

UM ESTUDO SOBRE TERMINAIS INTERMODAIS PARA GRANÉIS SÓLIDOS

L. E. C. ANDRADE* e H.L. BRINATI
*luis.andrade@poli.usp.br

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Brasil.

RESUMO

Este artigo apresenta o projeto integrado de um terminal multimodal para granéis sólidos na hidrovia Tietê-Paraná. Utilizando-se a técnica de simulação probabilística, são avaliadas diversas configurações para o terminal em termos de tempo de permanência para cada modal. As alternativas geradas são então, avaliadas em termos de nível de serviço oferecido e do retorno do investimento.

ABSTRACT

This paper presents an integrated project of a multimodal terminal for solid bulk cargo at Tiete-Parana inland waterway. Using the probabilistic simulation technique, many configurations are evaluated in terms of stay time for each modal. The configurations are then evaluated by its service level and the investment return.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma matriz de transporte baseada no modal rodoviário, situação muito diferente de outros países, em que há uma participação bem mais significativa dos modais ferroviário e hidroviário, os quais têm uma maior eficiência energética e produzem um menor custo de transporte.

Há diversos fatores que contribuíram para uma consolidação desta matriz de transportes no país, entre eles a política protecionista à indústria automobilística e os subsídios ao óleo diesel. É preciso, no entanto, ressaltar que a inadequação dos portos e terminais brasileiros contribuem de forma significativa para a baixa participação do modal hidroviário.

Para a mudança da matriz de transportes fica, assim, evidenciada a necessidade da modernização dos portos brasileiros. O presente trabalho focaliza o projeto de um terminal intermodal para granéis sólidos a ser instalado na hidrovia Tietê-Paraná e faz parte de uma pesquisa desenvolvida no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Andrade [1].

O objetivo central deste trabalho é aplicar uma abordagem integrada para o projeto de terminais, de forma que o seu dimensionamento contemple a interação entre os diversos modais. São geradas diversas alternativas para o terminal, obedecendo a um conjunto de diretrizes estabelecidas no procedimento de projeto. Em seguida, estas configurações são avaliadas mediante a utilização da técnica de simulação estocástica, utilizando o software ARENA, Freitas [2] e Pedgen [4], de acordo com o critério de mérito selecionado, de modo a se obter a melhor alternativa.

O trabalho apresenta, inicialmente, um estudo de demanda de transporte de cargas na hidrovia, a partir da qual são geradas suas projeções, considerando o atual e futuro cenários, bem como a distribuição mensal desta demanda.

É realizado o dimensionamento de um terminal intermodal no rio Tietê na região de Pederneiras, para o qual é especificado um fluxo de carga no horizonte 2005/2010/2015. Como critério de avaliação do terminal utiliza-se o máximo valor presente associado a restrições máximas de tempo de permanência para os 3 modais.

PREMISSAS PARA O PROJETO

Para o desenvolvimento do projeto é necessário estabelecer uma série de premissas, que estão descritas abaixo.

a) terminal de exportação

Para o dimensionamento do terminal considera-se que ele movimentará carga apenas em um sentido: da hidrovia para a ferrovia e/ou rodovia. Dois tipos de granel devem ser atendidos: soja in natura e farelo de soja. O terminal é, portanto, de recepção hidroviária, recebendo carga das regiões produtoras, Centro Oeste/Sudeste do Brasil, sendo que é privilegiado o transbordo direto para os modais de expedição.

b) quantidade de carga

Adota-se para o projeto do terminal uma concepção modular. Para o dimensionamento do terminal arbitrou-se um valor de 1.000.000 toneladas para o ano de 2005; Para os anos de 2010 e 2015 adotou-se uma expansão moderada da produção de soja, que foi constatada em estudo de demanda.

Em relação ao dimensionamento da capacidade de armazenagem do terminal, farelo e grãos devem ocupar lugares distintos, pois eles não podem misturar-se. Com o intuito de estabelecer a participação dos dois tipos de carga, soja in natura e farelo de soja, utilizou-se os dados da movimentação desses produtos observados no período 1999 – 2000, que correspondem, respectivamente, a 63,5 e 36,5 %.

c) distribuição da movimentação de carga

Para o dimensionamento do terminal é importante conhecer a distribuição da movimentação de carga a hidrovia ao longo do ano. Para a definição destes valores adotou-se para a soja e o farelo as mesmas distribuições constatadas no biênio 1999 – 2000.

d) distribuição da recepção e da expedição

Adota-se para a recepção de carga a mesma distribuição admitida para a movimentação de carga na hidrovia. A Figura 1 mostra esta distribuição para o ano 2005; para os anos 2010 e 2015 a distribuição é semelhante, porém, com maiores valores de carga, como mostrada na mesma figura. A partir desta distribuição, pode ser estimada a chegada dos comboios.

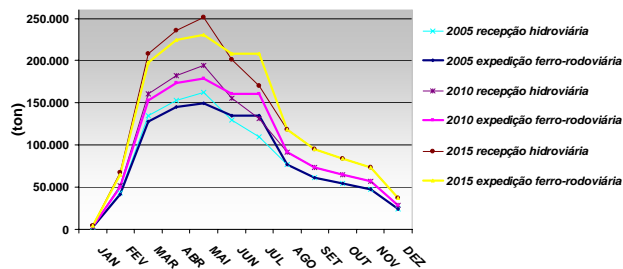


Fig. 1 - Distribuição mensal de grão in natura mais farelo

Para a expedição de carga adotou-se uma distribuição diferente da de recepção. Admite-se, que o subsistema de armazenagem no período de Fevereiro à Maio absorve 5% da carga proveniente do subsistema hidroviário. Contudo, a partir do mês de Junho a carga estocada será escoada de forma que, até o final de Julho, não haja carga armazenada; no mês de Agosto os fluxos recepção e de expedição se igualam. Com base nestas premissas obtém-se a distribuição de expedição que é mostrada na Figura 1 para os anos de 2005, 2010 e 2015.

e) participação dos modais ferroviário e rodoviário

Admitiu-se que a maior parcela da carga é movimentada pelo subsistema ferroviário (87,50%), sendo a parcela restante atendida pelo modal rodoviário. O modal rodoviário é atendido por dois tipos de veículos, o rodo-trem e a carreta semi-reboque. Admite-se que a participação das carretas semi-reboque corresponda a 80% do volume movimentado por este subsistema, cabendo à carreta tipo rodo-trem movimentar os restantes 20 %.

De acordo com as considerações acima, é possível estabelecer a distribuição de chegadas dos dois modais (rodoviário e ferroviário).

f) distribuição dos processos de chegada e atendimento

Com relação a distribuição de chegadas e tempos de atendimento e eventos nos pátios, admitiu-se, para todos os modelos, que os intervalos entre chegadas tenham distribuição normal.

Considerou-se para a distribuição de chegadas dos 3 modais um desvio padrão igual a 20% do intervalo de chegada; considerou-se que os tempos para execução de atividades nos pátios ferroviário e rodoviário, bem como os tempos de manobras no subsistema hidroviário, tenham distribuição normal, com desvio padrão igual a 10%.

CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DO TERMINAL

A partir das diversas alternativas geradas deve-se buscar a melhor solução em função, principalmente, de taxa de transbordo e capacidade de estoque. A escolha entre as configurações deve ser definida pela aplicação de um critério adequado.

Existem diversos critérios para avaliar o desempenho do terminal. Alguns são mais apropriados para avaliar o sistema de transporte como um todo. Este é o caso do custo global, usado por Lima [3], que corresponde à soma dos custos de permanência dos veículos nos respectivos modais com o custo generalizado. Outros são mais adequados para avaliar o investimento feito pelo empresário do terminal. Este é o caso do valor presente líquido. Evidentemente a aplicação de um ou outro critério é que vai determinar a escolha da solução.

Para o caso presente adotou-se um critério misto; emprega-se o valor presente líquido mas impõe-se restrição quanto aos tempos de atendimento. Assim, será escolhida a configuração de terminal que leve ao maior valor presente líquido, desde que não sejam ultrapassados os tempos máximos de permanência dos modais hidro, ferro e rodoviário.

A partir de levantamentos de dados junto à empresas que desenvolvem atividades semelhantes às desempenhadas neste projeto chegou-se a um tempo máximo de permanência no terminal de 9 h para o setor ferroviário de 1 h para o sistema rodoviário; para o subsistema hidroviário não se limitou o tempo de permanência.

Para o modal hidroviário verificou-se alta oferta de comboios frente às quantidades atualmente movimentadas. Assim, um tempo maior de permanência do comboio no terminal, não penalizaria o seu desempenho econômico.

DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR DO TERMINAL

O terminal é constituído pelos setores hidroviário, ferroviário e rodoviário e pelos sistemas de movimentação e armazenagem de carga.

Para dimensionamento do terminal é necessário considerar as características dos veículos que irão operar no terminal. No que diz respeito ao setor ferroviário, o comprimento da linha depende do comprimento da composição, que é função do número de vagões, e do comprimento da máquina motriz que varia de 22 à 50 m. Admite-se, neste estudo, que a composição ferroviária possui 50 vagões, cada um com capacidade de 60 toneladas, além da máquina motriz.

A linha ferroviária deverá ter 2 vezes o tamanho da composição padrão mais um vagão. Portanto, o comprimento total da linha férrea é em torno de 1.400 m, lembrando que esta é possivelmente uma das dimensões do terminal. A bitola utilizada será a larga de 1,6 m, com raio de curvatura de 150 m, distância entre vias de 4,9 m, AMV (aparelho de mudança de via) de 6 ° e inclinação da via não superior a 1°.

O subsistema rodoviário é projetado tendo em vista os dois tipos de veículo que atendem o terminal, as carretas semi-reboque e rodo-trem, com uma capacidade de carga de 35 ton e 70 ton, respectivamente. Esses veículos apresentam raio mínimo de manobra de 16 m, inclinação máxima da rampa de 6°17'; adotou-se a configuração do pátio de estacionamento em diagonal a 60° com largura de 19,8 m.

Com relação ao subsistema hidroviário as dimensões críticas para o dimensionamento deste subsistema estão associadas às características do comboio, neste estudo de caso o comboio é composto de duas chatas com capacidade de 2.200 ton, com 137m de comprimento, calado de 2,5m e boca de 11m. Considerando que o tráfego na via seja bidirecional, através de formulação apresentada por Lima [3], obtém-se uma largura mínima da área de evolução de 330 m.

Para a infraestrutura do sistema de atracação e movimentação, escolheu-se para este terminal o arranjo fixo do tipo retroporto longitudinal.

Para a escolha do equipamento de transbordo do subsistema hidroviário, levou-se em consideração o tipo de granel que será movimentado no terminal, a funcionalidade do equipamento, o valor do investimento e a flexibilidade. Dentre os tipos de equipamentos de transbordo selecionou-se o equipamento do tipo sugador (pneumático).

Para o estoque do granel de soja in natura, o sistema de armazenagem mais conveniente é o silo vertical metálico, pois ele tem menor custo de mão de obra, maior velocidade de recebimento e expedição, além de um menor custo de instalação. A célula de estocagem mais apropriada para o farelo de soja é o armazém de alvenaria.

As dimensões serão definidas em função das estimativas de estoque necessário, obtidas no estudo de otimização. Como não é viável a ampliação de armazéns de alvenaria, ele deve ser implantado em 2005 com dimensões compatíveis com as estimativas de estoque requeridas para farelo em 2015.

O PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO

Para completar o dimensionamento do terminal, recorreu-se à técnica de simulação. Para tanto foi elaborado um modelo que procura representar da forma mais fiel possível a operação de um terminal multimodal deste tipo. Os valores de determinados parâmetros foram definidos a partir de informações levantadas na bibliografia ou junto às empresas consultadas.

Resultados preliminares

Um primeiro conjunto de simulações foi efetuado para definir certos parâmetros do terminal.

a) linha de carregamento. De início, adotou-se uma única linha de carregamento na expedição, comum para os modais ferroviário e rodoviário. Verificou-se que o tempo de espera de carretas na fila era muito alto, pois se a carreta, ao chegar imediatamente após uma composição ferroviária, ela esperaria até o último vagão ser atendido. Concluiu-se, assim, que é necessário utilizar duas linhas distintas de carregamento.

O sistema ferroviário é provido de uma linha de carregamento com dimensões suficientes para a composição já definida, composta inicialmente, por duas gares e pulmão de expedição com dois módulos de 120 ton que atendem dois vagões simultaneamente.

b) sistema de armazenagem. A determinação do volume requerido para estocagem de grãos nos diversos cenários foi obtida a partir da análise dos resultados de simulações em que se empregou distintas taxas de movimentação e capacidade de estoque ilimitada.

Através das simulações constatou-se que no ano de 2005, para diferentes taxas de movimentação, as capacidades de estoque requeridas convergem para valores da ordem de 14.000 e 25.000 toneladas para farelo e grão in natura respectivamente, o que totaliza uma capacidade de estoque para este ano de aproximadamente 39.000 toneladas.

Para o ano de 2010 é requerida uma capacidade de estoque em torno de 17.000 toneladas para farelo de soja e 29.000 toneladas para grão de soja in natura, totalizando uma capacidade de estoque de 46.000 toneladas. Já para o ano de 2015 a capacidade requerida de armazenagem é de aproximadamente 20.000 toneladas para farelo de soja e de 34.000 toneladas para grão in natura o que totaliza 54.000 toneladas.

Contudo, durante o processo de simulação dos cenários estas capacidades serão alteradas, de forma a avaliar a influência desta variável no desempenho do terminal.

AValiação DAS ALTERNATIVAS

Para os anos de estudo são examinados conjuntos de alternativas que combinam diversas configurações de equipamentos de movimentação com diversas capacidades de armazenagem.

As configurações de equipamento de movimentação que proporcionam 6 taxas de movimentação distintas, assim como as configurações de armazéns que proporcionam 3 diferentes capacidades de estoque, são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Configuração das Alternativas

Equipamentos (unid. x Ton/h)		Cap. Nominal (ton/h)	Armazém (ton)	Silos (ton)	Estoque total (ton)	
2005	120	200	256	20.000	12.000	32.646
		2x200	320			
	2x120	200	352	20.000	18.000	38.923
	120	200	416			
		3x200	480	20.000	24.000	44.600
	2x120	2x200	512			
2010	2x120	200	352	20.000	18.000	38.853
	120	200	416			
		3x200	480	20.000	27.000	47.461
	2x120	2x200	512			
	120	3x200	576	20.000	36.000	56.000
		4x200	640			
2015	2x120	200	352	20.000	30.000	50.461
	120	200	416			
		3x200	480	20.000	36.000	56.000
	2x120	2x200	512			
	120	3x200	576	20.000	42.000	62.000
		4x200	640			

As diversas configurações geradas são avaliadas em termos do tempo de espera para os diversos modais. A Tabela 2 apresenta os tempos de espera obtidos através da simulação para os anos de 2005 e 2010. Nesta tabela também são mostradas as taxas de ocupação de cada subsistema. Para o ano de 2015 esses parâmetros são apresentados em uma tabela 6.

Tabela 2 – Comparação das alternativas.

Alternativa (2005)	Capacidade Armazenagem (ton)	Taxa de Movimentação efetiva ton/h	Tempo no terminal (h)			Taxa de Utilização do berço/gare/baía			Alternativa (2010)	Capacidade Armazenagem (ton)	Taxa de Movimentação efetiva ton/h	Tempo no terminal (h)			Taxa de Utilização do berço/gare/baía		
			R	F	H	R	F	H				R	F	H	R	F	H
1	32.646	256	1,78	16,17	23,24	0,79	0,79	0,91	1	38.853	352	1,14	11,46	12,37	0,69	0,72	0,79
2	32.646	320	1,24	12,20	14,25	0,64	0,65	0,73	2	38.853	416	0,92	9,81	9,57	0,59	0,62	0,67
3	32.646	352	1,09	11,22	14,53	0,58	0,60	0,66	3	38.853	480	0,80	8,73	9,37	0,51	0,55	0,58
4	32.646	416	0,91	9,77	13,41	0,49	0,52	0,56	4	38.853	512	0,73	8,24	9,28	0,48	0,52	0,54
5	32.646	480	0,78	8,64	10,69	0,43	0,47	0,48	5	38.853	576	0,65	7,49	9,40	0,43	0,47	0,48
6	32.646	512	0,73	8,19	10,43	0,40	0,43	0,45	6	38.853	640	0,60	6,94	9,61	0,38	0,43	0,43
7	38.923	256	1,78	16,17	23,56	0,79	0,79	0,92	7	47.461	352	1,15	11,42	10,42	0,69	0,72	0,80
8	38.923	320	1,24	12,21	10,87	0,64	0,65	0,73	8	47.461	416	0,93	9,81	9,74	0,59	0,62	0,67
9	38.923	352	1,07	11,26	11,06	0,58	0,60	0,66	9	47.461	480	0,81	8,69	7,80	0,51	0,55	0,58
10	38.923	416	0,92	9,80	9,06	0,49	0,52	0,56	10	47.461	512	0,73	8,24	7,75	0,48	0,52	0,54
11	38.923	480	0,78	8,66	7,42	0,43	0,47	0,49	11	47.461	576	0,65	7,53	7,80	0,43	0,47	0,48
12	38.923	512	0,74	8,19	6,58	0,40	0,43	0,45	12	47.461	640	0,60	6,94	6,42	0,38	0,44	0,43
13	44.600	256	1,78	16,11	22,54	0,79	0,79	0,92	13	56.000	352	1,15	11,43	10,74	0,69	0,72	0,79
14	44.600	320	1,21	12,23	10,60	0,64	0,65	0,73	14	56.000	416	0,91	9,81	8,48	0,59	0,62	0,67
15	44.600	352	1,08	11,26	9,57	0,58	0,61	0,66	15	56.000	480	0,80	8,71	6,97	0,51	0,55	0,58
16	44.600	416	0,92	9,78	8,07	0,49	0,52	0,56	16	56.000	512	0,75	8,25	6,87	0,48	0,52	0,54
17	44.600	480	0,78	8,65	7,17	0,43	0,47	0,48	17	56.000	576	0,66	7,53	6,65	0,43	0,47	0,48
18	44.600	512	0,74	8,20	6,53	0,40	0,44	0,45	18	56.000	640	0,60	6,95	5,42	0,38	0,44	0,43

R - carreta F - composição H - comboio

As alternativas que produzirem um tempo de espera elevado serão descartadas.

Os tempos de espera para os setores rodoviário e ferroviário estão ligados principalmente à taxa de movimentação e disponibilidade de carga, enquanto para o subsistema hidroviário ele está ligado à taxa de movimentação e, principalmente, à capacidade de estoque do terminal.

Considerando os tempos de espera obtidos, foram eliminadas as alternativas com taxa de movimentação de 256 e 320 ton/h.

Pode-se perceber na Tabela 2 que, à medida que se aumenta a taxa de movimentação para uma dada capacidade de armazenagem, diminui o tempo de espera para todos os modais.

Já o aumento da capacidade de armazenagem tem efeito apenas na redução do tempo de espera do comboio, pois no caso do subsistema hidroviário a capacidade de estoque pode limitar o transbordo de carga. De fato, se não houver espaço disponível no estoque, a descarga do comboio fica condicionada ao ingresso de composições ferroviárias ou carretas.

A partir dos estudos preliminares conduzidos separadamente para os anos 2005, 2010 e 2015, ficam definidas 18 configurações alternativas que implicam em uma implantação progressiva dos sistemas de movimentação e armazenagem de carga do terminal. A Tabela 3 apresenta uma síntese dessas alternativas.

Tabela 3 – Configuração do terminal no período de 2005 a 2015.

Alternativa (2005/2010/2015)	Configuração				
	Capacidade de Armazenagem (ton)	Tecnol. /taxa transb. (ton/h)	correia (m)	correia subter. (m)	elevador canecas (quantidade)
1	32.646/38.853/50.461	352/352/352	250	180	1
2	32.646/38.853/50.461	416/416/416	250	180	1
3	32.646/38.853/50.461	480/480/480	250	180	1
4	32.646/38.853/50.461	416/416/512	250	180	2
5	32.646/38.853/50.461	480/480/576	250	180	2
6	32.646/38.853/50.461	480/480/640	250	180	2
7	38.923/47.461/56000	352/352/352	230	160	1
8	38.923/47.461/56000	416/416/416	230	160	1
9	38.923/47.461/56000	480/480/480	230	160	1
10	38.923/47.461/56000	416/416/512	230	160	2
11	38.923/47.461/56000	480/480/576	230	160	2
12	38.923/47.461/56000	480/480/640	230	160	2
13	44.600/56.000/62000	352/352/352	290	220	1
14	44.600/56.000/62000	416/416/416	290	220	1
15	44.600/56.000/62000	480/480/480	290	220	1
16	44.600/56.000/62000	416/416/512	290	220	2
17	44.600/56.000/62000	480/480/576	290	220	2
18	44.600/56.000/62000	480/480/640	290	220	2

Para as diversas configurações são levantados também os custos para posterior aplicação do critério de valor líquido presente. A Tabela 4 apresenta os custos acumulados de implantação das diversas configurações, desde os investimentos iniciais (2005) até aqueles previstos para o ano de 2015.

Alternativa (2005/2010/2015)	Componentes de Investimento						Custos Fixos (ano)			Remun. do Capital + custo fixo total (R\$)	Custos Variáveis (ano)			custo variável anual total (R\$)
	siló (R\$)	sugador (R\$)	correia (R\$)	elevador (R\$)	instal. Geral (R\$)	Total (R\$)	Sálarios + Despesas adm. (R\$)	APP (R\$)	Manut. Instal. (R\$)		Consumo energia (R\$)	Mão de obra operac. (R\$)	Manut. Equip. (R\$)	
1	1.400.000	1.440.000	762.500	63.750	2.569.173	7.682.423	197.783	10.167	27.373	1.215.980	283.700	321.600	108.500	689.300
2	1.400.000	1.620.000	913.920	77.460	2.629.173	8.087.553	197.783	10.167	28.811	1.270.834	292.513	321.600	108.500	698.113
3	1.400.000	1.800.000	913.920	77.460	2.629.173	8.267.553	197.783	10.167	29.450	1.295.445	304.436	321.600	108.500	710.036
4	1.400.000	2.040.000	929.640	120.760	2.629.173	8.566.573	199.583	10.167	30.510	1.338.131	368.750	375.200	108.500	774.350
5	1.400.000	2.220.000	929.640	120.760	2.629.173	8.746.573	199.583	10.167	31.149	1.362.742	370.132	375.200	108.500	775.732
6	1.400.000	2.400.000	942.560	154.920	2.629.173	8.973.653	199.583	10.167	31.954	1.393.791	401.582	375.200	108.500	807.182
7	1.792.000	1.440.000	693.660	63.750	2.569.173	8.005.583	197.783	10.167	28.523	1.257.795	283.700	321.600	108.500	689.300
8	1.792.000	1.620.000	837.120	77.460	2.629.173	8.402.753	197.783	10.167	29.934	1.311.560	292.513	321.600	108.500	698.113
9	1.792.000	1.800.000	837.120	77.460	2.629.173	8.582.753	197.783	10.167	30.572	1.336.172	304.436	321.600	108.500	710.036
10	1.792.000	2.040.000	844.980	120.760	2.629.173	8.873.913	199.583	10.167	31.605	1.377.783	368.750	375.200	108.500	774.350
11	1.792.000	2.220.000	844.980	120.760	2.629.173	9.053.913	199.583	10.167	32.243	1.402.394	370.132	375.200	108.500	775.732
12	1.792.000	2.400.000	851.440	154.920	2.629.173	9.274.533	199.583	10.167	33.026	1.432.560	401.582	375.200	108.500	807.182
13	1.960.000	1.440.000	900.180	63.750	2.569.173	8.380.103	197.783	10.167	29.853	1.307.988	283.700	321.600	108.500	689.300
14	1.960.000	1.620.000	1.083.240	77.460	2.629.173	8.816.873	197.783	10.167	31.404	1.367.167	292.513	321.600	108.500	698.113
15	1.960.000	1.800.000	1.083.240	77.460	2.629.173	8.996.873	197.783	10.167	32.043	1.391.779	304.436	321.600	108.500	710.036
16	1.960.000	2.040.000	1.091.100	120.760	2.629.173	9.288.033	199.583	10.167	33.075	1.433.390	368.750	375.200	108.500	774.350
17	1.960.000	2.220.000	1.091.100	120.760	2.629.173	9.468.033	199.583	10.167	33.714	1.458.001	370.132	375.200	108.500	775.732
18	1.960.000	2.400.000	1.097.560	154.920	2.629.173	9.688.653	199.583	10.167	34.496	1.488.167	401.582	375.200	108.500	807.182

Tabela 4 – Custos de implantação e operação do terminal.

A comparação baseada no critério de valor presente líquido pode ser realizada com o auxílio da Tabela 6.

Tabela 6 – Comparação das alternativas pelo critério do Valor Presente Líquido

Alternativa (2005/2010/2015)	Capacidade Armazenagem (ton)	Taxa de Movimentação efetiva ton/h	Tempo no terminal (h)			Custo de Espera (R\$)			Valor Presente Líquido		
			R	F	H	R	F	H	Tarifa (R\$)		
									2,50	2,00	1,50
1	32.646/38.853/50.461	352/352/352	1,59	77,22	103,70	1,16	8,62	5,70	7.938.599	3.694.387	-549.825
2	32.646/38.853/50.461	416/416/416	1,06	10,54	16,88	0,77	1,18	0,93	7.471.800	3.227.588	-1.016.623
3	32.646/38.853/50.461	480/480/480	0,86	8,84	10,87	0,62	0,99	0,60	7.224.410	2.980.198	-1.264.014
4	32.646/38.853/50.461	416/416/512	0,78	8,33	9,77	0,57	0,93	0,54	7.189.037	2.944.825	-1.299.387
5	32.646/38.853/50.461	480/480/576	0,70	7,55	8,43	0,50	0,84	0,46	6.960.822	2.716.610	-1.527.602
6	32.646/38.853/50.461	480/480/640	0,65	6,98	7,79	0,47	0,78	0,43	6.836.863	2.592.651	-1.651.561
7	38.923/47.461/56000	352/352/352	1,47	77,31	100,72	1,07	8,63	5,54	7.559.401	3.315.189	-929.023
8	38.923/47.461/56000	416/416/416	1,04	10,62	16,69	0,76	1,19	0,92	7.137.748	2.893.536	-1.350.676
9	38.923/47.461/56000	480/480/480	0,87	8,88	9,13	0,63	0,99	0,50	6.847.552	2.603.340	-1.640.872
10	38.923/47.461/56000	416/416/512	0,81	8,35	7,89	0,59	0,93	0,43	6.814.489	2.570.277	-1.673.935
11	38.923/47.461/56000	480/480/576	0,70	7,58	7,62	0,51	0,85	0,42	6.586.275	2.342.063	-1.902.149
12	38.923/47.461/56000	480/480/640	0,64	6,99	5,89	0,46	0,78	0,32	6.071.172	1.826.961	-2.417.251
13	44.600/56.000/62000	352/352/352	1,47	77,31	100,72	1,07	8,63	5,54	7.143.402	2.899.190	-1.345.022
14	44.600/56.000/62000	416/416/416	1,03	10,63	16,37	0,75	1,19	0,90	6.642.323	2.398.111	-1.846.101
15	44.600/56.000/62000	480/480/480	0,87	8,87	7,99	0,63	0,99	0,44	6.394.932	2.150.720	-2.093.492
16	44.600/56.000/62000	416/416/512	0,80	8,36	7,24	0,58	0,93	0,40	6.361.869	2.117.658	-2.126.554
17	44.600/56.000/62000	480/480/576	0,71	7,59	6,41	0,51	0,85	0,35	6.133.655	1.889.443	-2.354.769
18	44.600/56.000/62000	480/480/640	0,65	7,00	5,62	0,47	0,78	0,31	6.011.595	1.767.383	-2.476.829

R - carreta F - composição H - comboio

Para definição da configuração mais adequada aos três cenários propostos (2005/2010 e 2015), empregam-se conjuntamente os critérios do valor presente líquido e o tempo máximo de permanência no terminal para cada modal, que possibilita distinguir as alternativas viáveis e as não viáveis.

Pode-se, então, considerar que todas as alternativas que atendem o critério de tempo máximo de permanência são viáveis, pois atendem aos usuários do terminal. Assim sendo, dentre as alternativas viáveis, a que apresentar maior valor presente líquido pode ser apontada como a melhor solução.

Assim, examinando a Tabela 6, verifica-se que a solução viável com maior valor presente líquido é de número 3. Pode-se verificar na Tabela 2 que esta alternativa também satisfaz o critério de tempo máximo de permanência nos anos de 2005 e 2010.

A alternativa 3 possui uma configuração inicial (2005) constituída por: - 3 equipamentos sugadores com capacidade de 200ton/hora cada, uma capacidade efetiva de 480 ton/hora, e uma capacidade de estoque de 32 646 ton. Em 2010 não há necessidade de se aumentar a capacidade de transbordo, é adicionado um silo ao sistema de armazenagem o que leva a uma capacidade de estoque de 38.853 ton. Em 2015 incorporam-se mais duas unidades de armazenagem, o que totaliza para este ano 50.461 ton.

É importante, no entanto, observar que esta configuração apresenta para 2015 tempos de permanência dos modais ferroviário e rodoviário próximos de limites máximos. Além disto as taxas de utilização das gares e do berço são altas. Nestas condições é melhor escolher uma outra configuração que, embora tenha um menor valor presente líquido, não apresente problema de congestionamento no período posterior a 2015.

Deste modo, seleciona-se a alternativa 5 cuja configuração é constituída por 3 equipamentos sugadores de 200 ton/hora e 1 de 120 ton/hora, com uma taxa efetiva de movimentação de 576 ton/hora e estoque de 50.461 ton, em 2015. A Figura 2 apresenta a alternativa selecionada em sua configuração final.

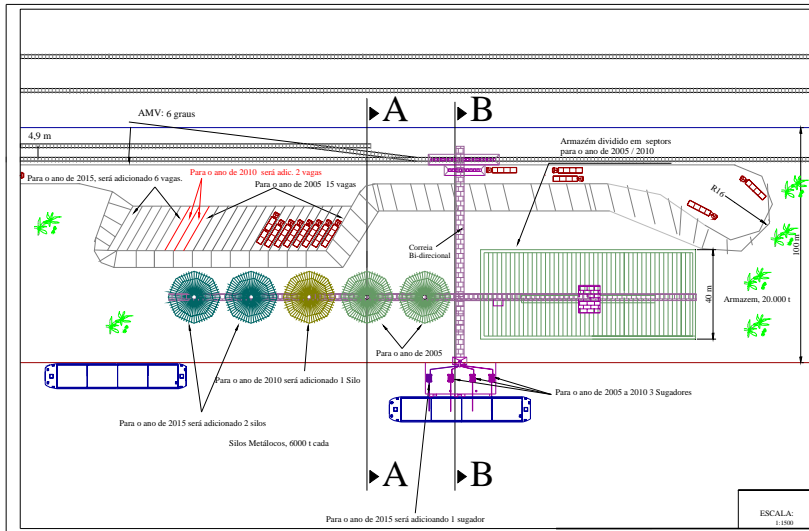


Figura - 2: Arranjo detalhado do terminal

Determinação da capacidade de pátios e área de fundeio

a) área de fundeio - os resultados de simulação mostram que, para a configuração modular escolhida (alternativa 4) a fila máxima é de 2,33 , 1,93 e 2,6 comboios, respectivamente, nos anos 2005, 2010 e 2015. Portanto a área de fundeio deve ter capacidade para 2 comboios em 2005/2010 e para 3 em 2015.

b) pátio ferroviário - os resultados de simulação indicam que, para a configuração modular escolhida, a fila máxima é de 1,66 , 1,87 e 1,13 composições, respectivamente, para os anos 2005, 2010 e 2015. Portanto, o pátio ferroviário deve ter durante o período, além da própria linha de carregamento uma outra linha concorrente.

c) pátio rodoviário - os resultados de simulação indicam que, para a configuração modular escolhida, a fila máxima atinge os valores de 2,4 , 3,6 e 2,5 carretas, respectivamente, para os anos de 2005, 2010 e 2015. Com base nestes valores o pátio rodoviário teria uma capacidade pequena.

Contudo, para este subsistema preferiu-se optar pelo procedimento adotado por Lima [3], que define a capacidade estática do pátio rodoviário pelo número de carretas que acessarão diariamente o terminal no período de maior movimentação. Nestas condições são necessárias 15, 17 e 23 baias de estacionamento para os anos de 2005, 2010 e 2015 respectivamente.

CONCLUSÕES

Foram utilizados como parâmetros básicos para geração de possíveis configurações do terminal a taxa de movimentação e a capacidade de armazenagem. Verificou-se que a capacidade de armazenagem influi de forma significativa sobre o tempo de espera do sistema hidroviário. Isto ocorre porque, quando não é possível o transbordo direto, o comboio fica aguardando para descarregar se os silos estiverem cheios. É importante ressaltar que estes resultados foram obtidos porque se admitiu que nos primeiros meses o fluxo de entrada de carga é maior que o fluxo de saída. Nestas condições, a capacidade de armazenagem tem uma menor influência sobre os outros modais.

Observou-se, por outro lado, que a taxa de movimentação influi sobre o tempo de permanência no sistema rodoviário e, principalmente, no sistema ferroviário. Isto ocorre porque, como no período examinado existem estoques relativamente grandes de carga, os veículos podem ser carregados mesmo na ausência de transbordo direto. A influência da taxa de movimentação sobre o tempo de permanência do setor hidroviário é pequena.

Pode-se perceber que os sistemas de recepção e expedição se comportam de modo inverso, ou seja, quanto maior a quantidade de estoque no terminal, menor a probabilidade de uma composição ferroviária ou uma carreta permanecer parada pela falta de carga. Por outro lado, quanto menor for o nível de estoque do armazém, menor a probabilidade do comboio ficar parado por falta de espaço no armazém.

Constatou-se que as distribuições adotadas para as chegadas dos veículos nos 3 modais, dependendo das hipóteses admitidas para os fluxos de entrada e saída de carga no terminal (maior ou menor disponibilidade de estoque num dado momento), podem ter influência relevante nos tempos de permanência de cada modal. E, em virtude da sazonalidade ou pico de movimentação, isto pode se tornar ainda mais pronunciado.

Para avaliação das alternativas foram empregados os critérios de valor presente líquido e tempo máximo de permanência dos modais no terminal. O critério de máximo valor presente líquido, que atende melhor os interesses do proprietário do terminal, tende a privilegiar as configurações com menores taxas de movimentação e capacidades de armazenagem, as quais acabam impondo maiores tempos de permanência no terminal. Foi então imposta uma limitação sobre o tempo máximo de permanência do veículo em cada modal para se chegar a melhor solução. Este critério leva a soluções com uma taxa de movimentação relativamente grande mas com pequena capacidade de armazenagem.

BIBLIOGRAFIA

1. ANDRADE, L. E. C – Um Estudo sobre Terminais Intermodais para Granéis Sólidos. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo 2003.
2. FREITAS FILHO, P. J. – Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena. Visual Books, 2001.
3. LIMA Jr., O. F. - Metodologia para Concepção e Dimensionamento de Terminais de Pequeno e Médio Porte. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica., Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
4. PEDGEN, C. D.; SHANNON, R. E. e SADOWSKI, R. P. – Introduction to Simulation Using SIMAN. Editora Mc Graw-Hill, New York, 1995.