

FRAMEWORK DE BIG DATA ANÁLISE EMISSÃO DE CO₂ EM TERMINAIS DE CONTAINER

Novaes Mathias, T.¹, Shinoda, T.¹, Botter, R. C.²

¹Kyushu University-Japan, ²Universidade de São Paulo-Brasil
e-mail: tiago@kyudai.jp

RESUMO

As tecnologias de coleta de dados vêm avançando nas últimas décadas com IoT (Internet of things) nos mais diversos campos, e além de fornecer um entendimento mais profundo nas operações, também está mudando a forma de como os processos são realizados. Nos terminais de containers, o maquinário de movimentação de carga são a principal fonte de emissão de CO₂. Para se manter competitivo no mercado com a crescente demanda de carga, os terminais de container devem aumentar sua capacidade de movimentação sendo mais eficiente. A análise de Big Data pode ser uma ferramenta poderosa para extrair as características operacionais para movimentar e estocar containers no pátio. Há uma crescente pressão da sociedade com a questão ambiental de emissão de CO₂. Considerando esses fatores, este artigo apresenta um Framework para análise de Big Data para mensurar a emissão de CO₂ gerada por um terminal de container localizado na cidade de Fukuoka – Japão. Além disso, os dados coletados servem para verificar e entender os gargalos operacionais que atrapalham a produtividade do terminal e, consequentemente, aumentando a emissão de gases na atmosfera.

Palavras-Chave: Emissão de CO₂, Big Data, IoT, Terminal de Container.

1- INTRODUÇÃO

As operações portuárias geram externalidades negativas, como a poluição do ar, que é um custo social para as áreas portuárias. A pedido da International Port Association, 55 grandes portos do mundo adotaram voluntariamente a Declaração Mundial do Clima dos Portos em 2008 [7]. Nesse



ponto, criou-se a World Port Climate Declaration. Em 2018, a IMO estabeleceu a meta de reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (aqui tratados como GHG) em 50% até 2050. Além disso, existem regiões onde são tomadas medidas regulatórias de mudança climática para priorizar o fornecimento de eletricidade terrestre e o uso de Bunkers de Gás Natural Liquefeito (LNG) em todos os portos [5].

Recentemente, a sociedade tem focado sua atenção nas contramedidas às mudanças climáticas e, em particular, tornou-se um fator importante no fortalecimento da competitividade portuária nas operações portuárias. No Japão, foram estabelecidas políticas como Carbon Neutral Port (doravante abreviado como CNP) destinado a contramedidas de mudança climática. Scornn-Friense et. al. (2021) abordam que as fontes de emissão de CO₂ podem ser amplamente classificadas em relação ao CNP da seguinte forma: 1) emissões de navios, 2) emissões dentro dos portos, 3) emissões do transporte da zona de retorno do porto [6]. A redução das emissões de CO₂ dos equipamentos de movimentação de carga durante a operação pode ser considerada uma contrapartida por gestores portuários e operadores de terminais de containers, mas a estimativa de emissões ainda está em avaliação para entender sua eficácia [1].

As reduções na emissão de CO₂ podem ser alcançadas pela cadeia global de suprimentos e esforços logísticos [8]. Os portos são o nó que conecta o transporte marítimo e terrestre e têm um papel na otimização da cadeia de suprimentos [2]. Por esse motivo, os portos não estão apenas aplicando estratégias para reduzir suas emissões de GHG, mas também implementando medidas para reduzir as emissões do transporte marítimo e terrestre [1].

No Japão, a PORT2020 [9], política portuária de longo prazo do governo, diz que os terminais devem implementar políticas de *descarbonização*. Isso faz parte da Carbon Neutral Declaration de 2050 do primeiro-ministro japonês Yoshihide Suga. Em seguida, foi lançada uma política de CNP, que visa ser tecnologias para a sofisticação das funções portuárias e da concentração das indústrias costeiras, contribuindo para uma sociedade descarbonizada. Embora haja um plano



para isso, a maioria dos portos no Japão não mensura suas emissões de na atmosfera. Então, para alcançar maior neutralidade de carbono, é necessário entender a composição e as origens dessas emissões.

Com base neste histórico, este artigo estima as emissões de CO₂ em um terminal de containers, que pode ser extraída através de um relatório de operação diária. Para isso foi utilizado os dados gerados pelas operações do terminal de contêineres em Hakata Island City, um terminal de médio porte localizado na província de Fukuoka, Japão. No Hakata Port Island City Container Terminal (abreviado como ICCT), um sistema de TI chamado HiTS (Hakata Port Logistics IT System) foi desenvolvido para melhorar a eficiência logística em nível operacional e manuseio dos containers no pátio. O ponto de referência desses dados são os Transfer Cranes (T/C), principal equipamento de movimentação de carga do terminal para empilhar containers e realizar as operações de intra e inter portuárias. Adicionalmente, a partir do relatório operacional do T/C, também é possível avaliar o Caminhões Internos (C/Y) e o Gantry Cranes (G/C). Portanto, será examinada a possibilidade de estimar as emissões de CO₂.

2-MATERIAIS E MÉTODOS

Emissão de CO₂ em portos do Japão

Em relação às emissões de CO₂ em portos japoneses, o Departamento de Portos do Ministério de Terras, Infraestrutura, Transporte e Turismo (2009) apresentou os resultados da estimativa de um total de 125 portos, entre eles 9 com grande impacto no transporte de mercadorias. Com base nisso, as emissões de CO₂ de todos os portos japoneses podem ser estimadas conforme mostrado na Tabela 1.

Em primeiro, o transporte back-zone é responsável por mais de 55% de todas as emissões relativas aos terminais de contêineres. Isso significa que os veículos para as operações de entrega e recebimento são responsáveis pela maior parte das emissões de GHG na atmosfera. Há uma



diferença significativa de cerca de 9 vezes mais emissões das operações de empilhamento de containers no pátio pelos T/Cs do que as operações de cais, importação e exportação dos G/Cs. Além disso, é importante mencionar que as operações relacionadas às embarcações, como procedimentos de manobra de atracação e desatracação, são cerca de 37% de todas as emissões. Utilizando técnicas de mineração de dados nos relatórios diários de operações do ICCT, com base nas operações de T/C ajuda a entender onde essas emissões são geradas.

Tabela 1 – Emissões de CO₂ em Portos Japoneses.

Fonte: Traduzido do Ministério de Terras, Infraestrutura, Transporte e Turismo (2009)

Fonte de Emissão	Total (t- CO ₂)
Container Gantry Crane (G/C)	3.9
Maquinário de Pátio (T/C)	34.7
Containers Refrigerados	13.7
Prédios Administrativos	26.2
Operações do Navios (Manobras)	132.0
Operações de Atracção e Desatracação	341.3
Congestionamentos	9.1
Dragagem	4.6
Transporte de black-zones	698.0
Total	1,263.5

3- RESULTADOS

Hakata Port Island City container terminal

A Figura 1 mostra um esboço do ICCT. Em setembro de 2003, devido ao aumento significativo no volume de movimentação de contêineres no Porto de Hakata, o ICCT iniciou suas operações e planejou um volume anual de movimentação de contêineres de 528.645 TEUs (Twenty-Foot Equivalent Units).

O ICCT possui 680m de comprimento de cais com 14m e 15m de profundidade, compondo 2 berços com capacidade para movimentação de navios porta-contêineres de tamanho Panamax, e



está equipado com 5 G/Cs. A área do pátio de armazenamento é de 364.000 m² e utiliza uma pilha de contêineres secos de 4 níveis, com 23.872 contêineres. O manuseio operacional é baseado em um tipo de guindaste de transferência com pneus de borracha. A figura também mostra o fluxo de trabalho de movimentação de carga em todo o pátio. Do lado do interior, R3 e R4 representam chassis externos que trazem e retiram contêineres, há um estacionamento antes do portão e uma área de espera após a entrada no terminal. A entrada e a saída são realizadas separadamente para evitar congestionamentos. Uma característica importante a ser observada é que a entrega e o recebimento também podem ser feitos pelo mesmo veículo. Em terra, R1 e R1 são responsáveis pelas operações de importação e entrega. Esses veículos (C/Ys) são caminhões administrados pelo terminal. Todos os transportes de pátio são realizados por C/Ys, incluindo reorganização e reposicionamento de contêineres quando necessário.

Como mencionado anteriormente, o ICCT usa um método de T/C para empilhar contêineres, então o relatório diário é baseado nas operações de T/Cs. A Figura 2 mostra a estrutura dos dados de manuseio do contêiner.



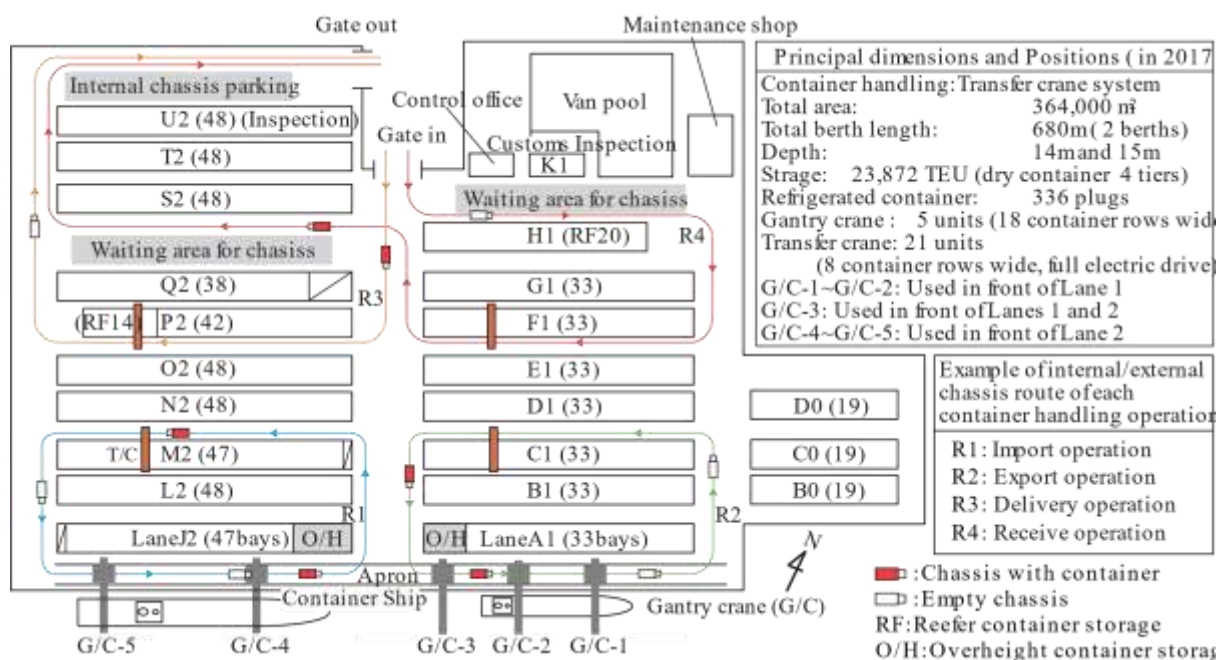
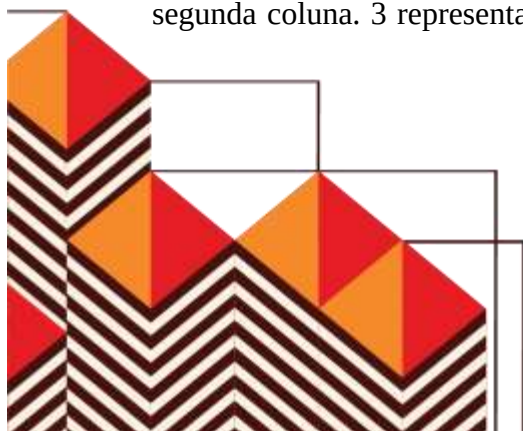


Figura 1 – Layout do ICCT

Data items and its ID																				
1	2	3	4	A1	A2	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
ふ		作業		作業	荷役	コンテナ		F		ヘッド				蔵置		受付	完了	待ち		
年月	日	頭	機器	会社	者	作業	GC	番号	Sz	Tp	Ht	E	ID	FROM	TO	アドレス	時間	時間	時間	
20180925	IC	T02	Ata	WkA	揚	I4	S***3*****620	DR	86	F				CY023	A121-7-2A121-6-418	12:52	18:30	40:17	48:30	
20180925	IC	T02	Ata	WkA	揚	I4	T***2*****620	DR	86	F				CY019	A121-3-2		18:14	15:18	32:47	18:32
20180925	IC	T03	Bta	WkB	SO		S***9*****340	RF	96	F				H101-1-2	CY013		08:03	10:08	33:45	30:35
20180925	IC	T03	Bta	WkB	出		C***1*****440	RF	96	F	F*0**			H101-6-2	F*0**		08:29	47:08	37:28	07:41
20180925	IC	T03	Bta	WkB	SO		C***5*****040	RF	96	F				H107-1-2	CY013		08:03	10:08	39:23	36:13
20180925	IC	T03	Bta	WkB	SO		G***9*****840	RF	96	F				H107-3-3	CY013		08:03	10:08	44:10	41:00
20180925	IC	T03	Bta	WkB	リ		T***8*****940	RF	96	E				H107-3-2	H107-5-1		08:38	12:08	45:45	07:33
...							...							...			...			

Figura 2 – Exemplo do relatório de operações de T/C

Existem 34 colunas de dados neste banco de dados, mas apenas 18 itens são úteis para fazer qualquer tipo de análise. A coluna 1 é uma composição de ano e mês, seguido por um dia na segunda coluna. 3 representa em qual cais o navio está atracado. Os itens 4 e 6 caracterizam os



equipamentos utilizados para movimentação do contêiner, o T/C utilizado para empilhamento dos contêineres no pátio, 6 para o G/C de origem do contêiner. A1 e A2 tratam da empresa e do motorista responsável por realizar aquela operação. A coluna 5 refere-se a quais movimentos foram feitos no momento (ver tabela 2). Em seguida, as colunas 7, 8, 9, 10 e 11 mostram as informações do contêiner, como número IMO, tamanho, tipo, altura e se está cheio ou vazio. Depois disso, de 12 a 18 informam a localização do pátio e o tempo operacional. É importante destacar que o horário de recepção na coluna 16 pode não ser a operação real informando o horário, mas sim quando a ordem para prosseguir com a operação chegou ao terminal. Isso dependerá do tipo de movimento solicitado. Por fim, o tempo de conclusão é medido quando o operador do equipamento aperta um botão logo após a finalização da operação. Algumas considerações e suposições devem ser feitas para tirar o tempo real de operação de cada equipamento, mas é possível fazer uma estimativa justa de cada processo ao longo da análise do relatório diário.

Coletou um ano de dados do ICCT, de 1º de agosto de 2017 a 31 de julho de 2018. Isso significa aproximadamente 1,4 milhão de contêineres movimentados, representando uma única operação por linha. Observe que a maioria das ferramentas comerciais de análise de dados, como o Microsoft Excel, tem uma limitação de cerca de 1,2 milhão de linhas. Portanto, para poder continuar com esta pesquisa, foi desenvolvido um procedimento em Python para extrair informações úteis dos dados. Então, várias relações entre operações de equipamentos, posicionamento de armazenamento, etc. foram observadas a partir da análise dos dados, principalmente quando o operador do equipamento altera o endereço com base em sua experiência. Para entender melhor o comportamento do ICCT, a figura 3 (a) mostra o número diário de movimentos para cada tipo de movimento. É possível visualizar uma oscilação de cada tipo de operação ao longo do ano e está sugerindo um padrão cíclico.



Depois disso, tomando o número de operações diárias e ordenando do maior para o menor número total de operações diárias, a figura 3 (b) ilustra a dificuldade de dimensionar os equipamentos terminais necessários para completar as operações.

Considerando que o terminal de contentores funciona 24 horas por dia e 7 dias por semana, e primeiro considerando a parte mais baixa do gráfico, Domingos e Feriados (total 69 dias), a movimentação média realizada foi de cerca de 589, isso acontece porque não há chassis que entram no terminal durante estes dias, pelo que quase não foram efetuadas operações de entrega nem de recepção em comparação com os dias de semana em que a média de movimentos realizados é cerca de 5,7 vezes mais lenta do que nos dias de semana. Além disso, é importante mencionar que, embora o terminal funcione 24 horas por dia, é exclusivamente para atender navios. Normalmente, os chassis externos não funcionam aos domingos e feriados. Depois, exclusivamente nos dias úteis, há um conjunto de mais três resultados. O dia de pico, com 5.235 operações, é cerca de 2,7 vezes; o menor dia operacional, com 1.979 movimentos, e a média é de 3.388 operações. Isso significa que manter a operação próxima de um nível ótimo sem uma metodologia eficiente para avaliar constantemente o uso de recursos seria difícil de alcançar.



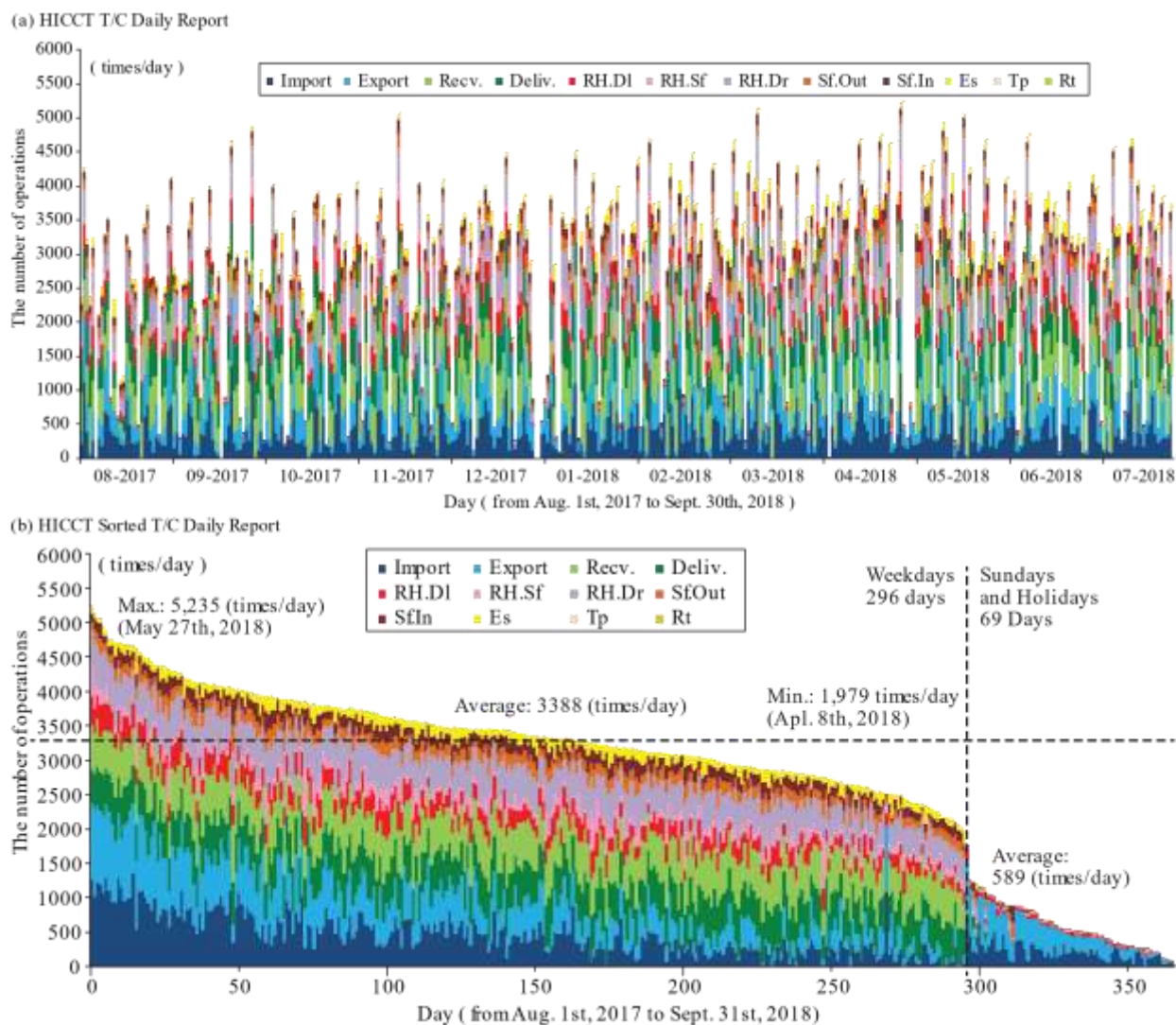


Figura 3 – Movimentações diárias de container ICCT

4- DISCUSSÕES

Emissões operacionais de CO₂

Cada equipamento de manuseio de carga diferente no ICCT foi avaliado e as emissões de CO₂ puderam ser razoavelmente estimadas. As estimativas foram calculadas com base no combustível total que cada veículo utilizou para realizar as operações. No caso de equipamentos elétricos,



DESAMPARADOS No.201, MUELLE "JUAN MANUEL DÍAZ",
HABANA VIEJA, LA HABANA, CUBA.
Telef: (53) 7861 0920
ipin@enet.cu

utilizou-se a energia total fornecida ao terminal para operar as máquinas. O mesmo processo poderia ser feito para veículos híbridos, levando o combustível e a energia necessários para operá-los.

A Tabela 2 mostra um exemplo de quilometragem interna do chassi durante o transporte de um contêiner dos navios, G/Cs no cais, para os T/Cs no pátio de estocagem em março de 2019. Inclui também os movimentos de reposicionamento para reordenamento ou transporte de contêineres vazios para o área de vans. A área do terminal foi mapeada e calculada a distância com base na origem e destino das operações. A maioria dos movimentos são de importação e exportação, tomando a distância entre as baías e o cais, e somando a distância média para chegar ao G/C. Para deslocamentos de turno, a quilometragem é calculada com base na distância entre as baías, considerando também as diferenças de faixas e as peculiaridades do layout.

De acordo com a tabela 2, a quilometragem total dos 25 C/Ys atingiu uma média de 49,2 km/dia/CY, embora haja grandes oscilações porque alguns equipamentos estão sujeitos a manutenção, a distância total percorrida é de 38.141km em março de 2019. a quilometragem média por veículo durante um mês é de 1.525 km.

Medidas para reduzir a distância total percorrida por C/Y dentro do terminal devem ser levadas em consideração. Em outras palavras, uma análise mais ampla da alocação de posicionamento de contêineres deve ser estudada para reduzir a distância que os veículos precisam percorrer durante as operações.

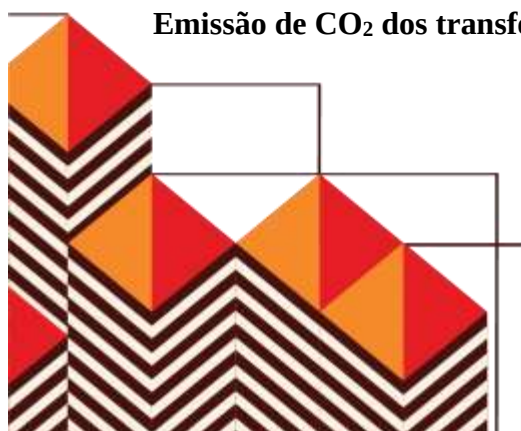


Tabela 2 – Distancia total percorrida pelos C/Ys (Março 2019)

ID of CY	ID of GC					Total	Ratio (%)
	I1	I2	I3	I4	I5		
CY001	294	271	612	213	415	1,805	4.7
CY002	292	318	625	218	587	2,040	5.3
CY003	317	277	623	223	497	1,939	5.1
CY004	269	296	612	222	422	1,821	4.8
CY005	286	235	142	667	826	2,155	5.7
CY006	454	158	229	713	594	2,147	5.6
CY007	365	138	230	498	961	2,191	5.7
CY008	438	194	184	388	768	1,972	5.2
CY009	398	104	573	427	433	1,935	5.1
CY010	305	141	504	572	658	2,181	5.7
CY011	142	188	214	650	483	1,678	4.4
CY012	299	126	522	586	587	2,120	5.6
CY013	136	82	86	0	0	305	0.8
CY014	0	0	0	73	0	73	0.2
CY015	40	80	225	380	206	931	2.4
CY016	124	258	313	533	364	1,592	4.2
CY017	139	188	288	505	270	1,391	3.6
CY018	99	175	411	691	516	1,892	5.0
CY019	109	169	305	283	464	1,330	3.5
CY020	79	24	528	341	399	1,371	3.6
CY021	191	320	126	450	242	1,329	3.5
CY022	186	350	330	280	168	1,314	3.4
CY023	123	345	314	263	248	1,293	3.4
CY024	161	334	324	181	221	1,221	3.2
CY999	12	49	17	23	13	115	0.3
Total	5,260	4,821	8,338	9,381	10,341	38,141	
Ratio	14%	13%	22%	25%	27%	49.2 km/day/CY	

As operações de movimentação de carga realizadas pelo C/Y externo no ICCT são basicamente divididas em três tipos: Recebimento, Entrega e Recebimento e Entrega. Neste estudo, as operações C/Ys externas utilizam um total de 18 pistas, sendo 8 pistas para o Berço 1 e 10 pistas para o Berço 2. Como o consumo de combustível do chassi externo não pode ser rastreado, foi desenvolvido um modelo de simulação para calcular a distância total que cada veículo precisaria para operar no ICCT. São 20 vagas de espera no lado do Berço 1 e 35 na baía, seguindo as premissas do terminal O Berço 1 tem prioridade sobre o Berço 2.

Emissão de CO₂ dos transfer crane (t/c)



DESAMPARADOS No.201, MUELLE "JUAN MANUEL DÍAZ",
HABANA VIEJA, LA HABANA, CUBA.
Telef: (53) 7861 0920
ipin@enet.cu

No ICCT, os T/Cs são eletrificados, portanto a emissão de CO₂ é considerada zero. Mas isso é apenas ao colocar e recuperar contêineres nas pilhas. Quando é necessário mudar para outra baía ou pista, os T/Cs utilizam um motor diesel para mudar sua posição. Assim, foi calculada a distância percorrida pelo T/C ao mudar de baía ou faixa durante as operações. Provavelmente nos cálculos da distância percorrida C/Y, a distância percorrida T/Cs foi usada como origem e destino de cada operação ao se movimentar no pátio, e é baseada no comprimento de cada baía.

A Figura 4 mostra cada milhagem de T/C para março de 2019. Observe que principalmente o T/C muda frequentemente sua posição no pátio para colocar e retirar contêineres. T07 e T08 foram menos utilizados, devido à manutenção programada. A distância total atingiu 2.390 km, a quilometragem média por veículo em março foi de cerca de 77 km, e a quilometragem média diária por veículo no ano fiscal que termina em março chegará a aproximadamente 3,4 km.

Emissão de CO₂ dos gantry crane (g/c)

Semelhante aos T/Cs, os G/Cs também possuem equipamentos eletrificados. No entanto, a mesma ideia pode ser aplicada quando o G/C precisa mudar de posição.

Uma importante característica G/C a ser analisada é o sistema de gangues com C/Ys internos. A relação entre cada gangue e a posição G/C pode ser útil para reduzir a quilometragem percorrida.

A Tabela 3 mostra o detalhamento do número de contêineres movimentados por cada G/C em março de 2019 e a quilometragem do sistema interno de gangues C/Ys gerado naquele momento. O total de exportações movimentadas foi de 15.495, contra 14.101 movimentações de contêineres de importação, totalizando 29.674 operações somando todas as movimentações. Devido às posições de G/Cs ao longo do cais, é possível ver que I5 tem quase o mesmo número de movimentos que I1, mas a distância total percorrida de sua turma é quase o dobro. Mais uma vez, gerenciar um melhor agendamento e localização de posicionamento para contêineres pode ajudar a mitigar esse problema.



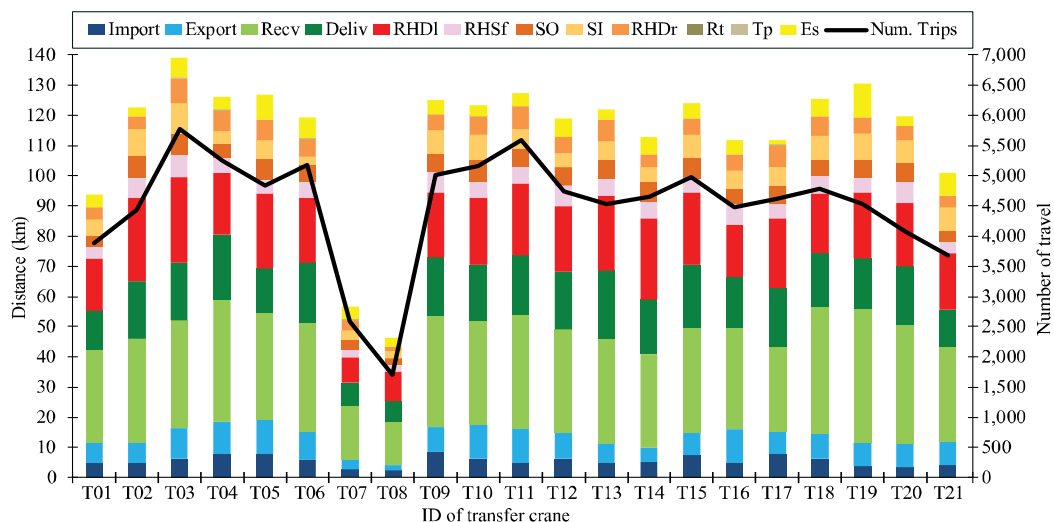


Figura 4 – Distancia e número de operações dos T/Cs (Data: Março 2018)

Tabela 3 - Detalhamento da movimentação de contêineres por G/C (Data: Março 2018)

GC	Export		Import		Tp		Rt		Total of Operations (Container)	CY Total Traveled Distance (km)	Ratio (%)	Ratio Imp /Exp
	Num. Container	Dist. (km)	Num. Container	Dist. (km)	Num. Container	Dist. (km)	Num. Container	Dist. (km)				
I1	3,648	2,824	3,161	2,404	20	18	16	14	6,845	5,260	23	0.87
I2	3,189	2,676	2,710	2,127	10	9	10	9	5,919	4,821	20	0.85
I3	2,512	4,495	2,217	3,839			2	4	4,731	8,338	16	0.88
I4	2,746	4,474	3,062	4,908					5,808	9,381	20	1.12
I5	3,400	5,599	2,951	4,700	10	21	10	21	6,371	10,341	21	0.87
Total	15,495	20,068	14,101	17,977	40	48	38	47	29,674	38,141.2		
Ratio	52.2%		47.5%		0.1%		0.1%					

5- CONCLUSÃO

Este artigo mostra as emissões de CO₂ dos portos japoneses em uma macro escala de 125 portos. Quantitativamente, é importante reduzir as emissões de CO₂ de navios e veículos para atingir o CNP.

Um processo para medir as emissões de CO₂ para as operações de manuseio de carga do terminal foi mostrado usando o processo de mineração de dados do relatório diário do ICCT enquanto as operações de T/C foram efetuadas. Os principais indicadores de desempenho utilizados no



terminal foram avaliados e as emissões de CO₂ foram calculadas para demonstrar que se uma melhoria operacional é alcançada, também ocorre a redução de CO₂, dando passos importantes para atingir o CNP.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alamoush et al.: “Ports’ technical and operational measures to reduce greenhouse gas emission and improve energy efficiency: A review, Marine Pollution Bulletin”, Vol.160, 2020.
2. Bjerkan and Seter: “Reviewing tools and technologies for sustainable ports: Does research enable decision-making in ports?” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol.72, pp.243-260, 2019.
3. Hales et al.: “The Balanced Theory of Port Competitiveness”, Transportation Journal, Vol. 55, pp. 168-189, 2016.
4. IMO: “Initial IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships, Resolution” MEPC.304(72), 2018.
5. Sornn-Friese et al.: “What drives ports around the world to adopt air emissions abatement measures?” Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 90, 2021.
6. Tichavska et al.: “Air emissions from ships in ports: Does regulation make a difference?” Transport Policy. Vol.75, pp.128-140, 2019.
7. Xing et al.: “A comprehensive review on countermeasures for CO₂ emissions from ships, Renewable and Sustainable Energy Reviews”, Vol.134, 2020.
8. Gibbs et al.: “The role of seaports in end-to-end maritime transport chain emissions.” Energy Policy, Vol. 55, pp. 337–348338, 2014.
9. 国土交通省港湾局: 「港湾における温室効果ガス排出削減計画」作成ガイドライン (案), 2009.

