageiros a bordo chegada	Pass..	529	855	898	831
6	Nº embarques (porta crítica)	Pass.	43	35	15	18
7	Nº desembarques (porta crítica)	pass.	-	-	9	30
8	Tempo de embarque e desembarque	s	47	43	59	43

Fonte: A Autora, 2018.

4.3 NÍVEL DE INTERAÇÃO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM

Conforme metodologia (SERIANI, 2018), foram feitas observações de imagens de CFTV, de modo a subsidiar um diagnóstico, através de matrizes, identificando as áreas mais congestionadas do sistema, seus problemas potenciais e onde estes problemas ocorrem. Essas interações podem influenciar o comportamento dos pedestres e serem amenizadas por

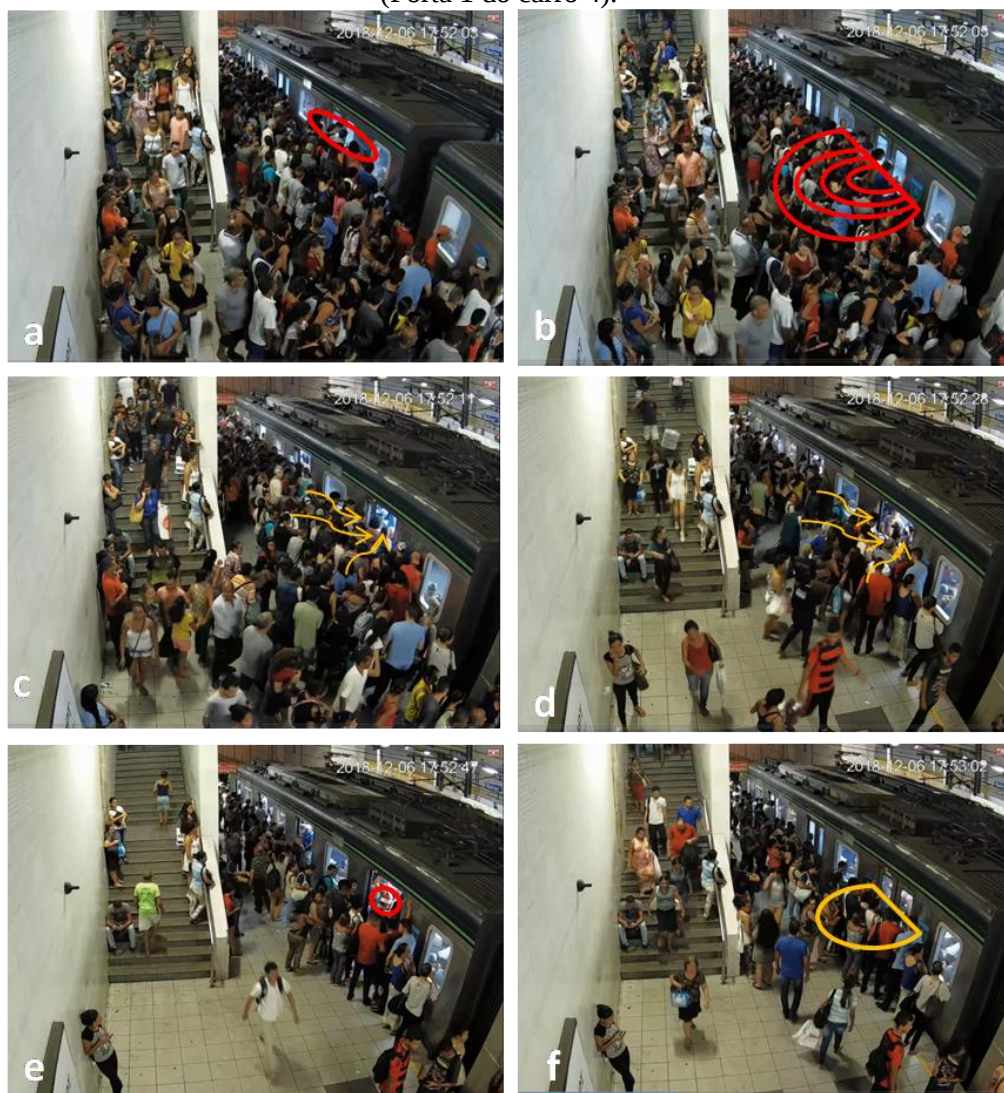
medidas de redução de interação. O método BAMBI, apresentou resultados das suas três fases, descritas nas seções a seguir.

4.3.1 Modelo de representação e mapa de interação

Após a observação geral dos dados, foi feita a identificação e representação dos padrões de movimentos e comportamentos de embarque e desembarque na área de interação plataforma-trem. Para isso, foram analisadas imagens retiradas dos vídeos do CFTV, desde antes da parada do trem até o fechamento das portas, na porta crítica, em cada estação estudada, seguindo a metodologia proposta por Seriani (2018).

Na estação Recife, foi analisada a primeira porta do carro 4, porta próxima a escada fixa central, onde se observa grande densidade de passageiros próximos à área recuada na chegada da escada. Nota-se que vários passageiros adentram a área de IPT, antes mesmo da parada total do trem (Figura 28a). A Figura 28b mostra a situação 3 segundos antes da abertura das portas, quando já se nota uma aglomeração em forma de semicírculo ao redor do lugar onde a porta vai abrir. A Figura 28c e 28d mostram, respectivamente, a formação de filas antes da abertura da porta e as filas organizadas para embarque quando da abertura das portas. A Figura 28e mostra o último passageiro a embarcar e a Figura 28f mostra, após o fechamento das portas, a aglomeração de passageiros que aguardam o próximo trem de destino alternado.

Figura 28 - Movimentação de passageiros no trecho de plataforma em frente à porta crítica em REC (Porta 1 do carro 4).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

A Figura 29 mostra a densidade de aglomeração na porta crítica de Recife. Quando o trem chega à plataforma 1C, alguns assentos estão ocupados (Figura 29a) e depois da abertura das portas, é possível ver a fila de passageiros que embarcam (Figura 29b) e a facilidade com a qual eles fazem a sua distribuição dentro do trem para ocupar os assentos (Figura 29c). Após o fechamento das portas e partida do trem, todos os assentos já estão todos ocupados e há uma grande densidade de ocupação no corredor (Figura 29d).

Figura 29 - Ocupação do trem na porta crítica em REC (Porta 1 do carro 4).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

Na estação Joana Bezerra, foi analisada a porta 3 do carro 2 no momento 3 segundos antes da parada do trem. Observa-se grande densidade de passageiros aguardando para embarcar, diante da porta crítica (Figura 30), a qual as áreas de conflito das portas adjacentes se sobrepõem.

Figura 30 - Densidade de ocupação no trecho de plataforma em frente à porta crítica em JOA (Porta 3 do carro 2).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

A porta crítica estudada encontra-se próxima a entrada da rampa de acesso à plataforma, onde se observa que vários passageiros adentram a área de IPT, antes mesmo da parada total do trem (Figura 31a). A Figura 31b mostra a formação de filas para o embarque. A Figura 31 c mostra o último passageiro a embarcar e a Figura 31d, o momento da reabertura da porta por obstrução. Já a Figura 31e mostra a aglomeração de passageiros que aguardam o próximo trem de destino alternado após fechamento das portas e preparação para partida do trem.

Figura 31 - Movimentação de passageiros no trecho de plataforma e frente à porta crítica em JOA (Porta 3 do carro 2).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

Quando o trem para na plataforma 1C da estação JOA, encontra-se com densidade de ocupação já crítica, quase não é possível observar os fluxos pelas imagens da câmera. Quando a porta abre, é possível identificar algumas filas de embarque e como é dada a acomodação dos passageiros (Figura 32a), tornando o ambiente com alta densidade de ocupação e pouca possibilidade de deslocamento dos passageiros (Figura 32c).

Figura 32 - Densidade de ocupação na porta crítica do trem em JOA (Porta 1 do carro 2).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

Na plataforma de Afogados, três segundos antes da chegada do trem, é possível observar a localização das pessoas à espera do trem, ocupando toda a borda da plataforma, inclusive a área de IPT, conforme Figura 33.

Figura 33 - Densidade de ocupação no trecho de plataforma em frente à porta crítica em AFO (Porta 1 do carro 2).

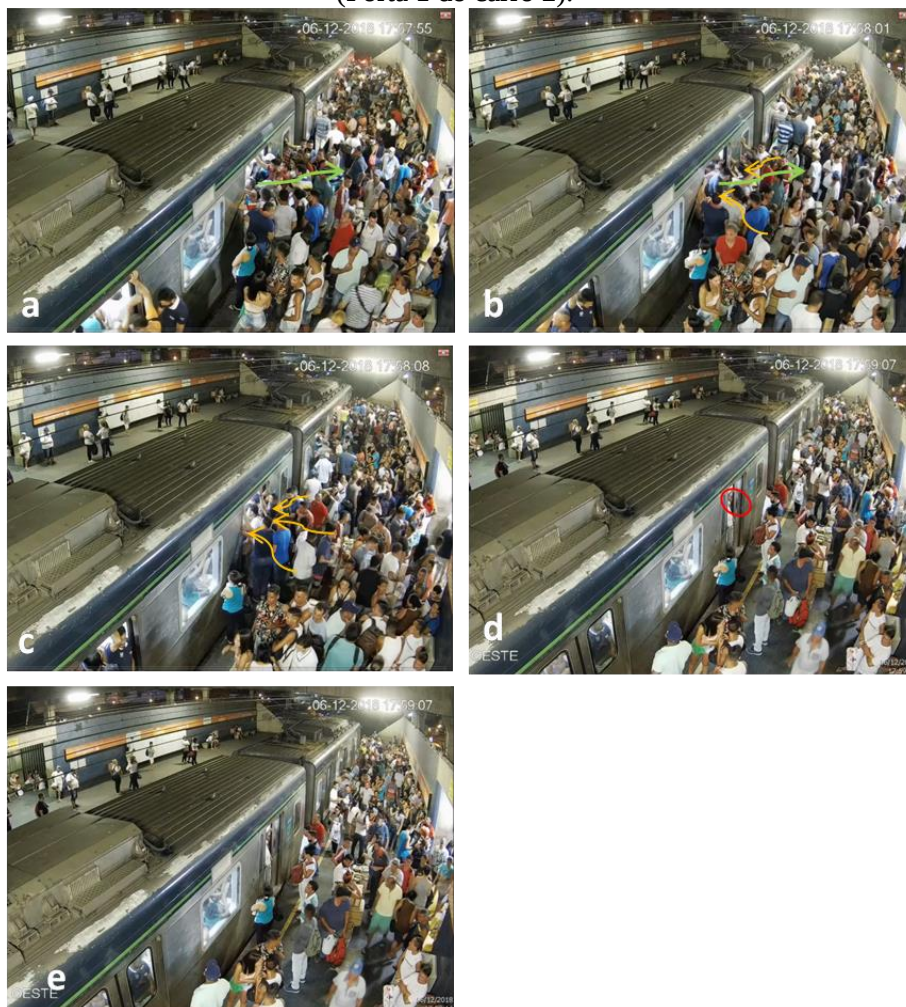


Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

A Figura 34 mostra a movimentação de passageiros em frente da porta crítica da estação Afogados (porta 1 do carro 2). É possível notar as pessoas paradas na frente da porta para embarcar e na área de IPT, obstruindo o caminho de quem pretende desembarcar, em faixa (Figura 34a). O embarque e o desembarque se dão simultaneamente, porém, como o número de pessoas a embarcar é maior (Figura 34b), termina o desembarque e passageiros continuam

a entrar no trem, organizados em duas faixas (Figura 34c). Quando as portas se fecham, passageiros obstruem a porta crítica, propositalmente (Figura 34d). Logo após o fechamento definitivo das portas e preparação para a partida, quando passageiros continuam na plataforma, aguardando o trem seguinte.

Figura 34 - Movimentação de passageiros no trecho de plataforma em frente à porta crítica em AFO (Porta 1 do carro 2).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

Quando o trem para na estação Afogados, encontra-se com um nível de aglomeração alto, de forma que o posicionamento da câmera do trem não permite identificar movimentação de embarque ou faixas de desembarque, conforme Figura 35.

Figura 35 - Densidade de ocupação na porta do trem parado em AFO (Porta 1 do carro 2).



Fonte: Imagens CBTU (2018).

Na estação Barro, foi estudada a porta 1 do carro 4, escolhida devido à proximidade e similaridade no padrão de movimentação com a porta crítica (porta 4 do carro 3) observada em campo, pois não foi possível adquirir suas imagens nítidas para o estudo de interação. Na porta estudada, podem-se notar usuários ocupando a área de IPT 3 segundos antes da parada do trem (Figura 36a) e a formação de filas de passageiros que pretendem embarcar ao lado ou em frente da porta enquanto acontece o desembarque (Figura 36b) e o processo de embarque e desembarque simultâneo de passageiros (Figura 36c). Terminado o desembarque, continua o embarque em duas filas, até a entrada do último passageiro (Figura 36d), onde se pode observar a quantidade de pessoas que permaneceram na plataforma à espera do próximo trem, sentadas ou encostadas na parede posteriores da plataforma.

Figura 36 - Densidade de ocupação no trecho de plataforma em frente à crítica em BAR (Porta 1 do carro 4).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

A Figura 37 mostra a densidade de ocupação da porta 1 do carro 4 durante a parada na estação Barro. Antes da abertura da porta nota-se uma grande densidade de ocupação (Figura 37a). Enquanto as portas estão abertas, é possível ver uma movimentação de uma faixa de desembarque e depois uma fila de embarque e tentativa de acomodação dentro do trem lotado (Figuras 37b e 37c). Após a partida do trem, pode-se notar a densidade de aglomeração um pouco menor (Figura 37d).

Figura 37 - Densidade de ocupação na porta em BAR (Porta 1 do carro 4).



Fonte: Imagens CBTU, 2018. (destaques da autora).

Como é possível notar, os padrões de embarque e desembarque se repetem muitas vezes e variam apenas em razão da demanda e proporção entre o número de embarques e desembarques e do carregamento dos trens. O comportamento dos passageiros que adentram a área de segurança, em momentos fora do processo de embarque e desembarque também se repete e representa uma série de riscos para o sistema.

4.3.2 Variáveis aplicadas ao Nível de Interação

No capítulo III, onde foi detalhada a metodologia, foram citadas as 9 variáveis escolhidas, que afetam o comportamento e a interação de passageiros embarcando e desembarcando na área de IPT.

A Tabela 11 contém as variáveis que afetam o comportamento e a interação dos passageiros que embarcam e desembarcam na área de IPT, dividida de acordo com o tipo de infraestrutura: trem, IPT e plataforma, onde são colocadas as unidades, códigos e atribuído valor aferido na viagem amostral na porta crítica de cada estação estudada.

As variáveis relacionadas ao trem, utilizadas no estudo empírico foram: número de passageiros embarcando e desembarcando e carregamento do trem na chegada. Relativo à área de interface plataforma-trem, são descritos o tempo de embarque e desembarque, tempo de interação, formação de filas de fluxo e sobreposição de fluxo nas portas. As variáveis observadas nas plataformas foram tipos de filas e passageiros esperando pelo próximo trem.

Tabela 11 - Variáveis aplicadas às portas críticas.

Categoria	Variável	Unidade	Código	REC	JOA	AFO	BAR
Trem	Passageiros embarcando	Pass.	V1	43	35	15	18
	Passageiros desembarcando	Pass.	V2	0	0	9	30
	Passageiros a bordo na chegada	Pass.	V3	0	529	855	898
IPT	Tempo de embarque e desembarque	s	V4	47	43	59	43
	Tempo de interação (TI)	s	V5	0	0	5	4
	Formação de filas de fluxo	-	V6	-	-	-	-
	Sobreposição de Fluxo	Pass.	V7	0	0	10	6
Plataforma	Tipo de filas	-	V8	-	-	-	-
	Passageiros esperando para embarcar	Pass.	V9	-	-	23	10

Fonte: A Autora, 2018.

O número de passageiros que chega a bordo em REC não recebe contagem, pois são as pessoas com mobilidade reduzida que entram no trem pela plataforma de desembarque, em pequena quantidade. À medida que o trem vai parando nas estações, o carregamento de passageiros só aumenta (V3). O número de passageiros embarcando e desembarcando diz respeito à demanda em cada estação, onde se observa que REC e JOA têm demanda apenas para embarque no período estudado (V1 e V2).

Incidindo na área de IPT o tempo de embarque e desembarque (V4) apresenta pouca variação entre REC, JOA e BAR e foi medida como 59 segundos em AFO. Além do tempo de embarque aferido, as estações JOA e AFO apresentaram reabertura das portas, devido à obstrução de passageiros que tentavam se acomodar no trem. Durante o processo de embarque e desembarque, é possível observar o fluxo nas portas críticas, a partir da razão entre número de passageiros movimentados por minuto, onde foi possível observar grande fluxo na estação BAR, correspondendo a 66,67 pass./min. e 24,50 pass./min. em AFO, onde o número de

passageiros movimentado foi pequeno, mesmo com o maior tempo decorrido no processo de embarque e desembarque.

O tempo de interação (V5), ou seja, o tempo de desembarque e embarque simultâneos só acontece em AFO e BAR, com 5 e 4 segundos, quando há a movimentação de 10 e 6 passageiros, respectivamente.

Sobre a formação de filas de fluxo (V6), observou-se em REC três filas de entrada no trem, em razão do espaço disponível para entrada dos passageiros, que puderam usar toda a largura da porta para fazer o embarque. Na estação JOA foram observadas três filas também, apesar da impedância causada pelo carregamento proveniente da estação anterior. Em AFO, foram observadas duas filas laterais à porta (V8), aguardando o desembarque, duas filas de embarque simultâneo com desembarque, e três filas somente de embarque. Na estação BAR, os passageiros formaram filas na lateral das portas, aguardando o término do desembarque. Houve um pequeno fluxo de embarque e desembarque simultâneos.

Sobre os passageiros que ficam na plataforma aguardando o trem para embarcar (V9), em REC e JOA não foi possível contar este número, pois estes formavam uma faixa contínua próxima a borda da plataforma, três segundos antes da sua abertura. Nas estações AFO e BAR, o total de 23 e 10 passageiros aguardando o embarque, respectivamente. Em AFO, o número de embarques (V1) foi 15 passageiros, o que leva a crer que houve 8 passageiros desistentes ou que aguardavam o próximo trem de destino alternado. Em BAR, embarcaram 18 passageiros (V1), o que leva a crer que muitos se aproximaram para embarcar pela porta quando esta já estava aberta.

Essas variáveis subsidiaram o estudo dos níveis de interação, tanto nas linhas, referentes ao local onde ocorre a interação, quanto ao tipo de passageiros, atrelados à densidade de ocupação e à percepção de risco, conforme abordado na seção seguinte.

4.3.3 Nível de Interação

O nível de interação, que pode ser classificado como baixo, médio e alto, corresponde a uma mescla entre densidade e percepção de risco (SERIANI, 2018), em situações onde é atingida a densidade crítica. Na percepção de risco são analisados, além da densidade de ocupação, cinco aspectos em RSSB (2015): escorregões/tropeções/quedas, sobrecargas, usuários com pressa ou correndo, intoxicação e perigo na plataforma.

Com base na Tabela 8 – Grau de interação entre passageiros de embarque e desembarque na área de IPT, apresentada na metodologia, foi encontrado o grau de interação, representado por cores e números de 1 a 6, resultantes da combinação da percepção de risco com a densidade, com o mesmo peso. Os graus 1 e 2 correspondem à baixa interação, 3 e 4, à média, bem como 5 e 6, são os graus críticos que apresentam alta interação.

A matriz é criada a partir das variáveis levantadas anteriormente e as agrupa em uma tabela com três linhas e três colunas, relacionadas a aspectos observados por local onde ocorrem as interações (plataforma, trem ou IPT) e pelo tipo de usuários que são afetados pela interação, classificados como somente embarque, somente desembarque ou ambos. A cada variável é atribuído um grau de interação. Assim, foi possível visualizar os níveis de interação, possibilitando indicar ações efetivas para os problemas encontrados (Tabelas 12, 13, 14 e 15).

Em REC, por ser uma estação terminal com demanda apenas de embarque na plataforma estudada, a matriz indicou alto nível de interação, com destaque na área de IPT, devido ao grande volume de passageiros a embarcar, entrando em alta velocidade em busca de ocupar os assentos vazios, denotando alto risco de acidentes (Tabela 12).

Tabela 12 - Matriz aplicada a REC.

Método	Somente embarque	Embarque e desembarque	Somente desembarque
BAMBI			
Trem	Como o trem se encontra vazio (V3) ao chegar à plataforma 1C e grande número de passageiros a embarcar (V1) o embarque é muito rápido com passageiros buscando conseguir um assento, levando a risco médio e densidade baixa.	-	-
	Grau: 2	-	-
IPT	Apresenta fluxo intenso de embarque (V1), com alta percepção de risco para os passageiros ultrapassam a faixa amarela, organizados em filas (V6) antes mesmo da parada do trem e alta densidade.	-	-
	Grau: 6	-	-
Plataforma	Como os passageiros estimam o local e ficam em frente às portas do trem (V8), há o risco médio de queda na via e de choque com alguma parte do trem, para os passageiros que estão muito próximos à borda e alta densidade de passageiros (V9).	-	-
	Grau: 5	-	-

Fonte: A Autora, 2018.

Na estação Joana Bezerra, assim como em Recife, houve alta interação na área de IPT durante o embarque, devido à sua grande demanda e disputa entre passageiros para se acomodar no trem (Tabela 13). Notou-se a presença de muitos passageiros na plataforma após a partida do trem, seja esperando o próximo trem de destino alternado ou esperando um trem mais vazio.

Tabela 13 - Matriz aplicada a JOA.

Método	Somente embarque	Embarque e desembarque	Somente desembarque
BAMBI			
Trem	Como o trem se encontra com um carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1C e grande número de passageiros a embarcar (V1). O embarque se dá de forma que os passageiros têm um pouco de dificuldade de se acomodar (V1), com baixa percepção de risco.	-	-
	Grau: 4	-	-
IPT	Apresenta três filas de embarque (V6) e fluxo intenso (V7), com alta percepção de risco para os passageiros que embarcam em grande quantidade (V1). Passageiros ultrapassam a faixa amarela organizados em filas (V6) antes mesmo da parada do trem. O tempo de embarque (V4) não é suficiente para acomodar os passageiros, que obstruíram a porta.	-	-
	Grau: 6	-	-
Plataforma	Como os passageiros estimam o local de parada do trem e ficam em frente ao local onde as portas se abrirão (V8), há o risco de queda na via e de choque com alguma parte do trem, para os passageiros que estão muito próximos à borda. Observa-se passageiros que aguardam o próximo trem parados em frente à porta, obstruindo o embarque (V9).	-	-
	Grau: 5	-	-

Fonte: A Autora, 2018.

Na estação Afogados observa-se alta interação entre passageiros de embarque e desembarque, cuja soma dos índices deu 16, devido à grande densidade de passageiros no

trem, grande fluxo de embarque e quantidade de desembarque menor e riscos altos, associados à colisão entre passageiros e quedas (Tabela 14).

Tabela 14 - Matriz aplicada a AFO.

Método BAMBI	Somente embarque	Embarque e desembarque	Somente desembarque
Trem	Como o trem se encontra com um carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1 e grande número de passageiros a embarcar (V1), que encontram dificuldade de se acomodar, com baixa percepção de risco.	O trem com carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1 tem grande número de passageiros a embarcar (V1) e pouco mais da metade a desembarcar (V2), com média percepção de risco de colisões, dada a alta densidade e dificuldade de movimentação (V7).	O trem com carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1 tem passageiros a desembarcar (V2), com baixa percepção de risco, pela dificuldade de locomoção.
	Grau: 4	Grau: 5	Grau: 4
IPT	Apresenta três filas de embarque (V6), com média percepção de risco para os passageiros que embarcam em grande quantidade (V1). Nota-se passageiros ultrapassam a faixa amarela organizados em filas (V6) antes mesmo da parada do trem. O tempo de embarque (V4) não é suficiente para acomodar os passageiros, que obstruíram a porta, aumentando o risco de acidentes.	Embarque com três filas (V6) e uma faixa de desembarque com pequena sobreposição (V7). O tempo de embarque e desembarque é alto (V4), considerando o número de passageiros movimentados (V1 e V2) e pequeno tempo de interação (V5), dado o alto carregamento (V3). Os passageiros a embarcar esperam o desembarque na lateral e na frente das portas (V8). Alta percepção de risco de colisões.	O desembarque (V2) ocorre numa razão de 1,66 em relação ao embarque (V1), em uma faixa (V6), com pequena sobreposição (V7) com média percepção de risco e alta densidade.
	Grau: 5	Grau: 6	Grau: 5

Continua.

Método BAMBI	Somente embarque	Embarque e desembarque	Somente desembarque
Plataforma	Como os passageiros estimam o local de parada do trem e ficam em frente ao local onde as portas se abirão (V8), há o risco médio de choque com alguma parte do trem, para os passageiros que estão muito próximos à borda. Observa-se passageiros que aguardam o próximo trem parados em frente à porta, obstruindo o embarque (V9)	Apresenta três filas de embarque (V6) e desembarque (V2) numa razão de 1,66 e pequena sobreposição (V7), com média percepção de risco. Passageiros que pretendem embarcar (V9) parados em frente à porta (V8), obstruindo o fluxo de passageiros que querem desembarcar (V2).	Os passageiros que desembarcam (V2) tem dificuldade de sair do trem com alto carregamento (V3) e saem do trem em uma faixa, com médio risco e média densidade depois de romper a impedância dos passageiros aguardando embarque (V9).
	Grau: 5	Grau: 5	Grau: 3

Fonte: A Autora, 2018.

Na estação Barro, a interação, com soma 18, chega ao máximo na área de IPT (Tabela 15). Há um fluxo intenso pelas portas do trem, passageiros obstruindo passagem, pois não aguardam o desembarque, que se dá com grande velocidade para conseguir vencer a impedância formada pela grande lotação do trem e do fluxo bidirecional. Em relação ao risco de acidente, por conta do fluxo bidirecional, há destaque da interação de embarque e desembarque, acontecida no trem, IPT e plataforma, somando 17 pontos.

Tabela 15 - Matriz aplicada a BAR.

Método	Somente embarque	Embarque e desembarque	Somente desembarque
BAMBI			
Trem	Como o trem se encontra com um carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1, os passageiros a embarcar (V9) aguardam o desembarque (V6) e conseguem espaço para entrar no trem. Densidade alta e percepção de risco baixa.	O trem tem carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1 com um número de passageiros embarcando (V1) menor que a desembarcar (V2), com razão de 0,60. Como os passageiros a embarcar (V9) aguardam o desembarque nas laterais da porta (V8), para gerar mais espaço no trem, há média percepção de risco.	O trem com carregamento alto (V3) ao chegar à plataforma 1 tem mais passageiros a desembarcar (V2), que tentam se deslocar em direção à porta, com baixa percepção de risco.
	Grau: 4	Grau: 5	Grau: 4
IPT	Apresenta três filas de embarque (V6) e grande número de embarques e desembarques (V1 e V2), com alta percepção de risco para os passageiros que embarcam em grande quantidade (V1), passam a aguardar em filas laterais (V6) o desembarque dos passageiros.	O embarque se dá com duas filas (V6) e uma faixa de desembarque com fluxo alto e sobreposição (V7). A interação entre embarque e desembarque (V1 e V2), tem razão de 0,60, onde os passageiros a embarcar esperam o desembarque na lateral das portas (V6). Alta percepção de risco.	O desembarque em grande quantidade em relação ao embarque (V2) em uma faixa (V6), com alta percepção de risco, visto a velocidade de saída das pessoas pela porta e algumas obstruções (V9).
	Grau: 6	Grau: 6	Grau: 6

Continua.

Método BAMBI	Somente embarque	Embarque e desembarque	Somente desembarque
Plataforma	Os passageiros ficam em frente de onde as portas se abrem (V9), porém alguns percebem que é melhor aguardar o desembarque na lateral (V8), para conseguir se movimentar melhor, diminuindo o risco de colisão. Risco médio e densidade média	Há fluxo sobreposto (V7), num curto tempo de interação (V5) com alta percepção de risco. Observam-se alguns passageiros prestes a embarcar (V9) parados em frente à porta, obstruindo o fluxo de passageiros que desembarcam (V2), que fazem grande pressão para movimentação.	Como os passageiros estimam o local de parada do trem e ficam em frente ao local onde as portas se abrem (V8), há o risco de acidentes devido à velocidade de saída para vencer a impedância das altas densidades.
	Grau: 3	Grau: 6	Grau: 6

Fonte: A Autora, 2018.

Os riscos associados às interações dos passageiros embarcando nos trens em REC se dão pela velocidade com a qual os passageiros adentram o trem, apesar da baixa densidade, dado espaço disponível. Quando o trem para nas estações JOA, AFO e BAR, o trem já tem densidade alta, o eleva o nível de desconforto pela proximidade das pessoas e pela dificuldade de locomoção, o que até limita o acesso dos passageiros que pretendem embarcar. Os riscos e altas interações relacionados aos processos de embarque e desembarque acontecem devido ao fluxo bidirecional e à falta de respeito dos passageiros aos avisos sonoros e à segurança das estações. O processo de desembarque encontra riscos de colisões e quedas onde há obstrução de passageiros a embarcar à saída dos que precisam desembarcar. Porém, ao mesmo tempo, em casos de grande superlotação, os passageiros entendem que aguardar o desembarque, facilita a acomodação de quem vai embarcar, devido à diminuição da densidade dentro do trem.

A grande interação dos passageiros dentro dos trens, durante o processo de embarque e desembarque se dá por conta da acomodação destes. No caso do IPT, as interações se devem ao fluxo bidirecional pela porta que representa um gargalo, obstrução da passagem e velocidade com a qual passageiros passam, aumentando o risco de colisões e quedas. Nas

plataformas, há o risco de queda na via e colisão do trem, por passageiros que ultrapassam a zona de segurança, bem como a impedância de passageiros estocados na plataforma sobre passageiros que desembarcam e precisam se deslocar para a saída.

Os mapas de interação funcionam como um resumo dos resultados obtidos na matriz e permitem uma análise clara das razões das interações encontradas para apontamento das soluções (Figura 38).

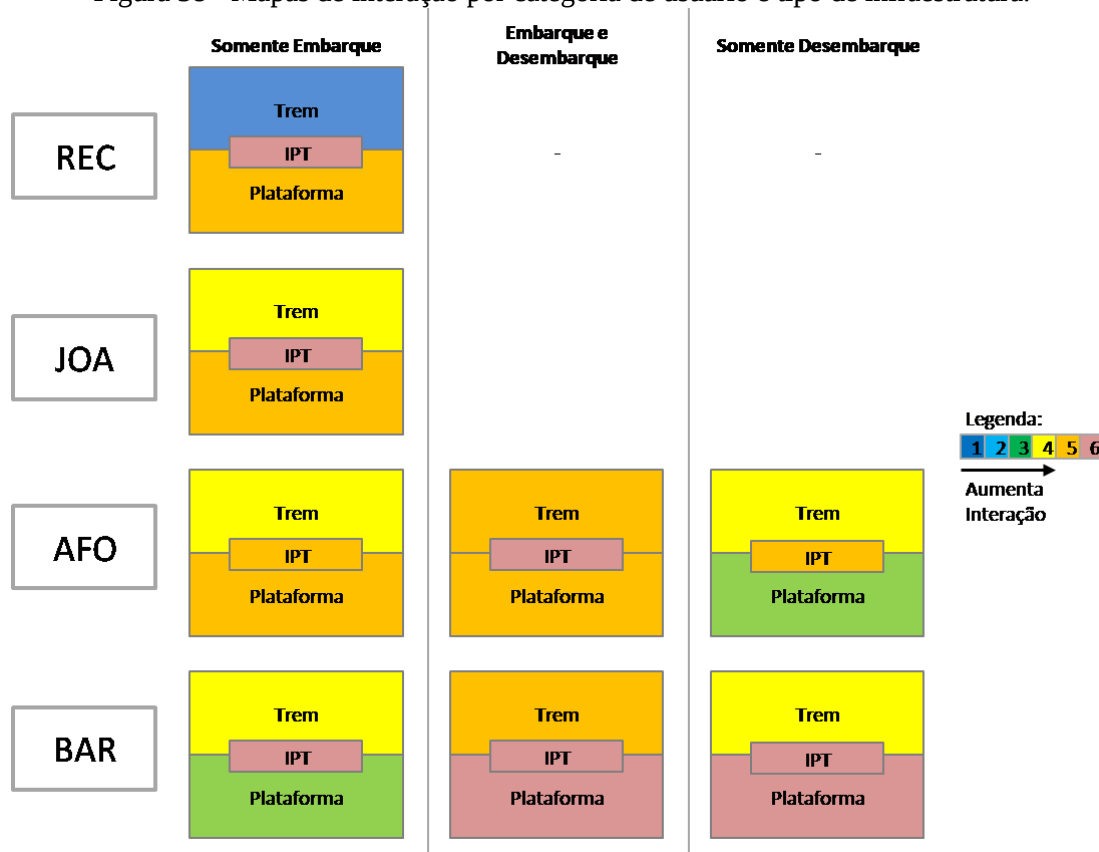
Conforme mapa de interação de REC, nota-se alto grau de interação na passagem pela porta, na área de IPT, por representar um gargalo com grande número de pessoas passando ao mesmo tempo. A baixa interação no trem se dá pela baixa densidade encontrada no local, durante o processo de embarque.

No mapa de interação, resultante da matriz de JOA, é possível observar interação alta na área de IPT e de plataforma por conta da densidade e riscos percebidos com relação à movimentação dos passageiros e sua relação com as áreas de segurança da plataforma.

Na estação AFO, o mapa de interação destaca, assim como na estação JOA, uma grande interação em área de IPT e plataforma, visto que, como o trem encontra-se lotado, a movimentação dos passageiros representa riscos baixos.

É apresentado o mapa de interação resultante do estudo da matriz da estação BAR, onde há um altíssimo nível de interação na área de IPT. Esse problema se dá devido ao intenso fluxo de passageiros movimentados na estação e a forma como se comportam no fluxo de embarque e desembarque.

Figura 38 - Mapas de interação por categoria de usuário e tipo de infraestrutura.



Fonte: A Autora, 2018.

Analisando os mapas de interação das estações estudadas, é possível perceber que em todos os casos analisados, as áreas de IPT apresentaram graus críticos de interação, dados os graus de média e alta densidade e percepção de risco. Nas estações AFO e BAR, os graus críticos englobaram trem, plataforma e IPT nas relações entre embarque e desembarque.

As altas interações nas estações estudadas, expostas através deste estudo empírico, podem ser percebidas em três níveis: físico, operacionais e tecnológicos, de forma que seja possível apontar ações que sirvam de forma mitigar os problemas de aumento de *dwell time*, e consequentemente de eficiência do sistema, bem como melhorar a segurança e conforto do passageiro nas estações estudadas. As intervenções físicas podem incluir a mudança na estrutura das plataformas e acessos. Como medidas operacionais, podem ser feitas desde intervenções educativas, direcionamento, visando influenciar o comportamento dos usuários do sistema, até em mudanças do esquema de operação dos trens para reduzir a espera. As intervenções tecnológicas permitem dar mais informação ao usuário, deixando-o ciente do melhor carro a embarcar, dando informações de carregamento, por exemplo.

5 ANÁLISE DA REALIDADE ENCONTRADA

Este capítulo apresenta a análise da realidade encontrada no estudo empírico, confrontada com os dados coletados com a gerência de Operação da STU Recife, referentes ao carregamento e operação dos trens e os conceitos apreendidos na revisão bibliográfica. A partir dos dados de carregamento e *dwell time* nas estações estudadas, é possível verificar o peso que estes dão ao nível de interação do estudo empírico proposto. O capítulo se divide em três seções: (1) análise dos dados coletados; (2) interferência do carregamento e níveis de interação na eficiência do sistema; (3) diretrizes para aumento da eficiência.

5.1 DADOS OPERACIONAIS E OBSERVAÇÃO DE INTERFERÊNCIAS

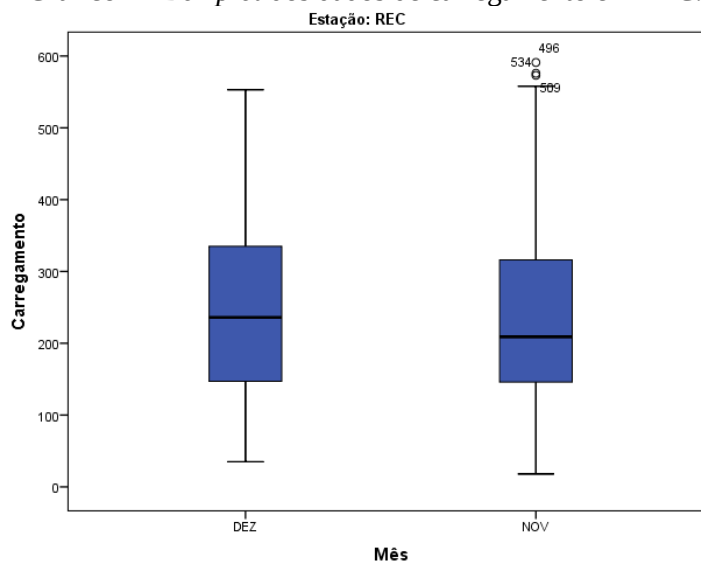
A comparação entre o planejamento da operação com o realizado foi possível com a coleta de dados, tratamento, análise e interpretação estatística das variáveis de carregamento e *dwell time* ou tempo de parada com representação gráfica das amostras coletadas.

Analisando as amostras de dados dos dois períodos analisados (primeira semana de novembro e dezembro de 2018), foi realizada análise estatística para testar as variáveis e comparar aos níveis de eficiência, tais como pontualidade e regularidade nos dois períodos estudados.

A análise estatística teve início com o teste das variáveis, através de gráfico do tipo *box plot*, que possibilitou uma análise descritiva inicial e avaliação da distribuição das amostras, através de mínimo, máximo, médias, medianas e estipular um intervalo de confiança (Tabelas 12 e 13). Em seguida, foi realizada uma análise por correlação geral e por estação entre as variáveis de peso e carregamento, para avaliar se é possível gerar um modelo de regressão. Desta forma, foi possível apontar como se comportam as variáveis de carregamento e tempo de parada por estação.

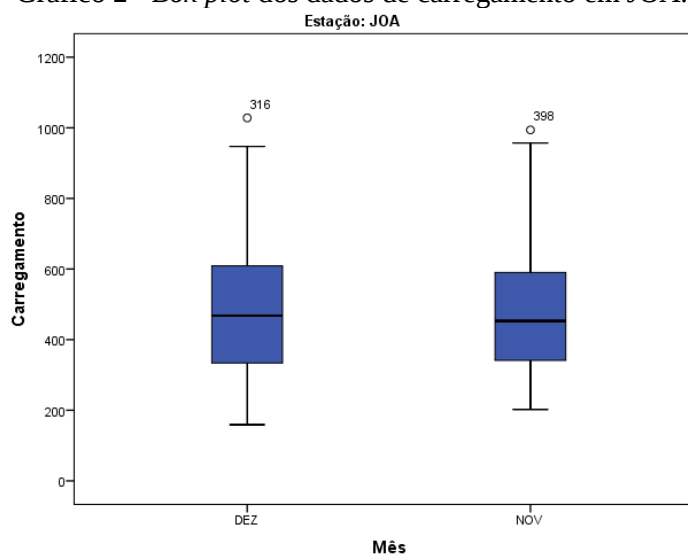
5.1.1 Teste das variáveis de carregamento

Na estação Recife, percebe-se pelo Gráfico 1 que a variabilidade do carregamento diminuiu em dezembro na comparação com novembro. Além disso, pode-se perceber que houve um aumento na mediana entre os meses. Os dados foram distribuídos melhor em dezembro, visto que não existem pontos de destaque nesse mês.

Gráfico 1 - *Box plot* dos dados de carregamento em REC.

Fonte: A Autora, 2018.

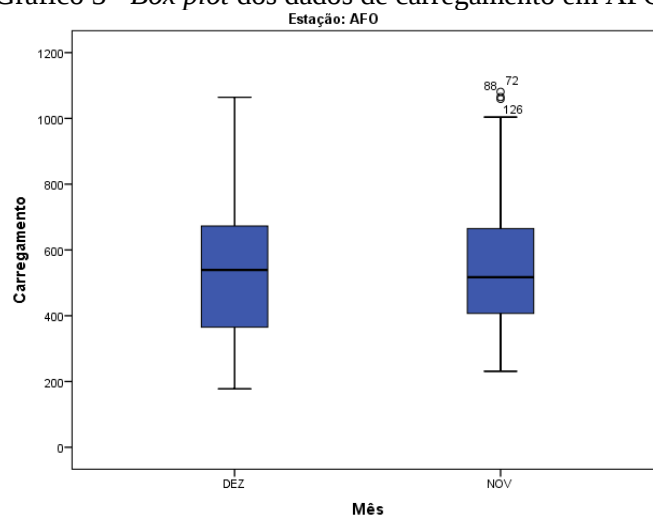
Um comportamento similar se vê na estação de Joana Bezerra (ver Gráfico 2), onde a variabilidade aumenta de novembro a dezembro e onde existe também um incremento na mediana, mesmo que menor do que na estação REC. Por outro lado, é encontrada uma similaridade maior entre os períodos nesta estação do que na estação Recife, tendo em vista o comportamento praticamente igual dos gráficos *box plot* apresentados.

Gráfico 2 - *Box plot* dos dados de carregamento em JOA.

Fonte: A Autora, 2018.

Da mesma forma que nas estações mostradas anteriormente, a variabilidade de carregamento e a mediana da estação Afogados aumenta no mês de dezembro, conforme Gráfico 3. Em novembro, devido à menor variabilidade dos dados, nota-se a presença de 3 pontos que estão muito acima do considerado normal, como uma espécie de *outlier*, ou seja, valores atípicos que se distanciam dos quartis centrais do gráfico *box plot*.

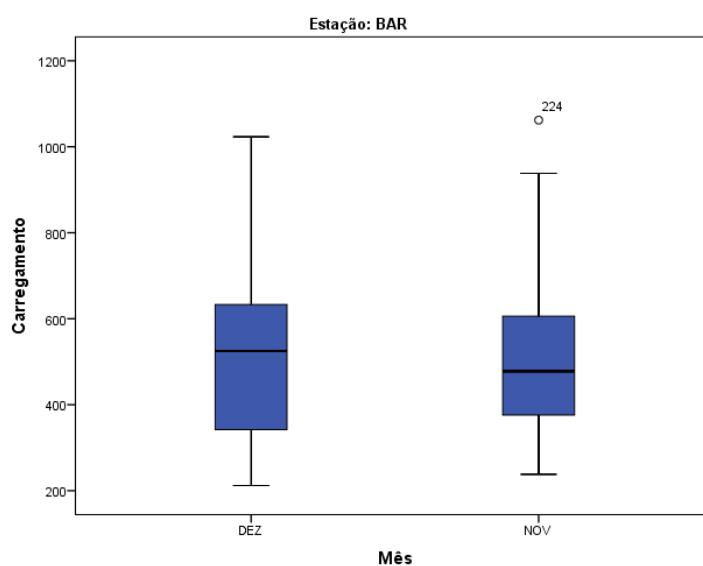
Gráfico 3 - *Box plot* dos dados de carregamento em AFO.



Fonte: A Autora, 2018.

Finalmente, ao analisar os dados de carregamento aferidos na estação Barro, percebe-se que o comportamento foi igual ao das demais estações, com incremento na mediana e na variância dos dados de novembro a dezembro (Gráfico 4).

Gráfico 4 - *Box plot* dos dados de carregamento em BAR.

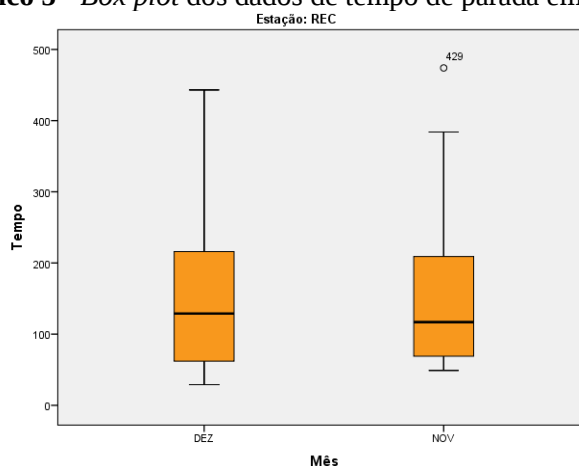


Fonte: A Autora, 2018.

5.1.2 Teste das variáveis de *dwell time*

Em relação ao teste das variáveis do tempo de parada, aferidos nos períodos estudados na estação Recife, o tempo de parada se comporta praticamente igual nos dois meses analisados (Gráfico 5). O que mudou de um mês para o outro foi o valor extremo, o que denota alguma ocorrência ou falha, que levou o trem a permanecer mais tempo na plataforma.

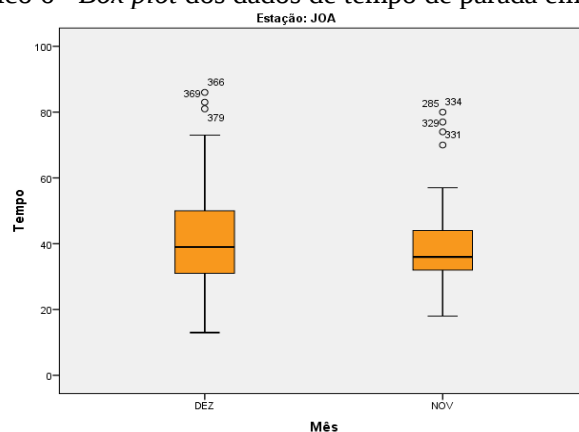
Gráfico 5 - Box plot dos dados de tempo de parada em REC.



Fonte: A Autora, 2018.

Em Joana Bezerra, percebeu-se um acréscimo na variância do tempo de parada de novembro a dezembro, uma maior concentração dos dados no mês de novembro, o que denota que houve pouca variação, além da presença de muitos pontos atípicos distantes da concentração de dados nos dois meses (Gráfico 6).

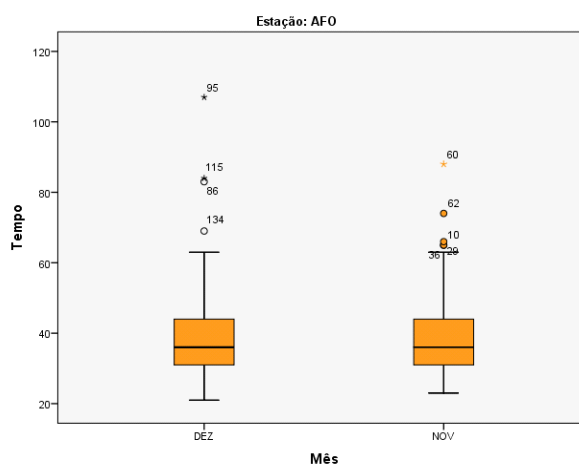
Gráfico 6 - Box plot dos dados de tempo de parada em JOA.



Fonte: A Autora, 2018.

Em relação ao tempo de parada da estação Afogados nos períodos analisados, percebe-se que entre os dois meses existe um comportamento semelhante, tendo, inclusive, uma mediana bem próxima entre os eles. Como o tempo de parada é algo que sofre influência de estações anteriores, percebe-se que o comportamento inicial de Recife influenciou diretamente na presença de pontos fora da concentração apresentada pelos gráficos *box plot* (Gráfico 7).

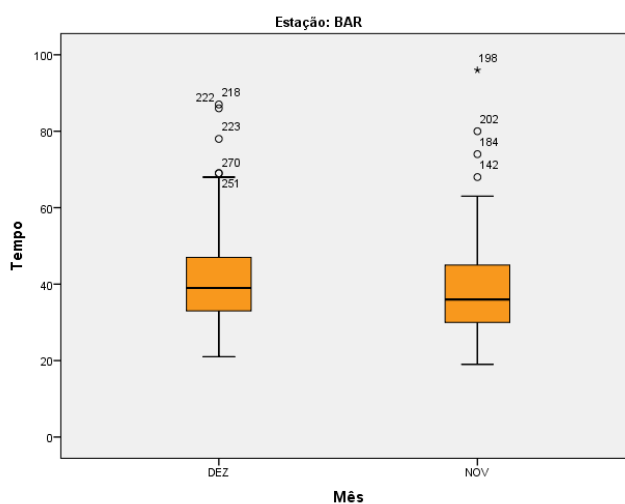
Gráfico 7 - *Box plot* dos dados de tempo de parada em AFO.



Fonte: A Autora, 2018.

Ao analisar os dados de *dwel time*, aferidos na estação Barro, nota-se, da mesma forma que a estação Afogados, o tempo de parada na estação Barro também sofre consequências do tempo de parada da estação Recife, porém apresentando pontos ainda mais distantes da concentração de dados (Gráfico 8).

Gráfico 8 - *Box plot* dos dados de tempo de parada em BAR.



Fonte: A Autora, 2018.

5.1.3 Testes de correlação entre as variáveis de carregamento e *dwell time*

Ao analisar a correlação entre o tempo de parada e o carregamento, é possível perceber a existência de uma correlação negativa entre as duas variáveis (Tabela 16).

Tabela 16 - Análise de correlação de variáveis de carregamento e *dwell time*.

		Tempo	Carregamento
Tempo	Correlação de Pearson	1	-0,318*
	P-valor		0,00
Carregamento	Correlação de Pearson	-0,318*	1
	P-valor	0,00	

Obs.: A correlação é significativa ao nível de 0,01

Fonte: A Autora, 2018.

Por outro lado, na avaliação da correlação por estação (Tabela 17), apenas a estação Recife não teve uma correlação significativa, dentre todas as correlações positivas. Nesta análise, destacou-se a estação Afogados, que apresentou a maior correlação entre as variáveis.

Tabela 17 - Análise de correlação de variáveis de carregamento e *dwell time* por estação.

Estação			Tempo	Carregamento
AFO	Tempo	Correlação de Pearson	1	0,601**
		P-valor		0,00
	Carregamento	Correlação de Pearson	0,601**	1
		P-valor	0,00	
BAR	Tempo	Correlação de Pearson	1	0,483**
		P-valor		0,00
	Carregamento	Correlação de Pearson	0,483**	1
		P-valor	0,00	
JOA	Tempo	Correlação de Pearson	1	0,436**
		P-valor		0,00
	Carregamento	Correlação de Pearson	0,436**	1
		P-valor	0,00	
REC	Tempo	Correlação de Pearson	1	-0,114
		P-valor		0,187
	Carregamento	Correlação de Pearson	-0,114	1
		P-valor	0,187	

** Correlação é significativa ao nível de 0,01

Fonte: A Autora, 2018.

As análises realizadas anteriormente, considerando tempo de parada e carregamento geral e por estação, denotam a inviabilidade de um modelo de regressão, dada a existência de correlação entre as variáveis.

5.1.4 Relação dos dados coletados com a viagem amostral

A partir da análise dos dados, foi possível notar que o padrão das variáveis carregamento e tempo de parada segue uma tendência, a depender da estação estudada, devido ao reflexo da movimentação e perfil de demanda nas estações anteriores.

Ao pinçar a viagem amostral sobre a qual foi feito o estudo empírico, cujo critério de escolha foi o alto carregamento, de forma a entender o quanto o carregamento influencia a eficiência e as interações na área de interface plataforma-trem, no transporte metroferroviário, foi possível notar que os números referentes ao carregamento da viagem estudada (Tabela 14) encontram-se no último quartil dos gráficos da seção 5.1.1.

A partir do momento que a viagem estudada apresenta alto carregamento, houve repercussão no tempo de parada: na plataforma 1C da estação REC, que funciona apenas como embarque, o tempo de parada da viagem amostral se situa no primeiro quartil. Da mesma forma, na estação JOA, onde há o embarque de mais de 300 passageiros, em um trem com densidade de ocupação de média para alta, o tempo de parada se situa no último quartil. A estação BAR, mesmo com uma razão mais equilibrada de embarque e desembarque no período estudado, também teve seu *dwell time* num valor de último quartil.

O tempo de parada aferido na estação AFO é um valor atípico que ficou fora do gráfico com 84 segundos. O que foi possível observar no estudo empírico é que a estação AFO, terceira estação da linha Centro, apesar de ter uma demanda menor que as anteriores, sofre com a falta de oferta de transporte, visto que os trens chegam a sua plataforma no pico vespertino já superlotados. O tempo de embarque e desembarque aumenta devido à dificuldade de acomodação dos passageiros dentro do trem, ou muitos passageiros preferem esperar pelo próximo trem na plataforma. Portanto, nota-se porque o fluxo de passageiros nas portas é baixo, em comparação com as demais estações estudadas e que o aumento do *dwell time* se dá por conta da dificuldade de acomodação dos passageiros no trem no processo de embarque e desembarque e não pela demanda.

5.2 INTERFERÊNCIAS DA INTERAÇÃO NA INTERFACE PLATAFORMA-TREM NO *DWELL TIME* PLANEJADO

A partir da observação nas estações estudadas e na reprodução das imagens de CFTV dos trens e das estações, foi feito estudo empírico, usando o método BAMBI (SERIANI, 2018), onde se criou uma matriz de análise do comportamento e interação no embarque e desembarque de passageiros em cada uma das estações estudadas. Os dados obtidos confirmam o padrão das viagens, visto que os trens chegam à estação Recife, primeira estação da linha Centro, vazios e vão sendo carregados, ficando superlotados ainda nas primeiras estações percorridas na viagem. Já no pico matutino, foi observado em campo o movimento contrário, quando os trens vão sendo carregados desde os ramais de Jaboatão e Camaragibe e chegam a Estação Barro com quase a lotação total de passageiros. Acontecem alguns desembarques e embarques e o trem segue para Recife e Joana Bezerra onde são esvaziados por completo.

Como conclusão do estudo empírico com foco na operação do pico vespertino nas estações REC, JOA, AFO e BAR, a grande causa de aumento do *dwell time* na primeira estação é a grande quantidade de passageiros a embarcar. Por outro lado, na Estação Joana Bezerra ocorre o mesmo problema, porém o trem já está com alta densidade de ocupação, o que gera uma impedância no fluxo de entrada dos passageiros. As duas estações citadas têm o número de embarques dominante, visto que são as primeiras estações da linha e localizadas da área central da cidade.

Na estação AFO, mesmo com uma demanda menor que nas estações anteriores, o *dwell time* é alto, visto que os passageiros têm dificuldade de acomodação dentro do trem, o que eleva o tempo de embarque e desembarque, causando muitas vezes, obstrução das portas, o que eleva ainda mais o tempo de parada. Ao contrário do que acontece nas outras estações onde o tempo de embarque e desembarque aumenta de acordo com a demanda de passageiros e o maquinista aguarda completar o embarque para fechar a porta. Essas dificuldades de embarque podem deixar as plataformas lotadas, pois usuários tentam embarcar e desistem, visando esperar o próximo trem.

Outro fator predominante é que, como são intercaladas as viagens dos destinos Jaboatão e Camaragibe, os usuários permanecem na borda da plataforma aguardando o próximo trem, de acordo com a direção desejada. Como foi observado no estudo empírico, esses passageiros estocados na plataforma funcionam como barreira que impede a

aproximação dos passageiros que pretendem embarcar e desembarcar. Outra hipótese é que, na perspectiva do pedestre que está na plataforma, essa aglomeração próxima às portas causa uma impressão de o carro está muito lotado ou com grande demanda e provoca desistência.

Em atendimento ao objetivo geral deste trabalho, podemos afirmar que o carregamento influi na eficiência do sistema em relação com a demanda e a superlotação. A grande demanda, quando não atendida, afeta a capacidade de transportar e a eficiência, pois acarreta viagens atrasadas e canceladas. A redução dos índices de pontualidade e regularidade é percebida no sistema, porém a medição desses índices não basta para a operação, visto que se referem a outros fatores relacionados ao planejamento de operação e à capacidade do material rodante. Em caso de sistemas saturados, o atendimento à demanda não é contemplado pelo planejamento da operação, que atua para mitigar os problemas relacionados à superlotação. Como estudado no Capítulo II, as medidas para redução do tempo de parada são usadas em sistemas saturados das grandes cidades, como forma de amenizar os prejuízos causados pela alta demanda que levam à superlotação do sistema, perda de eficiência, como num círculo vicioso.

Sobre os níveis de interação, a densidade, provocada pela superlotação do sistema leva ao aumento de riscos, principalmente na área de IPT, onde os passageiros estão mais vulneráveis a acidentes e comportamentos difíceis de serem direcionados, por avisos e ações educativas.

5.2.1 Elementos estudados segundo os achados do estudo empírico

No estudo empírico, através da construção da matriz, foram observados aspectos importantes relacionados aos conceitos estudados de interface plataforma-trem, capacidade de sistemas metroferroviários, dimensionamento de plataformas, comportamento de passageiros, processo de embarque e desembarque, percepção de risco, *dwell time* e gerenciamento de multidões, sintetizados a seguir.

A área de IPT das estações estudadas sofre com a superlotação de plataformas e trens e é ocupada mesmo sem o trem parado na estação, o que aumenta o risco de acidentes para o usuário. As interações ocorridas durante o processo de embarque e desembarque nas estações estudadas apontaram altos níveis, também em razão dos riscos decorrentes do comportamento dos passageiros, que não respeitam os avisos de segurança e de preferência ao desembarque, o que aumenta o tempo de parada.

A capacidade do sistema é reduzida também devido ao aumento do *dwell time*, que gera atraso, aumentando o número de passageiros esperando nas plataformas, pois quando há superlotação dos trens, os passageiros permanecem na plataforma, esperando o próximo veículo. O nível de serviço que aponta superlotação faz com que haja a dificuldade de deslocamento, principalmente no processo de embarque e desembarque e cause desconforto ao usuário e aumento no tempo de movimentação dos passageiros.

Conforme estudado anteriormente, as plataformas devem ser dimensionadas de acordo com a demanda e devem ser esvaziadas até a chegada do próximo trem. Como a operação do sistema da CBTU, objeto deste estudo, é intercalada em relação aos ramais Jaboaão e Camaragibe, a plataforma dificilmente fica vazia no horário de pico. Isso é agravado pelo fato de os usuários ficarem muito próximos à zona de segurança esperando o próximo trem, obstruindo também o fluxo de passageiros que querem embarcar e desembarcar. O comportamento do usuário tem influência na forma como acontece o processo de embarque e desembarque, e que pode resultar no aumento do tempo de parada e do risco de acidentes. O processo de embarque e desembarque de passageiros é uma parte importante no *dwell time*, que dura mais tempo quando o trem está superlotado, pois os passageiros têm dificuldade e demoram a se acomodar.

Desta forma, o nível de interação da viagem estudada, como produto da densidade e percepção de risco, apresentou muitas situações de superlotação e probabilidade de acidentes com usuários. Na área de IPT, há riscos de colisões e quedas dos usuários. Quando a razão entre embarque e desembarque é grande, há mais pressão do movimento de entrada no trem, chegando até mesmo a ocorrer simultaneamente com a saída de passageiros. Muitas vezes foram observados passageiros a embarcar parados na frente da porta, obstruindo a passagem.

As medidas para gerenciamento de multidões podem ser tomadas em relação à área de IPT pelos funcionários de estação e segurança, com vistas em espalhar os passageiros pelas plataformas, sem deixar ocuparem a área de segurança e equilibrarem o carregamento dos carros do trem.

Outra questão é que no sistema CBTU STU REC, os destinos intercalados dos trens causam alguns transtornos como a presença de usuários na plataforma, o que pode ser arriscado numa situação de necessidade de evacuação de um trem. Para isso, existem sugestões de divisão nos ramais para que os trens tenham apenas um destino e quem optar pelo outro ramal deve fazer baldeação na estação Coqueiral ou injeção de trens vazios nos trechos onde acontece a saturação. Essas possibilidades podem ser testadas, em estudos

futuros, através de simulações por *softwares* para verificar a eficiência das soluções propostas e na avaliação de situações emergência, caso seja preciso evacuar plataformas.

Como resposta ao objetivo proposto nesse estudo, o carregamento tem papel importante sobre a eficiência do sistema, visto que a saturação dentro dos trens provoca aumento do tempo de parada, gera atrasos e repercutem nos índices de pontualidade e regularidade.

Os níveis de interação na área de interface plataforma-trem foram altos, conforme mostrado no estudo empírico, em duas situações, com e sem influência do carregamento. Quando há alta interação com carregamento elevado, o comportamento dos passageiros é determinante para os riscos percebidos no processo de embarque, desrespeitando as regras e avisos. No caso estudado na estação Recife, aonde o trem chegou praticamente vazio à estação, o risco elevado na área de interface plataforma-trem se deu pela grande quantidade de passageiros entrando no trem ao mesmo tempo, com velocidade e risco de acidentes. Portanto, o carregamento interfere mais nos índices de eficiência do que no nível de interação, que denota sofrer mais com os impactos do comportamento dos passageiros.

5.3 DIRETRIZES DE MEDIDAS PARA GERENCIAMENTO DE AGLOMERAÇÕES

As altas interações de plataforma aumentam o risco de acidentes e podem ser amenizadas através de aumento na oferta de transporte, visando seguir as recomendações de projetos, onde a plataforma deve ser evacuada antes da chegada do próximo trem. Considerando as limitações de uso do solo e infraestruturas urbanas para a tendência de crescimento da demanda, podem ser sugeridas diretrizes de medidas para superação dos problemas de interação relatados anteriormente, visando aumentar a capacidade do sistema e dar mais conforto e segurança para o usuário.

Devido à operação de destinos alternados (Jaboatão e Camaragibe), é muito comum ter passageiros estocados em plataforma logo após a partida do trem, que causam problemas de interação, diminuição da capacidade de estocagem e riscos à segurança dos usuários. Como o dimensionamento de plataformas, na bibliografia consultada, prevê que toda sua extensão seja evacuada antes da chegada do próximo trem com capacidade para abrigar o número de pessoas de um trem que numa emergência precise ser evacuado, somado à demanda de passageiros em condições normais. Portanto, se o sistema tem destinos alternados com alta demanda e a plataforma dificilmente fica vazia em horário de pico, em uma situação adversa

os passageiros tem seu risco de acidentes aumentado em virtude da superlotação e possibilidade de queda nos trilhos e colisão com o trem em movimento.

Outro problema trata-se do comportamento dos passageiros que obstruem o fluxo de desembarque ou os que não caminham ao longo da plataforma, buscando embarcar em carros mais vazios, ao ficarem aglomerados em determinados pontos da plataforma, ocasionando o carregamento dos carros do trem desbalanceado. Os riscos percebidos em situações de superlotação, no processo de embarque e desembarque, são colisões e empurrões entre os usuários. Em horário de pico, o sistema apresenta carregamento alto, poucas paradas após a saída da estação terminal. Isso ocasiona, além da dificuldade e impossibilidade de embarque, o aumento do tempo de parada, a perda de capacidade de transportar, diminuindo a eficiência do sistema.

Os problemas relacionados aos altos níveis de interação foram identificados no sistema do Metrô do Recife e serão sugeridas medidas para gerenciá-los, as quais grande parte constitui sugestões dos operadores, que reconhecem os problemas de interação do sistema. Estas medidas se concentram em três eixos: operacional, físico e tecnológico e não necessariamente servem como solução definitiva para os problemas encontrados. Porém, algumas podem, em curto prazo e pouco investimento, causar impactos na eficiência do sistema e atendimento à demanda.

5.3.1 Medidas Operacionais

As medidas operacionais podem ser um instrumento de indução de mudança do comportamento do passageiro, de modo a tornar o processo de embarque e desembarque mais rápido, trazendo ganhos de eficiência, pela redução do *dwell time*, e de capacidade para o sistema.

Uma medida operacional, já testada em dias de grandes eventos da cidade, consistiu em incluir funcionários localizados em plataforma direcionando os passageiros a ocuparem toda extensão dela, de forma a induzir um carregamento mais simétrico nos trens, facilitando a troca de usuários nas estações seguintes.

Para diminuir os riscos provenientes das interações na área de IPT na estação BAR podem ser reforçados os avisos sonoros de espera da conclusão do desembarque para início do embarque, pedindo aos passageiros para se posicionarem ao lado das portas.

Além disso, usuários têm o costume de ultrapassar a linha amarela antes da parada do trem ou sem trem parado, o que representa um alto risco, principalmente em altas densidades. A questão dos usuários que adentram a área de IPT fora do processo de embarque e desembarque é observada em todas as estações estudadas e já são combatidas com intervenções de segurança e educativas, devido ao fato de colocar as pessoas e o sistema em risco, porém a ocorrência é numerosa e no horário de pico a movimentação ao longo da plataforma é dificultada pela grande densidade de ocupação.

A operação com todos os trens para um mesmo destino, Recife-Jaboatão, por exemplo, onde os passageiros do ramal a Camaragibe podem pegar um trem circular em Coqueiral, estação da junção, é sugerida como medida operacional. Desta forma, as plataformas poderiam ser esvaziadas a cada partida de trem, diminuindo o atraso devido a dificuldades no processo de embarque e desembarque de passageiros. Em momentos de superlotação essa alternativa pode representar poucos ganhos na redução do *dwell time*, visto que o *headway* de 5 minutos proposto, talvez não seja suficiente para atender à demanda, porém pode ser objeto de estudos futuros. Entretanto, para implantar essa medida, é preciso investimento de nível médio e médio prazo de execução para a adaptação da estação Coqueiral e da via permanente, após simulados para ponderar a viabilidade, ganhos em eficiência e o aumento da capacidade. Outra forma possível, é a injeção de trens vazios no meio da operação, de forma a atender à demanda das estações onde o trem já chega superlotado, como no caso da Estação Afogados no pico vespertino. Essa também necessita de algumas mudanças de infraestrutura, de médio custo e prazo.

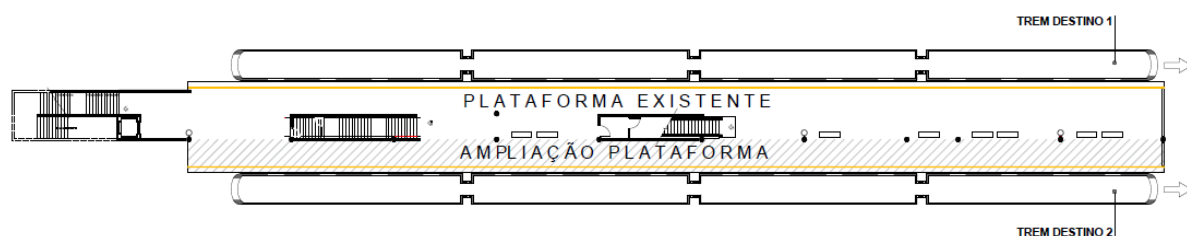
5.3.2 Medidas de intervenções físicas

As medidas de intervenção física elencadas a seguir, dizem respeito a mudanças estruturais ou pontuais nas estações e infraestrutura ferroviária, de modo a otimizar o processo de embarque e desembarque, reduzindo o *dwell time* e proporcionando mais eficiência no sistema.

Uma intervenção de médio custo e prazo na estrutura física considera a superlotação da plataforma de Recife (estação terminal), englobando a sugestão da transformação da plataforma 1C em ilha, a ser servida por duas linhas, com destinos diferentes (Jaboatão e Camaragibe), conforme Figura 39. Ao separar os passageiros de destinos diferentes, será

evitada a obstrução do fluxo de embarque pelos passageiros estocados que aguardam o trem de destino alternado.

Figura 39 - Ampliação da plataforma REC 1C e transformação em ilha

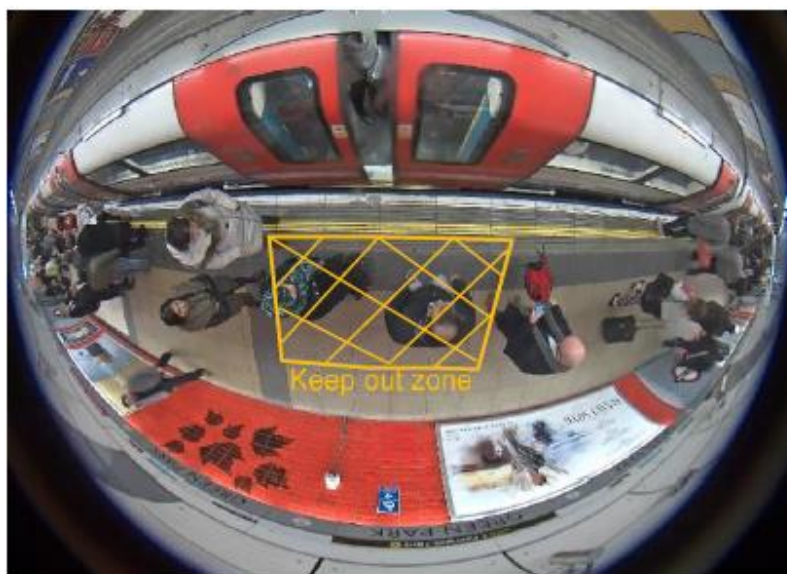


Fonte: A Autora, 2019.

Outro investimento possível, porém de médio custo, visando principalmente à segurança e conforto dos passageiros são as mudanças na estrutura física das plataformas de modo a permitir, por meio de reformas, diminuir o nível de serviço nas plataformas, redistribuindo os passageiros na área de estocagem e permitindo circulação rápida para saída dos passageiros que acabaram de desembarcar, aliado ao reposicionamento das saídas ou equipamentos de circulação vertical.

As medidas de intervenções físicas podem ser feitas nas estações e nos materiais rodantes. Nas estações, as medidas de baixo custo e prazo podem prever a marcação de áreas de plataformas, que devem ser deixadas livres para dar mais fluidez ao fluxo de desembarque (Figura 40).

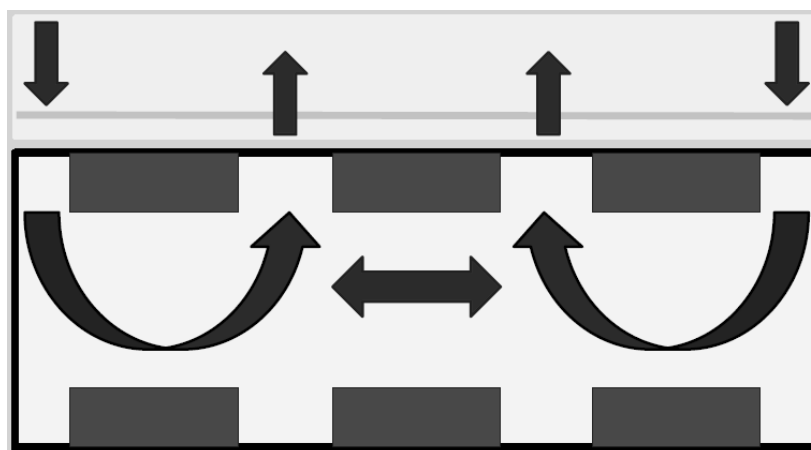
Figura 40 - Exemplo de demarcação das zonas livres de ocupação.



Fonte: Seriani, 2018.

Considerando os materiais rodantes, conforme estudado na literatura, a mudança no layout interno e separação das portas de embarque e desembarque (Figura 41) são soluções para amenizar os problemas de superlotação e dar mais conforto e segurança aos passageiros na interface plataforma-trem. Entretanto, essa última medida requer esforços para direcionar esse comportamento dos passageiros.

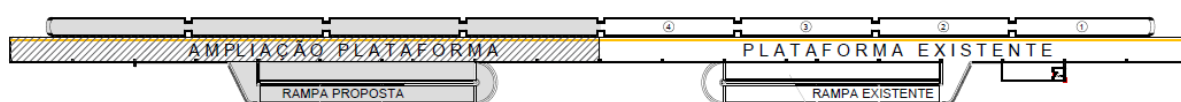
Figura 41 - Portas com direção única



Fonte: Adaptado de Kelley *et al.*, 2016.

A intervenção ideal para aumento da capacidade de transportar do sistema estudado é a expansão, prevista desde sua implantação, do comprimento das plataformas para comportar uma composição com 8 carros, o dobro do que opera atualmente. Essa intervenção representa um alto custo de implantação e longo prazo para execução da infraestrutura de vias e estações, bem como material rodante (Figura 42).

Figura 42 - Ampliação das estações conforme expansão prevista



Fonte: A Autora, 2019.

5.3.3 Medidas de intervenções tecnológicas

Dentre os investimentos tecnológicos, verifica-se a carência de um sistema de sinalização que permita melhor aproveitamento da infraestrutura instalada, através do sistema *Automatic Train Operation* (ATO). Este sistema dá maior controle e eficiência na precisão

das paradas, velocidades, distâncias entre trens, controle de tração e consumo de energia. Desta forma, o sistema poderia operar com um *headway* menor, podendo aumentar o número de viagens e, conseqüentemente, a capacidade da linha entre 2 e 4% (TRB, 2013). Desta forma, com o sistema ATO é possível fazer a demarcação de posicionamento da porta do trem na plataforma pode criar uma zona livre de ocupação, impedindo que os passageiros a embarcar se tornem um obstáculo para os passageiros que vão desembarcar e se posicionarem nas laterais desta área (SERIANI, 2018). Além disso, como o sistema controla a velocidade e frenagem dos trens, pode gerar economia de energia de tração, que representa grande parte do custo de operação do sistema. Faz-se necessário ainda um estudo para calcular a o tempo de retorno de investimento no novo sistema e a economia gerada.

Outro investimento tecnologicamente viável é a informação em tempo real do carregamento dos trens, seja por meio de painéis ou de dispositivos móveis, de modo a dar informação aos usuários sobre o carro onde ele pode viajar com mais conforto e obter um carregamento mais equilibrado nos trens. Essas informações ao usuário são viáveis, pois na linha Centro já foi desenvolvido e testado o sistema de “tecnologia modular de baixo custo, baixo consumo de energia, segura e capaz de monitorar diversas variáveis simultaneamente” (ARAÚJO, 2009, p.1), tais como carregamento, velocidade e frenagem, através de sensores sem fio para transmissão em tempo real.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou a influência do carregamento dos trens na eficiência do transporte metroferroviário e nos níveis de interação da interface plataforma-trem e como tratar dos problemas resultantes da superlotação. O tema se mostra de importância em razão da saturação dos sistemas metroferroviários nas grandes cidades e como reflexão dos operadores sobre medidas para melhorar a eficiência e capacidade do sistema, dando mais segurança e conforto para os usuários.

Com o objetivo de mostrar o quanto o carregamento influencia a eficiência do sistema e o nível de interação, foi concluído, através do método de coleta de dados para aplicação no estudo empírico, que o carregamento tem influência na área de interface plataforma-trem, pois grandes densidades de passageiros levam a dificultar o seu fluxo no processo de embarque e desembarque, produzindo um aumento no *dwell time*.

Entretanto, a relação do carregamento com os níveis de interação é fraca, pois os riscos percebidos na área de IPT no embarque e desembarque de um grande número de passageiros, tanto quando o trem se encontra vazio e quanto em um trem lotado, são altos, mesmo que por motivos diferentes. No caso de estações terminais movimentadas, como visto na estação Recife, onde o trem chega vazio à plataforma e a movimentação é apenas de embarque, percebe-se o risco de acidentes por conta da velocidade dos passageiros no fluxo de entrada e acomodação no trem. Enquanto nas interações na área de IPT em trens superlotados, os riscos se dão devido à probabilidade de colisão entre passageiros no fluxo bidirecional, porém a densidade alta não permite o desenvolvimento de velocidade pelas pedestres. É possível concluir com isso que a relação entre níveis de interação e carregamento diz respeito muito mais ao comportamento e número de passageiros movimentados do que com a densidade na área estudada.

Devido aos problemas de interação identificados no estudo, os usuários encontram-se expostos a riscos, sobre os quais podem ser tomadas medidas para diminuição dos mesmos. Ao mesmo tempo, ao expor esses riscos, as medidas para diminuí-los e a forma como eles se repetem diariamente, há uma sensibilização dos operadores para a importância de investir na implantação de ações de melhorias no sistema.

Com a realização desta pesquisa, obtiveram-se resultados que apontaram o grau de influência do carregamento de trens na eficiência de sistemas metroferroviários. A expectativa foi a de encontrar as razões para o aumento do *dwell time* realizado e relacioná-lo com a

saturação do sistema. Assim, ao identificar o peso das variáveis levantadas no atraso do *dwell time*, foi possível encontrar as razões pelas quais os índices de regularidade e pontualidade sofrem queda nos horários de pico.

O método utilizado no estudo empírico se mostrou eficiente no modo como fragmentou todo o processo da interface plataforma-trem, considerando que a interação é dinâmica e muda conforme tempo e lugar, assim como os riscos e a densidade. Assim, foi possível detalhar os problemas relacionados à interação que atingem a microacessibilidade, composta pelo embarque, espera, viagem no veículo e desembarque com encaminhamento para o destino final. A microacessibilidade, portanto, se entrelaça com a interface plataforma-trem, influenciada pelo carregamento e nível de serviço, pelo *dwell time* e índices de eficiência, bem como no nível de interação no processo de embarque e desembarque de passageiros.

As medidas para intervenções com baixo custo podem ser usadas para a redução do *dwell time*, gerando aumento da eficiência, porém, ao prever uma crescente demanda por transporte, as medidas tornam-se paliativas. Para os estudos futuros, pretende-se avaliar as intervenções de médio e alto custo, através de simulações para ponderar com os ganhos para o sistema.

Com o conhecimento das razões da saturação do sistema estudado, foram elencadas soluções nos eixos físico, operacional e tecnológico, apontando diretrizes para intervenções combinadas e/ou mais efetivas de ampliação de capacidade, de quais tipos de intervenções são eficazes e na possibilidade de absorção de novas demandas em sistemas já implantados.

Dentre os achados, foram observados o total desconhecimento, por parte do usuário, da área de segurança e outros alertas e sinalizações do sistema, o que leva ao aumento do risco de acidentes nas interações. O fato de as plataformas não serem evacuadas a cada chegada de trem é um fato nocivo ao sistema, que contribui bastante para a saturação da plataforma, mesmo o *headway* em horário de pico sendo de 5 minutos. O comportamento de passageiros em situações de superlotação no acesso ao transporte os leva a tomarem atitudes que comprometem a sua própria segurança e a dos demais.

Para a delimitação dos objetivos desta pesquisa, foi considerada a dificuldade de coleta de dados tanto nos trens, como na visualização do movimento nas plataformas. Portanto, foi possível relacionar os conceitos estudados com a área de interface plataforma-trem, partindo-se das variáveis de carregamento, ligadas ao nível de interação, produto da densidade e percepção de risco. Nesse foco, conceitos relacionados, tais como: *dwell time*,

capacidade de sistemas metroferroviários, comportamento de pedestres, embarque e desembarque, dimensionamento de plataformas, eficiência de transportes metroferroviários e medidas de gerenciamento de aglomerações, permitiram, junto à aplicação da metodologia de análise dos níveis de interação no processo de embarque e desembarque, identificar problemas decorrentes, sugerir ações para reduzir a interação entre passageiros e o risco de acidentes, considerando seus reais benefícios e seu custo de implantação.

Para trabalhos futuros, pretende-se fazer modelagens e simulações das medidas sugeridas para melhoria do sistema e diminuição dos problemas de interação encontrados. Assim, é possível quantificar os ganhos em eficiência em comparação com o custo de implantação das medidas, bem como avaliar a efetividade, benefícios e investimento para as ações propostas no estudo. As medidas de intervenções físicas, como mudanças no projeto de plataformas, podem ser testadas através de cenários de simulação por software e deste modo avaliar a viabilidade do projeto proposta em relação aos custos de implantação.

As intervenções operacionais para mudar o procedimento de destinos intercalados podem ser simuladas também, onde serão apontados os possíveis gargalos na estrutura física do sistema, como a necessidade de aumentos da capacidade da estação e acessos às plataformas onde haverá baldeação, em Coqueiral.

A intervenção física de transformação da plataforma 1C da estação Recife em ilha, ao ser simulada, pode mostrar se haverá um ganho de tempo e de segurança para os usuários. O aumento da área disponível para estoque de passageiros pode ser avaliado como forma de redução da densidade nas plataformas e do risco, porém, observando se o aumento de área disponível induzirá um aumento de demanda e acarretará problemas de superlotação nas estações subsequentes, que permanecem com a mesma capacidade.

A ampliação da capacidade geral do sistema é a intervenção mais efetiva para resolução dos problemas encontrados, onde é desejável contar com um sistema de sinalização mais moderno, como o ATO e melhor distribuição da demanda por transportes na cidade, através de políticas de uso do solo. Dobrar a capacidade da linha, apesar de ser uma intervenção de alto custo e prazo de execução, pode ter um papel fundamental na melhoria do serviço, segurança e conforto do usuário, qualidades que podem servir de apelo para induzir uso do transporte público pelos usuários de transporte individual.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 14021**: Acessibilidade no sistema de trem urbano e metropolitano. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 16537**: Acessibilidade – Sinalização tátil no piso – Diretrizes para elaboração de projeto e instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO CONDEPE/ FIDEM. PROMETRÓPOLE. **Metrópole Estratégica** – Região Metropolitana do Recife. Org. Amélia Reynaldo. Recife: CONDEPE, 2005.

AMORIM, J. A. A. **Estações de metrô como centralidade urbana**: o caso da linha sul do metrô do Recife. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

ANDRADE, M. **Acessibilidade e o valor da terra urbana**: O caso do Metrô do Recife. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

ARAÚJO, R. C. C. de. **Sistema telemétrico dinâmico sem fio aplicado aos veículos rodo ferroviários em malhas metroferroviárias**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

BARRON, A. Dwell time reductions: Good design plus people management. Manchester: **Rail Technology Magazine**, 2015. Disponível em: <http://www.railtechnologymagazine.com/Comment/dwelltimereductionsgooddesignpluspeoplemanagement>. Acesso em: 12 fev. 2018.

BRANDÃO, S. G. D.; SILVA, W. R.; CARMO, F. M. **Projeto conceitual de trens urbanos**. Rio de Janeiro: CBTU, 1987.

BUCHMUELLER, S., WEIDMANN, U., NASH, A. Development of a dwell time calculation model for timetable planning. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 103, 2008. p. 525-534. (COMPUTERS IN RAILWAYS, 11). DOI: 10.2495/CR080511. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/103/19557>. Acesso em: 11 fev. 2018.

Companhia Brasileira de Trens Urbanos. **CBTU**. Disponível em: www.cbtu.gov.br. Acesso em: 05 nov. 2018.

CORTÊS, E. **Da Great Western ao metrô do Recife**. Recife: Persona, 2004.

COXON, S., BURNS, K., DE BONO, A., NAPPER, R. (2011). An examination of three approaches to metro rolling stock design to ameliorate extended dwell times due to passenger growth and associated crowding. In: AUSTRALASIAN TRANSPORT RESEARCH FORUM, 34., 2011. **Proceedings [...]**. Australia: ATRF, 2011.

DAAMEN, W. **Modelling passenger flows in public transport facilities**. 2004. Thesis (Ph.D. in Civil Engineering and Geosciences) - Delft University of Technology, Delft, 2004.

DELL'ASIN, G.; HOOL, J. Pedestrian Patterns at Railway Platforms during Boarding: Evidence from a Case Study in Switzerland. **Journal of Advanced Transportation**, London, v. 2018, p.1-11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2018/4079230>. Acesso em: 28 dez. 2018.

FARNSWORTH, M., KIRKWOOD, L., COURT, S., SHEBAB, E., TINWORTH, N., e RAIL, U. Optimisation strategy for efficient platform train interface activity. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANUFACTURING RESEARCH, 15, 2017. **Proceedings [...]**. Londres: IOS Press, 2017. p. 233-238. DOI: 10.3233/978-1-61499-792-4-233.

FOX, C.; OLIVEIRA, L.; KIRKWOOD, L.; CAIN, R. Understanding users' behaviors in relation to concentrated boarding: implications for rail infrastructure and technology. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANUFACTURING RESEARCH, 15, 2017. **Proceedings [...]**. Londres: IOS Press, 2017. DOI: 10.3233/978-1-61499-792-4-120.

FRUIN, J. **Designing for pedestrians: a level-of-service concept**. *In*: ANNUAL MEETING, 50, New York, 1971. (Committee on Pedestrians)

GRANDE RECIFE. **Grande Recife Consórcio de Transporte**. Disponível em: www.granderecife.pe.gov.br. Acesso em: 02 out. 2018.

GUAZZELLI, C. S. **Contribuição ao dimensionamento operacional e à avaliação de terminais urbanos de passageiros metroviários e ferroviários**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

HARRIS, N.; ANDERSON, R. An international comparison of urban rail boarding and alighting rates. **Proc. Journal Rail and Rapid Transit Part F**, London, v.221, p. 521-526, 2007.

HELBING, D.; MOLNAR, P. Social force model for pedestrian dynamics. **Physical Review E**, Canada, ed. 51 (5), p. 4282,1995. DOI: 10.1103/PhysRevE.51.4282.

HIBINO, N.; YAMASHITA, Y.; KARIYAZAKI, K.; MORICHI, S. Study on characteristics of train station passenger flows for train delay reduction. *In*: WORLD CONFERENCE ON TRANSPORT RESEARCH, 12, 2010. **Proceedings [...]**. Lisboa: WCTR, 2010.

HOLLOWAY, C.; THOREAU, R.; ROAN, T.; BOAMPONG, D.; CLARKE, T.; WATTS, D.; TYLER, N. Effect of vertical step height on boarding and alighting time of train passengers. **Journal Rail and Rapid Transit**, London, v. 230 (4), p. 1234-1241, 2015. DOI: 10.1177/0954409715590480

KAREKLA, X.; TYLER, N. Reduced dwell times resulting from train-platform improvements: the costs and benefits of improving passenger accessibility to metro trains. **Transportation Planning and Technology**, London, v.35(5), p. 525-543, 2012.

KELLEY, J.; KO, D.; MAZZA, L.; ROBINSON, S. **Reducing Dwell Time**: London Underground Central Line. 2016. Interactive Qualifying Project (Bachelor of Science) - Worcester Polytechnic Institute, London, 2016.

KRSTANOSKI, N. Modelling passenger distribution on metro station platform. **International Journal for Traffic and Transport Engineering**, Bitola, v. 4, p. 456 – 465, 2014.

MARTÍNEZ, I., VITORIANO, B., FERNÁNDEZ, A.; CUCALA, A. Statistical dwell time model for metro lines. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 96, 2007. p. 223-232. (Urban Transport XIII: Urban Transport and the Environment in the 21st Century). DOI:10.2495/UT070221. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/96/18149>. Acesso em: 11 fev. 2018.

NETWORK RAIL. **Station Capacity Assessment Guidance**. Londres: s.n., 2011.

NEVES, J.; PEREIRA, L.; PORTUGAL, L., **Mobilidade com qualidade**. Transporte, Mobilidade e desenvolvimento urbano. Licínio da Silva Portugal (org.). 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

PERKINS, A.; BRENDAN, B.; SIEBERS, P. O. Modelling and Simulation of Rail Passengers to Evaluate. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODELING AND APPLIED SIMULATION, 14, 2015. **Proceedings [...]**. Itália, 2015. Disponível em: <http://eprints.nottingham.ac.uk/36441/>. Acesso em 01 abr. 2018.

PORTUGAL, L.; ALVES, R.; ROSSI, A. **Mobilidade Produtiva**. Transporte, Mobilidade e desenvolvimento urbano. Licínio da Silva Portugal (org.). 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

PUONG, A. **Dwell Time Model and Analysis for the MBTA Red Line**. S.l: s.n., 2000.

RONALD, N. **Agent-based Approaches to Pedestrian Modelling**. 2007. Thesis (Master of Engineering Science) - Department of Computer Science and Software Engineering, University of Melbourne, Melbourne, 2007.

ROWE, I.; TYLER, N. High density boarding and alighting: how do people really behave? A psycho-physical experiment. In: RAIL HUMAN FACTORS AROUND THE WORLD: IMPACTS ON AND OF PEOPLE FOR SUCCESSFUL RAIL OPERATIONS, 3, 2009. **Proceedings [...]**. Lille, 2009.

RSSB. **Evaluation of the benefits of yellow lines on non-high speed platforms**. Rail Safety and Standards Board, Londres: Research Programme, 2010.

RSSB. **Risk at the platform-train interface**. Rail Safety and Standards Board, Londres: Research Programme, 2013.

RSSB. **Platform train interface strategy**. Rail Safety and Standards Board, Londres: Research Programme, 2015.

RSSB. **Manual to Improve Rail Transit Safety at Platform/ Vehicle and Platform/ Guideway Interfaces**. Rail Safety and Standards Board, Londres: Research Programme, 2017.

RUDLOFF, C.; BAUER, D.; MATYUS, T.; SEER, S. Mind the gap: Boarding and Alighting Processes using the Social Force Paradigm Calibrated on Experimental Data. *In: INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, 14, 2011. **Proceedings [...]**. Washington, 2011.

SERIANI, S. Pedestrian Level of Interaction on Platform Conflict Areas by Real-scale Laboratory Experiments. *In: ANNUAL UNIVERSITIES' TRANSPORT STUDY GROUP - UTSG CONFERENCE*, 48, 2016. **Proceedings [...]**. Bristol, 2016.

SERIANI; FUJIYAMA; RODRIGUEZ. Boarding and Alighting Matrix on Behavior and Interaction at the Platform Train Interface. *In: RRUKA ANNUAL CONFERENCE*, 2016. **Proceedings [...]**. Londres, 2016.

SERIANI, S.; FERNANDEZ, R. Pedestrian traffic management of boarding and alighting in metro stations. **Transportation Research Part C**, v. 53, p. 76-92, 2015.

SERIANI, S.; FUJIYAMA, T.; HOLLOWAY, C. Modelling passenger distribution and interaction on platform train interfaces. *In: CONGRESSO PAN-AMERICANO DE ENGENHARIA DE TRÂNSITO, TRANSPORTES E LOGÍSTICA (PANAM)*, 19, 2016. **Proceedings [...]**. Cidade do México, 2016.

SERIANI, S. **Crowd management on metro station platforms**. 2018. Thesis (Ph.D.in Transport Studies) - University College London, Londres, 2018.

STILL, K. **Introduction to Crowd Science**. S. l: CRC Press Boca Raton, 2013.

STILL, K. Visualising risk assessment for crowd safety. **Journal of the International Centre for Sports Security**, v.2, n.1, 2014.

TRB. **Transit Capacity and Quality of Service Manual**. 3ª Edição. Transportation Research Board, Washington D.C. 2013.

TERRA, U. **Arquitetura em espaços de fluxo: modelagem e simulação em espaços metroferroviários e espaços de multidão**. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

THOREAU, R.; HOLLOWAY, C.; BANSAL, G.; GHARATYA, K.; ROAN, T.; TYLER, N. Train design features affecting boarding and alighting of passengers. **Journal of Advanced Transportation**, v. 50, p. 2077-2088, Londres, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/atr.1446>. Acesso em: 24 out. 2018.

TIRACHINI, A; HENSHER, D.; ROSE, J. M. Crowding in public transport systems: Effects on users, operation and implications for the estimation of demand. **Transportation Research Part A**, n. 53, p. 36-52, Elsevier, 2013.

VASCONCELLOS, E. **Transporte Urbano Espaço e Equidade**. Pinheiros: Annablume, 2001.

VUCHIC, V. **Urban transit: operations, planning and economics**. United States: John Wiley e Sons, 2005.

VUCHIC, V. **Urban transit systems and technology**. United States: John Wiley e Sons, 2007.

YAMAMURA, K.; ADACHI, S.; TOMII, N. Taking effective delay reduction measures and using delay elements as indices for Tokyo's metropolitan railways. **WIT Transactions on The Built Environment**, v. 135, 2014. (Computers in Railways XIV). DOI: 10.2495/CR140011. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/135/27057>. Acesso em: 08 fev. 2018.

ZHANG, Q.; HAN, B.; LI, D. Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations. **Transportation Research Part C**, v.16, p.635–649. Elsevier, 2008.

WIGGENRAAD, P. **Alighting and Boarding Times of Passengers at Dutch Railway Stations** Analysis of data collected at 7 stations in October 2000. The Netherlands TRAIL Research School of Transport, Infrastructure and Logistics, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft, 2001.

APÊNDICE A - ENTREVISTAS COM TÉCNICOS DA GERÊNCIA DE OPERAÇÃO DO METRÔ DO RECIFE

Entrevistado 1 – Coordenadoria do Centro de Controle de Operações

Data: 28/02/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

Recife (Plataformas 1 e 2 LC e Ilha 2 Centro e 1 Sul)

Problemas de projeto da plataforma

JOA (Plataforma 1 Centro – Saturada)

Outras citadas: BAR e LS (PRZ/ PTO/CAJ)

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

Usuários – Seguram a porta e não aguardam o desembarque primeiro.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

- Dwell time planejado na maioria dos casos é 20s, mas passa de 1 min nos horários de pico. A partir de 01/03/2018, o dwell time planejado de REC para embarque da linha centro passará de 20s para 120 s, de forma a não sair com viagens atrasadas.
- Reforma da estação REC -> transformar a plataforma 1C em ilha.
- Reforma da sinalização de manobra em 3 min
- Aquisição de sistema ATO, que possibilita maior controle e sincronia dos trens, de modo a obter precisão de horários, menos gasto com energia de tração, otimização do sistema etc.

Entrevistado 2 – Gerência Operacional de Transportes

Data: 28/02/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

Estações transfer e/ou hub:

- JOA (dwell time planejado 60s)
- AFO (dwell time planejado 40s)

- BAR (dwell time planejado 40s)
- CAV (dwell time planejado 40s)

Terminal:

- REC (dwell time 20s ->120s)
- JAB
- GIB
- Linha sul: NEV/PRZ/ PTO, em razão do volume de passageiros provenientes do SEI.

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

- Em REC, o usuário quer fazer embarque na plataforma de desembarque;
- Falta de respeito às sinalizações nos vidros e APs em relação à preferência do desembarque sobre o embarque.
- Usuários e ambulantes seguram portas.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

- Adaptação à mudança operacional da tabela horária, em virtude da maior demanda;
- AP para instruir usuários;
- Estratégias operacionais para coibir comportamentos, aliando transportes, controle operacional, estação e segurança;
- Educação sobre o sistema;
- Coibir ambulantes no sistema.

Entrevistado 3 –COECE – Coordenadoria de Estações Linha Centro

Data: 01/03/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

REC, JOA, AFO, BAR, COQ, CAV, JAB, GIB.

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

- Usuários e ambulantes segurando a porta do trem;
- Trens lotados sem espaço para fechar (Sta. Matilde)

- Trem Sta. Matilde causa atrasos na linha centro pois o ATC funciona melhor com o CAF. Como o sistema de freios e tração do SM é diferente, então ele tem limitação de velocidade e acaba parando diversas vezes.
- Ambulantes isolam a porta. Seguram um botão localizado sobre as portas dos carros.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

- REC/AFO: retenção de passageiros nas bilheterias e bloqueios para controlar o volume nas plataformas;
- Aumentar o nº de trens “remoção de problemas. Usuário na estação é problema.”

Entrevistado 4 –GOTRA – Gerência Operacional de Transportes

Data: 01/03/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

REC, JOA (via 1C no pico vespertino), BAR (as duas vias nos horários de pico).

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

- Usuário que não segue a orientação do fluxo de embarque e desembarque nas portas dos trens;
- Usuários que seguram as portas.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

- Redistribuição de usuários na plataforma;
- Retardar a chegada dos usuários nas plataformas, por encaminhamento ou dispersão por comércio.
- Uso de direcionadores para disciplinar o processo de embarque e desembarque.

Entrevistado 5 – Coordenadoria do Centro de Controle de Operações)

Data: 02/03/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

JOA e BAR.

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

- Má distribuição dos passageiros ao longo das plataformas e dos trens;
- Usuário segurando porta.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

Nenhuma, pois já existem avisos AP e comunicação visual, porém sem qualquer efeito no comportamento dos usuários.

Entrevistado 6 – Coordenadoria de Movimento da Linha Centro

Data: 02/03/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

REC, JOA, AFO, BAR, CAV, JAB, GIB.

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

- Fluxo e densidade de passageiros nas plataformas e trens;
- Ambulantes que provocam atraso no fechamento das portas;
- Usuários com falta de consciência que seguram a porta.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

- Mudanças no fluxo, layout e estrutura física.
- Coibir ações dos ambulantes;
- Ações educativas com usuários;
- APs e sinalização visual mais efetivos.

Entrevistado 7 – Gerência Operacional de Segurança

Data: 02/03/2018

1. Em relação aos fluxos, quais estações causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

REC, JOA, AFO, BAR, GIB, JAB.

2. Quais os principais problemas que usuários causam interferência na circulação (intervalo entre trens)?

Falta de educação, respeito e cordialidade (dar preferência a idosos, pessoas em cadeira de rodas), preferência do desembarque.

3. Qual a sua sugestão para apresentar solução deste(s) problema(s)?

- Investimento em segurança;
- Aumento do número de trens operando;
- Campanhas educativas e de orientação do usuário;
- Ações educativas nas comunidades/ escolas (articulação externa).

ANEXO A – DADOS DE OPERAÇÃO

Anexo A1: Dados de carregamento e tempo de parada ou *dwell time* da viagem estudada

Tue 37 - 2018 12 06

Evento	Horário	Dwell time realizado (s)	Peso trem (Kg)	Variação de Peso(Kg)*	Carregamento estimado de passageiros**	Variação estimada de passageiros
Chegada REC-1	16:31:21		208.800	-		
Partida REC-1	16:36:31	310	224.200	15.400	220	
Chegada JOA-1	16:38:24		225.040	-		
Partida JOA-1	16:39:22	58	240.470	31.670	452	232
Chegada AFO-1	16:41:07		240.510	-		
Partida AFO-1	16:41:48	41	244.070	35.270	504	52
Chegada BAR-1	16:51:35		241.060	-		
Partida BAR-1	16:52:10	35	238.000	29.200	417	-87
Chegada REC-1	17:52:49		208.270	-		
Partida REC-1	17:53:46	57	245.320	37.050	529	
Chegada JOA-1	17:55:38		245.370	-		
Partida JOA-1	17:56:51	73	268.090	59.820	855	326
Chegada AFO-1	17:58:32		267.860	-		
Partida AFO-1	17:59:56	84	271.100	62.830	898	43
Chegada BAR-1	18:10:26		268.830	-		
Partida BAR-1	18:11:35	69	266.420	58.150	831	-67
Chegada REC-1	19:03:36		206.700	-		
Partida REC-1	19:06:47	191	224.910	18.210	260	
Chegada JOA-1	19:09:22		224.920	-		
Partida JOA-1	19:09:58	36	244.080	37.380	534	274
Chegada AFO-1	19:11:39		245.280	-		
Partida AFO-1	19:12:36	57	247.700	41.000	586	52
Chegada BAR-1	19:22:19		245.650	-		
Partida BAR-1	19:23:05	46	244.040	37.340	533	-53
Chegada REC-1	20:15:06		207.420	-		
Partida REC-1	20:15:50	44	218.010	10.590	151	-382
Chegada JOA-1	20:17:41		218.010	-		0
Partida JOA-1	20:18:19	38	230.800	23.380	334	183
Chegada AFO-1	20:20:06		230.910	-		0
Partida AFO-1	20:20:31	25	231.160	23.740	339	5
Chegada BAR-1	20:29:36		229.480	-		0
Partida BAR-1	20:30:15	39	227.680	20.260	289	-50

* Variação de peso em relação a partida a Chegada em REC-1

** Metodologia de estimativa com base no estudo de Araújo (2009), que considerou o peso médio de 70 kg por

Anexo A2: Diário Operacional



Metrorec - Tráfego Linha Centro

Diário Operacional - Recife

Filtros Aplicados

Data e Hora Inicial: 6/12/2018 05:00:00

Data e Hora Final: 6/12/2018 23:00:00

Faixa de Atraso Aplicado: 50%

Data e Hora da Geração: 13/12/2018 14:36:05

Server 1

Períodos de Observação PICOS	Headways								Operação Comercial			
	Minimo Realizado REC/COQ	COQ/REC	Máximo Realizado REC/COQ	COQ/REC	Médio Previsto REC/COQ	COQ/REC	Médio Realizado REC/COQ	COQ/REC	Velocidade-Km/h REC/COQ	COQ/REC	Km Percorrida	Quant. Trens
manhm 06:00:00 08:29:59	00:00:05	00:00:05	00:14:35	00:14:35	00:05:47	00:05:47	00:06:04	00:05:51	27,00	27,00	796,00	12
vespertino 16:30:00 19:29:59	00:00:05	00:00:05	00:14:00	00:16:47	00:05:47	00:05:47	00:06:38	00:06:49	25,00	27,00	880,00	12
- 00:00:00 00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00	0,00	0,00	0
VALES												
1 05:00:00 05:59:59	00:02:37	00:02:37	00:38:46	00:38:46	00:06:00	00:06:00	00:08:30	00:08:21	27,00	27,00	303,00	9
2 08:30:00 16:29:59	00:02:39	00:00:04	00:14:11	00:16:34	00:08:21	00:08:21	00:08:09	00:08:06	26,00	28,00	1.931,00	11
3 19:30:00 23:00:00	00:00:05	00:00:04	00:14:10	00:18:21	00:08:21	00:08:21	00:07:44	00:07:36	27,00	30,00	849,00	10
-- 00:00:00 00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	0,00	0,00	0,00	0
Total									26,00	27,00	4.759,00	

Períodos de Observação PICOS	Viagens			
	Previstas RECIFE	Realizadas RECIFE	Regularidade % RECIFE	Pontualidade % RECIFE
manhm 06:00:00 08:29:59	26	24	92	15
vespertino 16:30:00 19:29:59	31	26	84	72
- 00:00:00 00:00:00	0	0	0	0
VALES				
1 05:00:00 05:59:59	10	9	90	72
2 08:30:00 16:29:59	57	58	102	72
3 19:30:00 23:00:00	26	25	96	47
-- 00:00:00 00:00:00	0	0	0	0
Total	150	142	94	55

Velocidade Média
36,50

Total de Viagens Realizadas
281

Anexo A3: Tabela horária



**TABELA DE INJEÇÃO E RECOLHIMENTO DE TRENS
LINHA CENTRO
TH – 01 Segunda a sexta-feira – 13 NO PICO – 09 NO VALE**

INJEÇÃO INICIO DA COMERCIAL E PICO MANHÃ - DATA:26/03/2018

TUE	VIAGEM	HORA	LOCAL	DESTINO	OBS
*1º	1	04:14	PRÉ	GIB(BAR-2)	DIRETO
**2º	2	04:21	GIB(PERNOITE)	REC	FUNCIONÁRIO
***3º	3	04:20	JAB(PERNOITE)	REC	FUNCIONÁRIO
4º	4	04:25	PRÉ	GIB	FUNCIONÁRIO
5º	5	04:30	PRÉ	JAB	FUNCIONÁRIO
6º	6	04:35	CAV-2(PCA)	REC(IPI-2)	DIRETO
7º	7	04:40	PRE	GIB(CEU-1)	DIRETO
8º	8	04:45	PRÉ	JAB(BAR-1)	DIRETO
9º	9	04:45	GIB(PERNOITE)	REC(BAR-2)	DIRETO
*1º	10	04:45	GIB	REC(ROD-2)	
10º	11	04:45	PCA	REC(CAV-2)	DIRETO
		04:15	PRE		
11	12	04:50	PCA	JAB(CAV-1)	DIRETO
		04:20	PRE		
12	13	04:50	PRE	JAB(AFO-1)	DIRETO
***1º PERNOITE	20	05:05	PRE	JAB	INICIO COMERCIAL
***2º PERNOITE	21	05:10	REC	GIB	
13º	24	05:25	PRE	GIB	

RECOLHIMENTO PICO MANHÃ

TUE	VIAGEM prevista	PREVISÃO CHEGADA	LOCAL
13º	71	08:40	REC
12º	85	08:52	REC
11º	88	09:09	REC
10º	92	09:32	REC

INJEÇÃO PICO TARDE/VEPERTINO

A injeção do pico deve ser realizada a partir das 16h30min PRE ou 16h10min PCA de acordo com a necessidade para manter o intervalo da tabela horária.

RECOLHIMENTO PICO TARDE/VEPERTINO

TUE	VIAGEM Prevista	PREVISÃO CHEGADA	LOCAL
13º	253	19:33	REC
12º	255	19:56	REC
11º	269	20:14	REC
10º	272	20:31	REC



TABELA DE INJEÇÃO E RECOLHIMENTO DE TRENS
LINHA CENTRO
TH – 01 Segunda a sexta-feira – 13 NO PICO – 09 NO VALE

VIAGEM	ORIGEM	PARTIDA	DESTINO	HW
158	REC-1	13:45:35	GIB-2	00:08:21
168	REC-1	13:53:56	JAB-2	00:08:21
169	REC-1	14:02:17	GIB-2	00:08:21
170	REC-1	14:10:38	JAB-2	00:08:21
171	REC-1	14:18:59	GIB-2	00:08:21
172	REC-1	14:27:20	JAB-2	00:08:21
173	REC-1	14:35:41	GIB-2	00:08:21
174	REC-1	14:44:02	JAB-2	00:08:21
175	REC-1	14:52:23	GIB-2	00:08:21
176	REC-1	15:00:44	JAB-2	00:08:21
186	REC-1	15:09:05	GIB-2	00:08:21
187	REC-1	15:17:26	JAB-2	00:08:21
188	REC-1	15:25:47	GIB-2	00:08:21
189	REC-1	15:34:47	JAB-2	00:09:00
190	REC-1	15:44:08	GIB-2	00:09:21
191	REC-1	15:53:29	JAB-2	00:09:21
192	REC-1	16:02:29	GIB-2	00:09:00
193	REC-1	16:11:29	JAB-2	00:09:00
194	REC-1	16:20:29	GIB-2	00:09:00
207	REC-1	16:28:29	JAB-2	00:08:00
208	REC-1	16:34:16	GIB-2	00:05:47
209	REC-1	16:40:03	JAB-2	00:05:47
210	REC-1	16:45:50	GIB-2	00:05:47
211	REC-1	16:51:37	JAB-2	00:05:47
212	REC-1	16:57:24	GIB-2	00:05:47
213	REC-1	17:03:11	JAB-2	00:05:47
214	REC-1	17:08:58	GIB-2	00:05:47
215	REC-1	17:14:45	JAB-2	00:05:47
216	REC-1	17:20:32	GIB-2	00:05:47
217	REC-1	17:26:19	JAB-2	00:05:47
218	REC-1	17:32:06	GIB-2	00:05:47
219	REC-1	17:37:53	JAB-2	00:05:47
233	REC-1	17:43:40	GIB-2	00:05:47
234	REC-1	17:49:27	JAB-2	00:05:47
235	REC-1	17:55:14	GIB-2	00:05:47
236	REC-1	18:01:01	JAB-2	00:05:47
237	REC-1	18:06:48	GIB-2	00:05:47
238	REC-1	18:12:35	JAB-2	00:05:47
239	REC-1	18:18:22	GIB-2	00:05:47
240	REC-1	18:24:09	JAB-2	00:05:47



TABELA DE INJEÇÃO E RECOLHIMENTO DE TRENS
LINHA CENTRO
TH – 01 Segunda a sexta-feira – 13 NO PICO – 09 NO VALE

VIAGEM	ORIGEM	PARTIDA	DESTINO	HW
241	REC-1	18:29:56	GIB-2	00:05:47
242	REC-1	18:35:43	JAB-2	00:05:47
243	REC-1	18:41:30	GIB-2	00:05:47
244	REC-1	18:47:17	JAB-2	00:05:47
245	REC-1	18:53:04	GIB-2	00:05:47
259	REC-1	18:58:51	JAB-2	00:05:47
260	REC-1	19:04:38	GIB-2	00:05:47
261	REC-1	19:10:25	JAB-2	00:05:47
262	REC-1	19:16:12	GIB-2	00:05:47
263	REC-1	19:21:59	JAB-2	00:05:47
264	REC-1	19:27:46	GIB-2	00:05:47
265	REC-1	19:36:07	JAB-2	00:08:21
266	REC-1	19:44:28	GIB-2	00:08:21
267	REC-1	19:52:49	JAB-2	00:08:21
268	REC-1	20:01:10	GIB-2	00:08:21
269	REC-1	20:09:31	JAB-2	00:08:21
280	REC-1	20:17:52	GIB-2	00:08:21
281	REC-1	20:26:13	JAB-2	00:08:21
282	REC-1	20:34:34	GIB-2	00:08:21
283	REC-1	20:42:55	JAB-2	00:08:21
284	REC-1	20:51:16	GIB-2	00:08:21
285	REC-1	20:59:37	JAB-2	00:08:21
286	REC-1	21:07:58	GIB-2	00:08:21
287	REC-1	21:16:19	JAB-2	00:08:21
288	REC-1	21:24:40	GIB-2	00:08:21
298	REC-1	21:33:01	JAB-2	00:08:21
299	REC-1	21:41:22	GIB-2	00:08:21
300	REC-1	21:49:43	JAB-2	00:08:21
301	REC-1	22:00:04	GIB-2	00:09:21
302	REC-1	22:10:25	JAB-2	00:09:21
303	REC-1	22:20:46	GIB-2	00:09:21
304	REC-1	22:31:07	JAB-2	00:09:21
305	REC-1	22:41:28	GIB-2	00:09:21
306	REC-1	22:51:49	JAB-2	00:09:21
316	REC-1	23:00:10	GIB-2	00:08:21
317	REC-1	23:16:31	JAB-2	00:12:21
318	REC-1	23:19:52	GIB-2	00:03:21

Anexo A4: Partidas e Chegadas



Metrorec - Tráfego Linha Centro

Chegadas e Partidas em Plataformas - Rec/Coq

Filtros Aplicados

Data e Hora Inicial: 6/12/2018 16:30:00

Data e Hora Final: 6/12/2018 20:30:00

Trem: Todos

Plataforma: Todas

Data e Hora da Geração: 13/12/2018 14:02:40
Server 1Data e Hora da Geração: 13/12/2018 14:02:40
Server 1

VIA 1								
Identificação			Headway Realizado	Plataforma				
Trem	Viagem	Estação		Chegada	Atraso	Partida	Atraso	
REC JAB 026	217	JOAC1	00:10:11	17:36:52	00:06:55	17:37:31	00:06:55	
REC GIB 032	216	BAR1	00:06:31	17:38:57	00:03:47	17:40:27	00:03:47	
REC JAB 026	217	AFO1	00:10:32	17:39:06	00:06:45	17:40:07	00:06:45	
JAB REC 030	220	RECC12	00:08:03	17:40:58	00:02:51	17:40:58	00:02:51	
REC GIB 030	218	RECC12	00:08:21	17:40:58	00:13:12	17:41:16	00:13:12	
REC GIB 032	216	TEJ1	00:06:33	17:41:16	00:03:58	17:41:43	00:03:58	
REC GIB 030	218	RECC1	00:07:44	17:42:00	00:08:54	17:42:46	00:08:54	
REC GIB 032	216	COQ1	00:06:06	17:43:01	00:03:55	17:43:48	00:03:55	
REC JAB 026	217	MAG1	00:11:17	17:43:52	00:08:17	17:44:32	00:08:17	
REC GIB 030	218	JOAC1	00:08:22	17:44:52	00:09:08	17:45:53	00:09:08	
REC JAB 026	217	LUZ1	00:11:30	17:45:57	00:08:30	17:46:45	00:08:30	
REC GIB 030	218	AFO1	00:08:08	17:47:34	00:09:26	17:48:16	00:09:26	
REC JAB 026	217	WEK1	00:11:40	17:47:54	00:08:54	17:48:22	00:08:54	
REC GIB 030	218	IP11	00:00:05	17:49:37	00:09:55	17:50:21	00:09:55	
REC GIB 030	218	IP11	00:00:00	17:49:37	00:09:55	17:50:21	00:09:55	
GIB REC 037	221	RECC12	00:08:38	17:49:54	00:06:00	17:49:54	00:06:00	
REC JAB 037	234	RECC12	00:10:10	17:49:54	00:04:47	17:51:27	00:04:47	
REC JAB 026	217	BAR1	00:12:06	17:50:59	00:10:02	17:52:33	00:10:02	
REC GIB 030	218	MAG1	00:07:38	17:51:47	00:10:25	17:52:10	00:10:25	
REC JAB 037	234	RECC1	00:10:28	17:52:16	00:01:49	17:53:15	00:01:49	
REC JAB 026	217	TEJ1	00:13:26	17:53:20	00:10:15	17:55:09	00:10:15	
REC GIB 030	218	LUZ1	00:07:31	17:53:40	00:10:26	17:54:16	00:10:26	
REC JAB 037	234	JOAC1	00:10:27	17:55:08	00:02:03	17:56:20	00:02:03	
REC GIB 030	218	WEK1	00:07:28	17:55:25	00:10:38	17:55:50	00:10:38	
JAB REC 036	222	RECC12	00:04:02	17:55:29	00:05:48	17:55:29	00:05:48	
REC GIB 036	235	RECC12	00:05:14	17:55:29	00:04:35	17:56:41	00:04:35	
REC JAB 026	217	COQ1	00:13:41	17:56:24	00:11:31	17:57:30	00:11:31	
REC GIB 036	235	RECC1	00:05:32	17:57:43	00:01:29	17:58:47	00:01:29	
REC JAB 037	234	AFO1	00:11:03	17:58:00	00:02:31	17:59:19	00:02:31	
REC GIB 030	218	BAR1	00:07:52	17:58:30	00:11:46	18:00:26	00:11:46	
CAV REC 040	202	RECC12	00:02:43	17:59:24	00:57:16	17:59:24	00:57:16	
REC JAB 040	236	RECC12	00:04:20	18:00:07	00:03:26	18:01:01	00:03:26	
REC GIB 036	235	JOAC1	00:06:49	18:00:44	00:01:52	18:03:09	00:01:52	
REC JAB 037	234	IP11	00:11:25	18:00:57	00:03:54	18:01:46	00:03:54	
REC GIB 030	218	TEJ1	00:06:44	18:01:19	00:12:27	18:01:53	00:12:27	
REC JAB 040	236	RECC1	00:04:33	18:01:53	-00:00:07	18:03:20	-00:00:07	
REC JAB 037	234	MAG1	00:11:34	18:02:55	00:04:12	18:03:44	00:04:12	
REC GIB 030	218	COQ1	00:06:43	18:03:11	00:12:31	18:04:13	00:12:31	
GIB REC 035	223	RECC12	00:02:48	18:03:49	00:08:21	18:03:49	00:08:21	
REC GIB 035	237	RECC12	00:04:42	18:03:49	00:01:21	18:05:43	00:01:21	