



Universidade do Minho  
Departamento Produção e Sistemas

DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO DE SISTEMAS  
**Mestrado em Engenharia de Sistemas**  
*Otimização da Cadeia de Abastecimento*

## *Trabalho Prático*

### *O Armazém de Paletes*

Célia Figueiredo a67637  
Ana Margarida Rolim pg38332  
Ana Sofia Ferreira pg38356  
Samuel Costa pg38352  
Márcia Costa a67672

Docente: José António Vasconcelos Oliveira

Braga, 25 de Janeiro de 2019

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Contextualização do problema</b>	<b>4</b>
2.1	Armazém de paletes . . . . .	4
2.2	Dimensões da base da paleta - estrado de madeira . . . . .	6
2.3	Dados numéricos do problema real . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Fase I - Problema de Afetação</b>	<b>8</b>
3.1	Layout e decisões . . . . .	8
3.1.1	Configuração do armazém para 6 Paletes . . . . .	8
3.1.2	Configuração do armazém para todas as Paletes . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Fase II - (Variante) Problema de Afetação Generalizado (Binário)</b>	<b>10</b>
4.1	Layout do Armazém . . . . .	10
4.1.1	Formato em U . . . . .	10
4.1.2	Função Objetivo . . . . .	11
4.1.3	Restrições . . . . .	11
4.1.4	Configuração para 6 paletes . . . . .	12
4.1.5	Configuração com total de paletes . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Fase III - Problema de Afetação e Layout de Armazém</b>	<b>13</b>
5.1	Modelo . . . . .	13
5.1.1	Função Objetivo . . . . .	14
5.1.2	Restrições Primeira Parte . . . . .	14
5.1.3	Restrições Segunda Parte . . . . .	14
5.1.4	Curva de Pareto . . . . .	14
5.2	Configuração do armazém para 10 Paletes . . . . .	15
5.3	Configuração do armazém para 50 paletes . . . . .	16
<b>6</b>	<b>Conclusões</b>	<b>18</b>
<b>A</b>	<b>Fase I</b>	<b>19</b>
A.1	452 paletes e 452 alvéolos (.MOD) . . . . .	19
A.2	452 paletes e 452 alveolos (.DAT) . . . . .	19
<b>B</b>	<b>Fase II</b>	<b>37</b>
B.1	454 paletes e 452 alvéolos.MOD . . . . .	37
<b>C</b>	<b>Fase III</b>	<b>38</b>
C.1	10 paletes com 40 alvéolos (.MOD) . . . . .	38
C.2	10 paletes com 40 alvéolos (.DAT) . . . . .	39
C.3	50 paletes com 40 alvéolos (.DAT) . . . . .	40

# Lista de Figuras

2.1	Dimensões de uma paleta . . . . .	4
2.2	Dimensões de um alinhamento com 15 RACKS com 9 níveis cada . . . . .	5
2.3	Dimensões de uma RACK com 9 níveis/Alvéolos . . . . .	5
2.4	Dimensão de um nível/alvéolo . . . . .	5
2.5	Detalhe das três posições num nível/alvéolo . . . . .	5
2.6	Vista superior de um conjunto de 3 corredores com 6 alinhamentos de RACKs . . . . .	5
2.7	Dimensões Paleta Industrial . . . . .	6
2.8	Dimensões Paleta Europeia . . . . .	6
2.9	Informação sobre as paletes a armazenar . . . . .	7
3.1	Configuração do armazém com 6 racks colocadas junto ao solo . . . . .	8
3.2	Configuração do armazém com a totalidade das paletes, uma em cada nível . . . . .	9
4.1	Configuração do esquema para 6 paletes . . . . .	10
4.2	Layout do Armazém . . . . .	10
4.3	Layout do armazém com tempos . . . . .	11
4.4	Função Objetivo . . . . .	11
4.5	Restrições . . . . .	12
4.6	Armazém com 6 paletes . . . . .	12
4.7	Layout do armazém com a totalidade das paletes . . . . .	12
5.1	Desperdícios em cada alvéolo . . . . .	13
5.2	Desperdícios de altura . . . . .	13
5.3	Desperdícios de largura . . . . .	14
5.4	Função Objetivo . . . . .	14
5.5	Variável Y . . . . .	14
5.6	Tabela de dados da curva de Pareto com 10 paletes . . . . .	15
5.7	Curva de Pareto para 10 paletes . . . . .	15
5.8	Layout do armazém para 10 paletes com 40 níveis . . . . .	16
5.9	Tabela de dados da curva de Pareto com 50 paletes . . . . .	16
5.10	Curva de Pareto para 50 paletes . . . . .	17
5.11	Layout do armazém para 50 paletes com 40 níveis . . . . .	17

# 1. Introdução

Os armazéns são espaços físicos onde se depositam matérias-primas e produtos semiacabados ou acabados à espera de serem transferidos para o seguinte ciclo da cadeia de abastecimento. É neste espaço que existe a recepção da mercadoria e também é da sua responsabilidade a arrumação, conservação, realização da função *picking* e expedição das mesmas. Relativamente à noção de gestão de armazém, esta está diretamente relacionada com o processo de transferência de produtos para os clientes finais, e tem em conta aspetos como a mão-de-obra, o espaço, as condições do armazém e, fundamentalmente, um local onde se maximiza o espaço de armazenagem.

O problema descreve um armazém que se dedica à arrumação de paletes por níveis. Cada palete tem uma largura, altura, profundidade e taxa de utilização específica. Este problema de afetação irá ser resolvido em três fases distintas. Para cada fase, o armazém irá ter diferentes layouts, no entanto, é sempre capaz de armazenar a totalidade das paletes.

Na primeira fase, pretende-se que seja minimizado o espaço de armazenamento, do armazém que guarda as paletes. Para tal, considera-se que cada palete é armazenada num nível e que, cada nível, apenas armazena uma palete, sendo desprezada a altura. Começa-se por fazer o layout do armazém apenas para seis paletes, com o objetivo de testar o modelo criado. Depois de verificar que o modelo funciona, fez-se o layout do armazém para a totalidade das paletes.

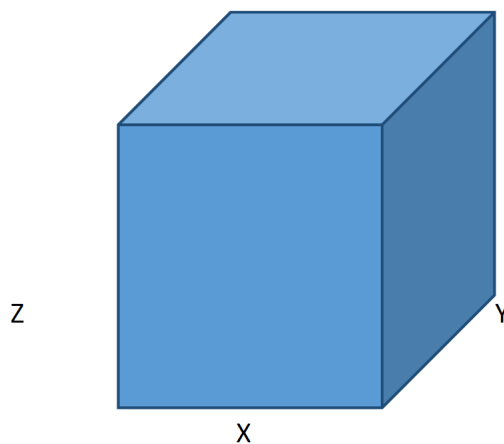
Na segunda fase do trabalho, não existe restrição de singularidade de paletes em cada nível. Deste modo, é possível alocar várias paletes no mesmo alvéolo, desde que cumpram a restrição de largura e altura de cada rack. Pretende-se minimizar o custo de movimentação do empilhador, no armazém e, para tal, são considerados a taxa de utilização de cada palete e o tempo que o empilhador demora a alcançar cada alvéolo de cada rack.

Por fim, a última fase consiste em considerar tanto o custo de movimentação do empilhador, como o desperdício de espaço, quer em altura, quer em largura, de forma a construir o melhor layout para o armazém.

## 2. Contextualização do problema

### 2.1 Armazém de paletes

Foi considerado um armazém dedicado ao armazenamento de paletes. Uma paleta é definida por um conjunto de características: largura  $X$ , profundidade  $Y$ , altura  $Z$  e utilização anual  $W$ . A figura 2.1 ilustra a forma típica de uma paleta a considerar neste projeto.



**Figura 2.1:** Dimensões de uma paleta

A paleta (o seu conteúdo) é colocada numa posição de um nível (ou alvéolo) de uma RACK que tem uma dada largura  $L$ , profundidade  $Y$  (simples - idêntica à das paletes), e uma altura  $A$  (configurável na Fase II e na Fase III).

Restrições:

- $3X \leq L$  (no caso de paleta industrial)
- $4X \leq L$  (no caso de europaleta)
- $Z \leq A$

Ao longo deste projeto, considerou-se que o armazém tem diferentes configurações, resultando em diferentes problemas de otimização, mas sempre com capacidade suficiente para armazenar a totalidade de paletes existentes em cada situação. Serão estudadas diferentes dimensões para o número de paletes: 6, 10, 50 e 452 paletes.

A Unidade de Medida (UM) a considerar no projeto é o “metro linear” que se mede em função da medida  $X$  das paletes que é necessário armazenar, e da medida  $A$  (altura) dos níveis das RACKS.

Alinhamento_1	RACK_1	RACK_2	RACK_3	RACK_4	RACK_5	RACK_6	RACK_7	RACK_8	RACK_9	RACK_10	RACK_11	RACK_12	RACK_13	RACK_14	RACK_15	85
25																
18																
15																
12																
9																
6																
4																
2																
1																
PORTA	1	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	61

**Figura 2.2:** Dimensões de um alinhamento com 15 RACKS com 9 níveis cada

RACK_9
33

**Figura 2.3:** Dimensões de uma RACK com 9 níveis/Alvéolos

Nível / alveolo

**Figura 2.4:** Dimensão de um nível/alvéolo

POSIÇÃO

**Figura 2.5:** Detalhe das três posições num nível/alvéolo

Alinhamento_1	RACK_1	RACK_2	RACK_3	RACK_4	RACK_5	RACK_6	RACK_7	RACK_8	RACK_9	RACK_10	RACK_11	RACK_12	RACK_13	RACK_14	RACK_15
PORTA	1														
Alinhamento_2	RACK_30	RACK_29	RACK_28	RACK_27	RACK_26	RACK_25	RACK_24	RACK_23	RACK_22	RACK_21	RACK_20	RACK_19	RACK_18	RACK_17	RACK_16
Alinhamento_3	RACK_31	RACK_32	RACK_33	RACK_34	RACK_35	RACK_36	RACK_37	RACK_38	RACK_39	RACK_40	RACK_41	RACK_42	RACK_43	RACK_44	RACK_45
4															
Alinhamento_4	RACK_60	RACK_59	RACK_58	RACK_57	RACK_56	RACK_55	RACK_54	RACK_53	RACK_52	RACK_51	RACK_50	RACK_49	RACK_48	RACK_47	RACK_46
Alinhamento_5	RACK_61	RACK_62	RACK_63	RACK_64	RACK_65	RACK_66	RACK_67	RACK_68	RACK_69	RACK_70	RACK_71	RACK_72	RACK_73	RACK_74	RACK_75
8															
Alinhamento_6	RACK_90	RACK_89	RACK_88	RACK_87	RACK_86	RACK_85	RACK_84	RACK_83	RACK_82	RACK_81	RACK_80	RACK_79	RACK_78	RACK_77	RACK_76

**Figura 2.6:** Vista superior de um conjunto de 3 corredores com 6 alinhamentos de RACKs

## 2.2 Dimensões da base da paleta - estrado de madeira

Em termos de estrado/base de madeira para constituição de uma paleta com os produtos do cliente há várias medidas disponíveis. Neste projeto iremos considerar dois tipos de paletes que diferem essencialmente na medida X (largura da paleta): paleta industrial (ou americana) e paleta europeia (ou europaleta).

As medidas a considerar neste projeto são as seguintes:

	<u>Paleta Industrial (ou americana)</u>
	Dimensões exteriores largura: 1000 mm
	Dimensões exteriores largura: 1200 mm
	Dimensões exteriores altura: 144 mm
	Capacidade de carga dinâmica: 1000 kg

**Figura 2.7:** Dimensões Paleta Industrial

	<u>Paleta Europeia (ou Europaleta)</u>
	Dimensões exteriores largura: 800 mm
	Dimensões exteriores largura: 1200 mm
	Dimensões exteriores altura: 144 mm
	Capacidade de carga dinâmica: 1500 kg

**Figura 2.8:** Dimensões Paleta Europeia

As imagens e a informação foram recolhidas do site: <http://www.rotom.pt/>

## 2.3 Dados numéricos do problema real

Na imagem seguinte consta informação sobre a quantidade de paletes que é necessário “arrumar” no armazém, pelo que deverão ser criados as posições e as devidas alturas dos níveis necessários e correspondentes RACKs.

Tipo	Altura	Qt		Tipo	Altura	Qt
1	14	54		1	14	2
2	20	76		2	20	4
3	22	2		3	30	4
4	23	2		4	40	3
5	27	6		5	42	2
6	28	6		6	60	8
7	30	11		7	90	24
8	40	51				47
9	42	1				
10	60	174				
11	64	1				
12	64,2	1				
13	80	16				
14	90	17				
15	96	2				
16	100	2				
		422				

Tipo	Altura	Qt		Tipo	Altura	Qt
1	14	54		1	14	2
2	20	76		2	20	4
3	22	2		3	30	4
4	23	2		4	40	3
5	27	6		5	42	2
6	28	6		6	60	8
7	30	11		7	90	24
8	40	51				47
9	42	1				
10	60	174				
11	64	1				
12	64,2	1				
13	80	16				
14	90	17				
15	96	2				
16	100	2				
		422				

**Figura 2.9:** Informação sobre as paletes a armazenar



## 3. Fase I - Problema de Afetação

### 3.1 Layout e decisões

De acordo com o problema exposto no enunciado do projeto, é proposto o armazenamento de quatrocentas e cinquenta e duas paletes. Destas, quatrocentas e três são paletes industriais e as restantes europaletes.

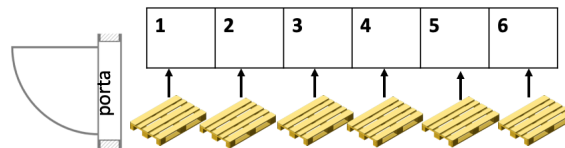
Numa fase inicial, pressupõe-se que cada paleta é colocada num nível.

O objetivo cinge-se em minimizar a distância percorrida pelos operadores dentro do armazém, tendo em consideração a taxa de utilização de cada paleta e o fluxo quebrado.

Tendo em conta os requisitos explícitos acima, o armazém é composto por duas partes, separadas por um corredor, e localizadas à mesma distância da porta. Estas são constituídas por cinquenta e seis e cinquenta e sete racks, respetivamente, ambas com quatro andares.

#### 3.1.1 Configuração do armazém para 6 Paletes

Para a primeira configuração do armazém, são consideradas, para armazenamento, apenas seis paletes, sendo que cada uma é colocada num nível. Assume-se, para esta configuração, que a altura das paletes é desprezável e que todas as paletes são colocadas no mesmo andar.



**Figura 3.1:** Configuração do armazém com 6 racks colocadas junto ao solo

#### Implementação de um modelo AMPL

São assim definidos quatro parâmetros. O primeiro para o número de paletes, o segundo para o número de níveis, o terceiro (PALETES) para a matriz que caracteriza a paleta quanto à referência, à largura, à altura e à taxa de utilização e o último, (NIVEIS), que define cada alvéolo de acordo com a distância, a largura e a altura.

A variável de decisão define o lugar em que cada paleta é colocada no armazém.

A função objetivo minimiza a distância percorrida pelos funcionários dentro do armazém, tendo em consideração a taxa de utilização de cada paleta e assumindo que as seis paletes são colocadas horizontalmente.

#### 3.1.2 Configuração do armazém para todas as Paletes

De acordo com a função objetivo e variáveis de decisão já explicadas, o layout do armazém para todas as paletes é apresentado na Figura 3.2

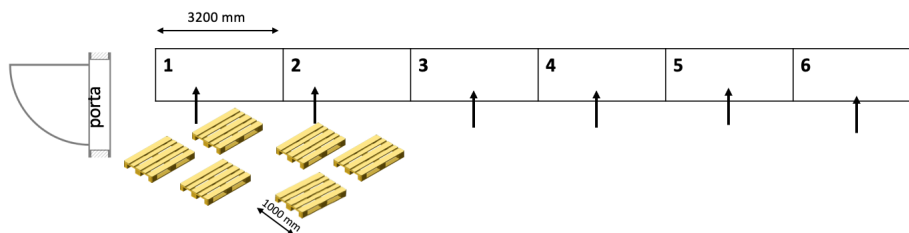
	59	81	75	88	97	104	114	116	127	133	145	155	161	168	175	178	186	196	201	211	218	226	237	240	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
	24	95	96	48	60	37	48	92	82	83	95	102	109	117	127	132	141	151	157	166	164	173	179	190	195	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947		

## 4. Fase II - (Variante) Problema de Afetação Generalizado (Binário)

Pretende-se estudar o armazenamento das paletes, considerando que é possível colocar em cada nível (alvéolo) de cada rack, mais do que uma paleta, respeitando a largura disponível (L) deste.

A largura (L) de cada rack é fixa e igual a 3200 mm, e que permite a armazenagem de quatro europaletes (800x1200). Com esta dimensão só é possível armazenar três paletes industriais de dimensões 1000x1200.

A figura que se segue evidencia que em cada nível se pode colocar mais que uma paleta, onde o somatório das larguras dessas paletes não excedem a largura total do nível.



**Figura 4.1:** Configuração do esquema para 6 paletes

### 4.1 Layout do Armazém

#### 4.1.1 Formato em U

Considera-se que o armazém tem o layout indicado na figura 4.2, que ilustra o layout anteriormente definido com apenas um corredor composto por duas partes, localizadas à mesma distância da porta. Foram devidamente identificados os alvéolos que constituem cada rack. Cada alvéolo tem um número sequencial que o identifica.

	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181		217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227				
	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124		160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170				
	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67		103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56				
PORTA												CORREDOR											57	114	171	228
	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238		274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284				
	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294		330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340				
	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350		386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396				
	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	...	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452				

**Figura 4.2:** Layout do Armazém

No total foram consideradas cinquenta e seis racks de cada lado e uma última na extremidade do armazém, todas com quatro andares, tal como o demonstrado na figura 4.2.

Considerando que o layout do armazém é em formato de U e, com apenas um corredor, foi considerado mais fácil e rápido percorrer o armazém na horizontal, isto é, com o empilhador ao mesmo nível, quando comparado com a subida dos garfos do mesmo. A figura 4.3 ilustra o tempo que o empilhador demora a percorrer o armazém, em segundos, considerando tanto o tempo na horizontal como o tempo que demora a levantar os garfos (tempo na vertical).

Tendo em consideração que um empilhador anda na horizontal a 10 quilómetros por hora, ou seja, 10000metros em 60 minutos. Significa, de igual modo, que anda a 10000metros em 3600segundos. Então, sabendo que cada largura (L) de cada rack é fixa e igual a 3200 milímetros,desta forma, consegue-se alocar quatro europaletes sem qualquer desperdício e três paletes industriais com um desperdício de 0,2 metros. Se por um lado, o empilhador percorre 10000 metros em 3600 segundos, então significa que percorre 1,6 metros em 0,58 segundos e 3,2 metros em 1,15 segundos, aproximadamente.

Foi ainda pensado que, o empilhador, ao pousar, fica colocado exatamente a meio de um alvéolo. Logo, se um alvéolo mede 3,2 metros (em largura), então demora 0,58 segundos a percorrer a distância da porta ao centro do primeiro alvéolo, e , por sua vez, é esperado que para chegar ao segundo alvéolo (analisando na horizontal), o tempo em segundos será calculado adicionando aos 0,58 segundos o valor de 1,15 segundos, e assim sucessivamente. A subida do empilhador, como já mencionado, é mais demorada. Assim, subir do primeiro para o segundo nível demora mais 3 segundos, para o nível imediatamente a seguir, mais 5 segundos e para o último nível mais 7 segundos que no primeiro. Segue-se de seguida a ilustração do layout do armazém com os tempos devidamente identificados para cada nível.

	15,58	16,73	17,88	19,03	20,18	21,33	22,48	23,63	24,78	25,93		68,48	69,63	70,78	71,93	73,08	74,23	75,38	76,53	77,68	78,83						
	8,58	9,73	10,88	12,03	13,18	14,33	15,48	16,63	17,78	18,93		61,48	62,63	63,78	64,93	66,08	67,23	68,38	69,53	70,68	71,83						
	3,58	4,73	5,88	7,03	8,18	9,33	10,48	11,63	12,78	13,93		56,48	57,63	58,78	59,93	61,08	62,23	63,38	64,53	65,68	66,83						
	0,58	1,73	2,88	4,03	5,18	6,33	7,48	8,63	9,78	10,93	...	53,48	54,63	55,78	56,93	58,08	59,23	60,38	61,53	62,68	63,83						
PORTA											CORREDOR												64,98	67,98	72,98	79,98	
	0,58	1,73	2,88	4,03	5,18	6,33	7,48	8,63	9,78	10,93		53,48	54,63	55,78	56,93	58,08	59,23	60,38	61,53	62,68	63,83						
	3,58	4,73	5,88	7,03	8,18	9,33	10,48	11,63	12,78	13,93		56,48	57,63	58,78	59,93	61,08	62,23	63,38	64,53	65,68	66,83						
	8,58	9,73	10,88	12,03	13,18	14,33	15,48	16,63	17,78	18,93		61,48	62,63	63,78	64,93	66,08	67,23	68,38	69,53	70,68	71,83						
	15,58	16,73	17,88	19,03	20,18	21,33	22,48	23,63	24,78	25,93	...	68,48	69,63	70,78	71,93	73,08	74,23	75,38	76,53	77,68	78,83						

Figura 4.3: Layout do armazém com tempos

## 4.1.2 Função Objetivo

De forma a minimizar o custo de movimentação do empilhador, no armazém, é considerada a taxa de utilização de cada paleta (PALETES[i,4]) e o tempo que o empilhador demora a alcançar cada alvéolo de cada rack (NIVES[j,1]).

Assim, a função objetivo é apresentada na figura 4.4

```
#funcao que minimiza as distancias--- fase 2 -> minimizar tempo
minimize CustoMovimentacao: sum{i in v1, j in v2} ((NIVES[j,1]) * x[i,j]) * (PALETES[i,4]);
```

Figura 4.4: Função Objetivo

## 4.1.3 Restrições

Para calcular o custo de movimentação pretendido, é necessário garantir que todas as paletes têm que ser guardadas e que, em cada alvéolo podem ser colocadas mais que uma paleta.

Deste modo, as restrições do modelo são apresentadas na figura 4.5.

```
# Restricoes
s.t. ArmzPal {i in vl} : sum {j in v2} x[i,j] = 1;
s.t. OcupNiv {j in v2} : sum {i in vl} PALETES[i,3]*x[i,j] <= NIVEIS[j,2];
```

### Figura 4.5: Restrições

#### 4.1.4 Configuração para 6 paletes

Com finalidade em testar o modelo acima enunciado, foi feito um teste inicial para a alocação das seis paletes, tal como descrito na Fase I do projeto.

As primeiras três paletes são paletes industriais e, as restantes, europaletes. A taxa de utilização das seis paletes é 176, 176, 167, 31, 31 e 29, respetivamente.

Caso fosse apenas para colocar as seis paletes no armazém, as três europaletes ficariam no primeiro alvéolo e as três paletes industriais no segundo, dispostas horizontalmente. O custo de movimentação obtido, com este layout, foi de 458,45 segundos, o que reflete o tempo total que o empilhador demoraria a alocar as seis paletes.

172	173	174	175	176	178	179	180	181	182	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227						
115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	154	155	156	157	158	160	161	162	163	164	165	166	168	169	170								
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113							
1, 2, 3	4, 5, 6	3	4	5	6	7	8	9	10	11	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56					
PORTA																																
229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284		57	171	172	228
285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340					
341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398					
397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452					

**Figura 4.6:** Armazém com 6 paletes

Desta forma, confirma-se que, tanto a função objetivo como as restrições respondem corretamente ao pretendido. A Figura 4.6 ilustra o layout do armazém, caso fosse apenas necessário alocar seis paletes.

#### 4.1.5 Configuração com total de paletes

Depois de testar o modelo para apenas 6 paletes e de perceber que este funciona, foi necessário testar o modelo para a totalidade das paletes. Para tal, utilizou-se o servidor NEOS Server, de forma a encontrar uma solução para o problema de afetação.

O layout do armazém para as 452 paletes é o exposto na figura 4.7. Como em cada alvéolo podem ser alocadas várias paletes, desde que não ultrapassem o valor da largura do nível, o armazém não vai ser ocupado na sua totalidade. De realçar que existem 13 paletes, da 391 à 403, com taxa de utilização zero. Desta forma, estas são alocadas de forma aleatória no final do armazém, pois como não serão utilizadas, o lugar onde são armazenadas não é relevante.

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061	2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069	2070	2071	2072	2073	2074	2075	2076	2077	2078	2079	2080	2081	2082	2083	2084	2085	2086	2087	2088	2089	2090	2091	2092	2093	2094	2095	2096	2097	2098	2099	2100	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110	2111	2112	2113	2114	2115	2116	2117	2118	2119	2120	2121	2122	2123	2124	2125	2126	2127	2128	2129	2130	2131	2132	2133	2134	2135	2136	2137	2138	2139	2140	2141	2142	2143	2144	2145	2146	2147	2148	2149	2150	2151	2152	2153	2154	2155	2156	2157	2158	2159	2160	2161	2162	2163	2164	2165	2166	2167	2168	2169	2170	2171	2172	2173	2174	2175	2176	2177	2178	2179	2180	2181	2182	2183	2184	2185	2186	2187	2188	2189	2190	2191	2192	2193	2194	2195	2196	2197	2198	2199	2200	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210	2211	2212	2213	2214	2215	2216	2217	2218	2219	2220	2221	2222	2223	2224	2225	2226	2227	2228	2229	2230	2231	2232	2233	2234	2235	2236	2237	2238	2239	2240	2241	2242	2243	2244	2245	2246	2247	2248	2249	2250	2251	2252	2253	2254	2255	2256	2257	2258	2259	2260	2261	2262	2263	2264	2265	2266	2267	2268	2269	2270	2271	2272	2273	2274	2275	2276	2277	2278	2279	2280	2281	2282	2283	2284	2285	2286	2287	2288	2289	2290	2291	2292	2293	2294	2295	2296	2297	2298	2299	2300	2301	2302	2303	2304	2305	2306	2307	2308	2309	2310	2311	2312	2313	2314	2315	2316	2317	2318	2319	2320	2321	2322	2323	2324	2325	2326	2327	2328	2329	2330	2331	2332	2333	2334	2335	2336	2337	2338	2339	2340	2341	2342	2343	2344	2345	2346	2347	2348	2349	2350	2351	2352	2353	2354	2355	2356	2357	2358	2359	2360	2361	2362	2363	2364	2365	2366	2367	2368	2369	2370	2371	2372	2373	2374	2375	2376	2377	2378	2379	2380	2381	2382	2383	2384	2385	2386	2387	2388	2389	2390	2391	2392	2393	2394	2395	2396	2397	2398	2399	2400	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408	2409	2410	2411	2412	2413	2414	2415	2416	2417	2418	2419	2420	2421	2422	2423	2424	2425	2426	2427	2428	2429	2430	2431	2432	2433	2434	2435	2436	2437	2438	2439	2440	2441	2442	2443	2444	2445	2446	2447	2448	2449	2450	2451	2452	2453	2454	2455	2456	2457	2458	2459	2460	2461	2462	2463	2464	2465	2466	2467	2468	2469	2470	2471	2472	2473	2474	2475	2476	2477	2478	2479	2480	2481	2482	2483	2484	2485	2486	2487	2488	2489	2490	2491	2492	2493	2494	2495	2496	2497	2498	2499	2500	2501	2502	2503	2504	2505	2506	2507	2508	2509	2510	2511	2512	2513	2514	2515	2516	2517	2518	2519	2520	2521	2522	2523	2524	2525	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578	2579	2580	2581	2582	2583	2584	2585	2586	2587	2588	2589	2590	2591	2592	2593	2594	2595	2596	2597	2598	2599	2600	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608	2609	2610	2611	2612	2613	2614	2615	2616	2617	2618	2619	2620	2621	2622	2623	2624	2625	2626	2627	2628	2629	2630	2631	2632	2633	2634	2635	2636	2637	2638	2639	2640	2641	2642	2643	2644	2645	2646	2647	2648	2649	2650	2651	2652	2653	2654	2655	2656	2657	2658	2659	2660	2661	2662	2663	2664	2665	2666	2667	2668	2669	2670	2671	2672	2673	2674	2675	2676	2677	2678	2679	2680	2681	2682	2683	2684	2685	2686	2687	2688	2689	2690	2691	2692	2693	2694	2695	2696	2697	2698	2699	2700	2701	2702	2703	2704	2705	2706	2707	2708	2709	2710	2711	2712	2713	2714	2715	2716	2717	2718	2719	2720	2721	2722	2723	2724	2725	2726	2727	2728	2729	2730	2731	2732	2733	2734	2735	2736	2737	2738	2739	2740	2741	2742	2743	2744	2745	2746	2747	2748	2749	2750	2751	2752	2753	2754	2755	2756	2757	2758	2759	2760	2761	2762	2763	2764	2765	2766	2767	2768	2769	2770	2771	2772	2773	2774	2775	2776	2777	2778	2779	2780	2781	2782	2783	2784	2785	2786	2787	2788	2789	2790	2791	2792	2793	2794	2795	2796	2797	2798	2799	2800	2801	2802	2803	2804	2805	2806	2807	2808	2809	2810	2811	2812	2813	2814	2815	2816	2817	2818	2819	2820	2821	2822	2823	2824	2825	2826	2827	2828	2829	2830	2831	2832	2833	2834	2835	2836	2837	2838	2839	2840	2841	2842	2843	2844	2845	2846	2847	2848	2849	2850	2851	2852	2853	2854	2855	2856	2857	2858	2859	2860	2861	2862	2863	2864	2865	2866	2867	2868	2869	2870	2871	2872	2873	2874	2875	2876	2877	2878	2879	2880	2881	2882	2883	2884	2885	2886	2887	2888	2889	2890	2891	2892	2893	2894	2895	2896	2897	2898	2899	2900	2901	2902	2903	2904	2905	2906	2907	2908	2909	2910	2911	2912	2913	2914	2915	2916	2917	2918	2919	2920	2921	2922	2923	2924	2925	2926	2927	2928	2929	2930	2931	2932	2933	2934	2935	2936	2937	2938	2939	2940	2941	2942	2943	2944	2945	2946	2947	2948	2949	2950	2951	2952	2953	2954	2955	2956	2957	2958	2959	2960	2961	2962	2963	2964	2965	2966	2967	2968	2969	2970	2971	2972	2973	2974	2975	2976	2977	2978	2979	2980	2981	2982	2983	2984	2985	2986	2987	2988	2989	2990	2991	2992	2993	2994	2995	2996	2997	2998	2999	3000	3001	3002	3003	3004	3005	3006	3007	3008	3009	3010	3011	3012	3013	3014	3015	3016	3017	3018	3019	3020	3021	3022	3023	3024	3025	3026	3027	3028	3029	3030	3031	3032	3033	3034	3035	3036	3037	3038	3039	3040	3041	3042	3043	3044	3045	3046	3047	3048	3049	3050	3051	3052	3053	3054	3055	3056	3057	3058	3059	3060	3061	3062	3063	3064	3065	3066	3067	3068	3069	3070	3071	3072	3073	3074	3075	3076	3077	3078	3079	3080	3081	3082	3083	3084	3085	3086	3087	3088	3089	3090	3091	3092	3093	3094	3095	3096	3097	3098	3099	3100	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	3110	3111	3112	3113	3114	3115	3116	3117	3118	3119	3120	3121	3122	3123	3124	3125	3126	3127	3128	3129	3130	3131	3132	3133	3134	3135	3136	3137	3138	3139	3140	3141	3142	3143	3144	3145	3146	3147	3148	3149	3150	3151	3152	3153	3154	3155	3156	3157	3158	3159	3160	3161	3162	3163	3164	3165	3166	3167	3168	3169	3170	3171	3172	3173	3174	3175	3176	3177	3178	3179	3180	3181	3182	3183	3184	3185	3186	3187	3188	3189	3190	3191	3192	3193	3194	3195	3196	3197	3198	3199	3200	3201	3202	3203	3204	3205	3206	3207	3208	3209	3210	3211	3212	3213	3214	3215	3216	3217	3218	3219	3220	3221	3222	3223	3224	3225	3226	3227	3228	3229	3230	3231	3232	3233	3234	3235	3236	3237	3238	3239	3240	3241	3242	3243	3244	3245	3246	3247	3248	3249	3250	3251	3252	3253	3254	3255	3256	3257	3258	3259	3260	3261	3262	3263	3264	3265	3266	3267	3268	3269	3270	3271	3272	3273	3274	3275	3276	3277	3278	3279	3280	3281	3282	3283	3284	3285	3286	3287	3288	3289	3290	3291	3292	3293	3294	3295	3296	3297	3298	3299	3300	3301	3302	3303	3304	3305	3306	3307	3308	3309	3310	3311	3312	3313	3314	3315	3316	3317	3318	3319	3320	3321	3322	3323	3324	3325	3326	3327	3328	3329	3330	3331	3332	3333	3334	3335	3336	3337	3338	3339	3340	3341	3342	3343	3344	3345	3346	3347	3348	3349	3350	3351	3352	3353	3354	3355
--	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

**Figura 4.7:** Layout do armazém com a totalidade das paletes

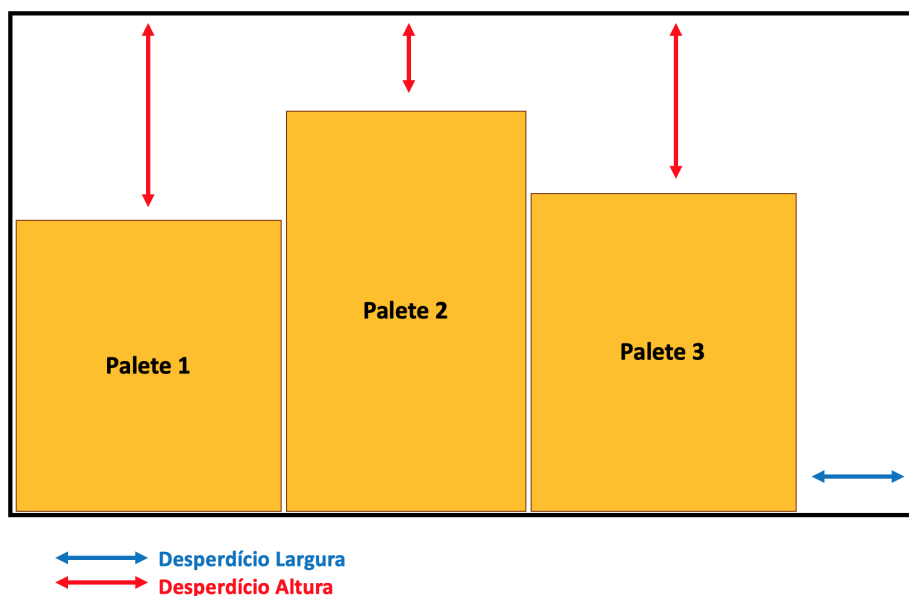
Para este layout, o custo de movimentação obtido foi de 155786,21 segundos, ou seja, para alocar as 452 paletes nos respectivos níveis são necessários 2597 minutos (aproximadamente 42 horas).

## 5. Fase III - Problema de Afetação e Layout de Armazém

Na Fase III do presente projeto foi considerado, para a alocação das paletes no armazém, não só o custo da movimentação do empilhador, como também o desperdício de espaço, em altura e largura, que cada paleta apresenta, relativamente à altura e largura do alvéolo. Esta terceira fase foi composta por duas partes. Na primeira, testou-se o modelo apenas considerando o custo de movimentação do armazém, tal como na Fase II. Na seguinte, foi minimizado o desperdício de altura respeitando, também, o custo de movimentação do armazém.

### 5.1 Modelo

Partindo do modelo criado para a Fase II, isto é, o modelo cujo objetivo reside em minimizar os custos de movimentação, é pretendido minimizar o desperdício total, de acordo com a Figura 5.1.



**Figura 5.1:** Desperdícios em cada alvéolo

Desta forma, é necessário calcular o desperdício de cada paleta, considerando que a altura de cada alvéolo é a altura da maior paleta que ficará neste. Assim, o cálculo do desperdício de altura de cada paleta é calculado através da fórmula expressa na Figura 5.2.

```
s.t. desperdAlt {i in v1, j in v2} : x[i,j] = 1 ==> D[i] = H[j] - PALETES[i,2];
```

**Figura 5.2:** Desperdícios de altura

O desperdício de largura é calculado considerando a largura fixa de cada alvéolo de 3200 milímetros. Nesta restrição utilizou-se o valor 3000 pois considerou-se que 200 milímetros seriam necessários para a estrutura da rack. Esse cálculo está apresentado na Figura 5.3.

```
s.t. desperdLarg {j in v2} : 0[j] = 1 ==> L[j] >= (3000 - sum{i in v1} PALETES[i,3]*x[i,j]);
```

**Figura 5.3:** Desperdícios de largura

### 5.1.1 Função Objetivo

Desta forma, a função objetivo é calculada considerando o desperdício de altura e largura de cada paleta, em cada alvéolo, demonstrada na Figura 5.4.

```
minimize desperdicio: sum{i in v1} D[i] + sum{j in v2} L[j];
```

**Figura 5.4:** Função Objetivo

### 5.1.2 Restrições Primeira Parte

Como já mencionado, primeiramente é feito o cálculo considerando apenas o custo de movimentação, do empilhador, no armazém.

Assim, a primeira restrição do modelo, implica que, à semelhança das restrições impostas nos modelos da Fase I e da Fase II, todas as paletes têm de ser alocadas no armazém. A restrição seguinte garante que, cada alvéolo pode conter mais que uma paleta, tal como na Fase II.

Assim, o layout do armazém é o mesmo do da Fase II, cujo layout é do da Figura 4.7.

### 5.1.3 Restrições Segunda Parte

Para além de todas as paletes terem de ser alocadas no armazém, de cada alvéolo poder conter mais que uma paleta, adicionalmente, considera-se o cálculo do desperdício de altura e largura, já mencionados e expostos nas Figuras 5.2 e 5.3, respetivamente. É adicionada uma restrição que, por meio da variável auxiliar (y), contabiliza os custos de movimentação do empilhador no armazém. Assim, a variável auxiliar assume o valor da função objetivo da Fase II, tal como mencionado na Figura 5.5.

```
s.t. custoMovAux: y = sum{i in v1, j in v2} (PALETES[i,4] * (NIVEIS[j,1]) * x[i,j]);
```

**Figura 5.5:** Variável Y

### 5.1.4 Curva de Pareto

Os resultados do modelo com o layout apenas a considerar os custos de movimentação, correspondem ao esperado, uma vez que o valor da função objetivo é 710,48 segundos e o desperdício de altura e largura não é considerado. Relativamente ao modelo onde foram considerados os custos de movimentação como restrição, o desperdício de altura e largura de cada paleta é, no total, 1240 milímetros e os custos de movimentação são de 12341,45 segundos.

Assim, é esperado que o melhor layout do armazém seja um modelo em que o custo de movimentação e o desperdício se encontrem em equilíbrio, isto é, nenhum destes tenha um valor muito elevado em relação ao outro. Em seguimento, são elaborados vários ensaios onde a variável y, que contabiliza o custo de movimentação, é restringida. Os valores variam entre o custo de movimentação, quando este é minimizado pela função objetivo e entre o valor obtido quando este é uma restrição da função objetivo que minimiza desperdício. A curva de Pareto representa esta variação de acordo com o respetivo desperdício.

## 5.2 Configuração do armazém para 10 Paletes

Devido à complexidade do problema, o Neos Server não conseguiu devolver uma solução ótima no tempo estipulado. Assim, foi elaborado um teste inicial para as 10 paletes, sendo que as primeiras cinco são paletes industriais e as restantes europaletes. Posteriormente, foi elaborado um segundo teste para as primeiras 50 paletes que apresentam taxas de utilização mais elevadas. Nos dois testes, o número de alvéolos é diminuído para 40 a fim de reduzir o tempo de processamento do otimizador.

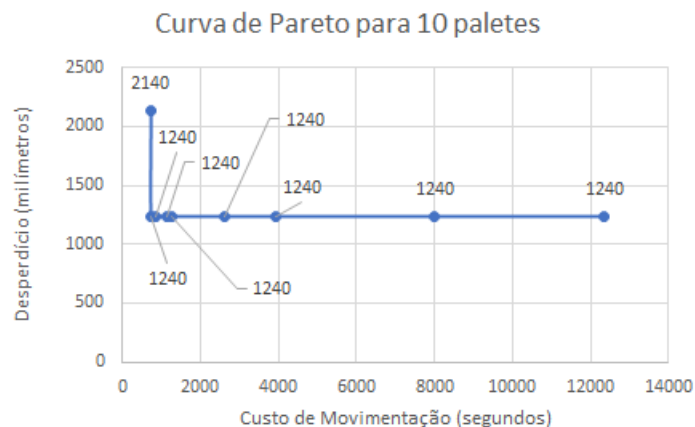
	Custos	Desperdício
Inicial	12341,45	1240
$y \leq 8000$	7994,73	1240
$y \leq 5000$	3934,18	1240
$y \leq 3000$	2608,28	1240
$y \leq 2000$	1267,08	1240
$y \leq 1500$	1126,78	1240
$y \leq 1000$	850,78	1240
$y \leq 750$	712,78	1240
$y \leq 711$	710,48	2140

**Figura 5.6:** Tabela de dados da curva de Pareto com 10 paletes

Relativamente ao teste inicial, onde apenas é considerado o custo de movimentação, o valor desse mesmo custo é de 710,48 segundos. De acordo com o já explicado, este será o limite inferior desse custo.

Deste modo, a função objetivo devolveu o valor de desperdício total de 1240 milímetros, considerando que o custo de movimentação é de 12341,45 segundos. Em seguimento, de acordo com o modelo onde a função objetivo que minimiza o desperdício de largura e altura, foram elaboradas oito iterações onde o valor do custo de movimentação (variável  $y$ ), foi restringido, com vista a elaborar a curva de Pareto e encontrar o modelo onde o desperdício e o custo de movimentação estão em equilíbrio.

Para um custo de movimentação inferior a 711 segundos, este assumiu um valor de 710,48 segundos e um desperdício de 2140 milímetros. Os valores presentes na tabela geram a curva de Pareto evidenciada na Figura 5.7



**Figura 5.7:** Curva de Pareto para 10 paletes

De acordo com o objetivo do armazenamento das paletes na Fase III, o custo de movimentação que minimiza o valor do desperdício de 1240 milímetros, é de 712,78 segundos.

### Layout do Armazém para as 10 paletes

O layout do armazém para as 10 paletes com 40 alvéolos, de acordo com o modelo explicado até ao momento, encontra-se na Figura 5.8.



	16	17	18	19	20
	11	12	13	14	15
	6	7	8	9	10
	3,4,5	6,7,8,10	3	4	5
PORTA					
	1,2,9	21	22	23	24
	26	27	28	29	30
	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40

**Figura 5.8:** Layout do armazém para 10 paletes com 40 níveis

### 5.3 Configuração do armazém para 50 paletes

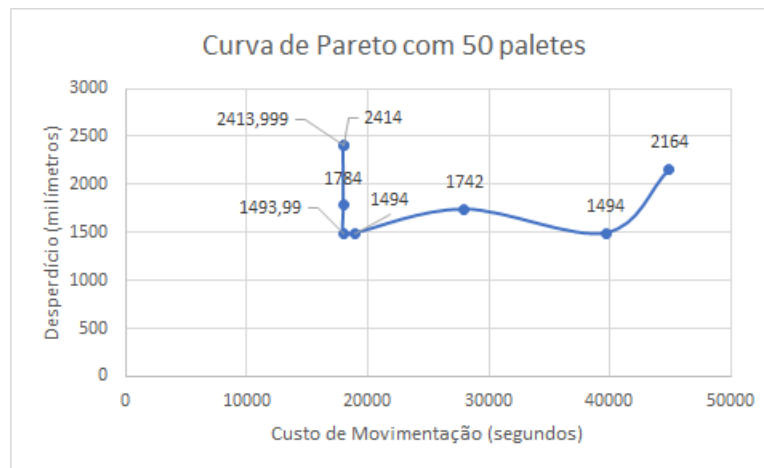
Como já mencionado, foi elaborado um segundo teste para as primeiras 50 paletes que apresentam taxas de utilização mais elevadas. Todos os resultados são considerados incumbentes, uma vez que foi imposto, no neos server, um limite de tempo de 1 minuto e utilizado o otimizador *Gurobi*. De acordo com o modelo já explicado, foram obtidos novos valores tanto para o custo de movimentação, como também para o desperdício. Estes foram iterados, de acordo com a Figura 5.9.

	Custos	Desperdício
Inicial	44937,5	2164
$y \leq 40000$	39669,2	1494
$y \leq 30000$	27945,2	1742
$y \leq 20000$	18967,1	1494
$y \leq 18000$	17999,6	1493,99
$y \leq 17995$	17994,9	1784
$y \leq 17985$	17970,5	2413,999
$y \leq 17962$	17961,6	2414

**Figura 5.9:** Tabela de dados da curva de Pareto com 50 paletes

Com vista em minimizar o desperdício de espaço, considerando o custo de movimentação para alocar 50 paletes em 40 alvéolos e, de acordo com as iterações expostas na figura 5.9, foi encontrado um valor onde o custo de movimentação é inferior, 17999,6 segundos, para um desperdício de 1493,99 milímetros.

De acordo com os dados expostos na Figura 5.9, foi elaborada a curva de pareto presente na Figura 5.10.



**Figura 5.10:** Curva de Pareto para 50 paletes

O layout do armazém para as 50 paletes em 40 alvéolos é apresentada na Figura 5.11.

	16	17	18	19	20
	11	12	13	14	15
	13,16,17	33,43,47	48,49,50	12,29	10
	3,4,6	8,10,11	18,20,28	24,26,44	34,35,42
PORTA					
	1,2,5	7,9,15	14,19,23	25,31,32	36,38,46
	21,22,27	30,40,45	37,39,41	29	30
	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40

**Figura 5.11:** Layout do armazém para 50 paletes com 40 níveis

## 6. Conclusões

De acordo com o enunciado do projeto, foi elaborado um layout que se utilizou nas três fases do projeto. No entanto, para cada fase, foi feita uma reorganização das paletes consoante o objetivo a atingir em cada etapa.

Em todo o projeto considerou-se que o armazém tem a mesma dimensão, isto é, o mesmo número de racks e alvéolos. Deste modo, a estratégia do grupo de trabalho cingiu-se em alocar, sempre que possível, todas as paletes no armazém.

Na primeira fase, as paletes foram alocadas, cada uma em apenas um alvéolo, de acordo com a taxa de utilização sendo que, as que apresentam maior taxa foram alocadas mais próximas da porta. Desta forma, garante-se que a distância percorrida no armazém, pelos empilhadores, é minimizada.

Para o layout apresentado na fase II do projeto, pressupôs-se que, em cada alvéolo, seriam colocadas mais do que uma paleta, de acordo com a respetiva taxa de utilização e minimizando o custo de movimentação, do empilhador, no armazém.

Na última fase do projeto, para além da taxa de utilização de cada paleta e da distância percorrida, pelo empilhador, no armazém, foram contabilizados os desperdícios de altura e largura de cada paleta, em cada alvéolo. Assim, as paletes foram alocadas de forma a minimizar o desperdício e considerando o custo de movimentação das mesmas. Na terceira fase, devido não só à complexidade do modelo, como também à extensão dos dados, não foi possível alocar as 452 paletes. Por conseguinte, o grupo optou por alocar, primeiramente, 10 paletes e, em seguida, 50, com finalidade em testar o modelo.

Conclui-se assim que, exceção feita à alocação das paletes de acordo com o modelo da fase I, os gestores do armazém poderiam optar por encortá-lo, utilizar os alvéolos livres para a alocação de outros materiais ou mantê-lo com essa configuração, caso seja necessário, um dia, alocar mais paletes.

## A. Fase I

### A.1 452 paletes e 452 alvéolos (.MOD)

```
param nPaletes;
param nNiveis;

set v1:={i in 1.. nPaletes}; # v1 representa Origem
set v2:={j in 1.. nNiveis}; # v2 representa Destino

param PALETES{i in v1,k in 1..4};

param NIVEIS{j in v2,k in 1..3};

var x{i in v1,j in v2}, >=0; #  variavel de decisão que define em que alvéolo

    minimize CustoMovimentacao: sum{i in v1, j in v2} (PALETES[i,4]* (NIVEIS[j,1]

# Restrições
s.t. ArmzPal {i in v1} : sum {j in v2} x[i,j] = 1;
s.t. OcupNiv {j in v2} : sum {i in v1} x[i,j] = 1;
```

### A.2 452 paletes e 452 alveolos (.DAT)

```
param nPaletes:=452;
param nNiveis:=452;

#Referencia Altura Largura Taxa de utilização
param PALETES:
1 2 3 4:=
1 1 790 1000 176
2 1 590 1000 176
3 2 470 1000 167
4 3 470 1000 166
5 4 590 1000 157
6 5 460 1000 148
7 6 832 1000 144
8 7 330 1000 129
9 8 790 1000 125
10 9 330 1000 124
11 10 330 1000 114
12 11 330 1000 100
13 12 790 1000 96
14 12 790 1000 96
15 12 790 1000 96
```

16	12	790	1000	96
17	12	790	1000	96
18	12	790	1000	96
19	12	790	1000	96
20	12	790	1000	96
21	13	790	1000	95
22	13	790	1000	95
23	13	790	1000	95
24	13	790	1000	95
25	13	790	1000	95
26	13	790	1000	95
27	13	790	1000	95
28	13	790	1000	95
29	14	330	1000	95
30	15	790	1000	93
31	15	790	1000	93
32	15	790	1000	93
33	15	790	1000	93
34	15	790	1000	93
35	15	790	1000	93
36	15	790	1000	93
37	15	790	1000	93
38	15	790	1000	93
39	15	790	1000	93
40	15	790	1000	93
41	15	790	1000	93
42	15	790	1000	93
43	15	790	1000	93
44	15	790	1000	93
45	15	790	1000	93
46	15	790	1000	93
47	15	790	1000	93
48	15	790	1000	93
49	15	790	1000	93
50	16	790	1000	93
51	16	790	1000	93
52	16	790	1000	93
53	16	790	1000	93
54	16	790	1000	93
55	16	790	1000	93
56	16	790	1000	93
57	16	790	1000	93
58	16	790	1000	93
59	16	790	1000	93
60	16	790	1000	93
61	16	790	1000	93
62	16	790	1000	93
63	16	790	1000	93
64	16	790	1000	93
65	16	790	1000	93
66	16	790	1000	93
67	16	790	1000	93
68	16	790	1000	93

69	16	790	1000	93
70	17	330	1000	90
71	18	330	1000	87
72	19	330	1000	87
73	20	790	1000	86
74	20	790	1000	86
75	20	790	1000	86
76	20	790	1000	86
77	20	790	1000	86
78	21	790	1000	86
79	21	790	1000	86
80	21	790	1000	86
81	21	790	1000	86
82	21	790	1000	86
83	22	470	1000	83
84	23	470	1000	83
85	24	330	1000	80
86	25	470	1000	78
87	26	590	1000	78
88	27	790	1000	73
89	27	790	1000	73
90	28	590	1000	72
91	29	790	1000	68
92	29	790	1000	68
93	29	790	1000	68
94	30	790	1000	66
95	30	790	1000	66
96	30	790	1000	66
97	31	790	1000	65
98	31	790	1000	65
99	32	790	1000	64
100	32	790	1000	64
101	33	790	1000	62
102	33	790	1000	62
103	33	790	1000	62
104	34	790	1000	61
105	34	790	1000	61
106	34	790	1000	61
107	35	590	1000	59
108	36	330	1000	58
109	37	470	1000	50
110	38	420	1000	49
111	39	790	1000	49
112	39	790	1000	49
113	39	790	1000	49
114	39	790	1000	49
115	40	590	1000	48
116	41	590	1000	48
117	42	330	1000	48
118	43	330	1000	48
119	44	330	1000	48
120	45	390	1000	48
121	46	390	1000	48

122	47	790	1000	48
123	47	790	1000	48
124	47	590	1000	48
125	48	610	1000	47
126	48	330	1000	47
127	49	420	1000	47
128	50	460	1000	47
129	50	460	1000	47
130	51	330	1000	46
131	52	790	1000	46
132	52	390	1000	46
133	53	390	1000	46
134	54	790	1000	46
135	54	790	1000	46
136	54	790	1000	46
137	55	390	1000	46
138	56	790	1000	44
139	56	790	1000	44
140	57	790	1000	44
141	57	790	1000	44
142	58	590	1000	44
143	59	790	1000	44
144	60	330	1000	43
145	61	590	1000	43
146	62	790	1000	43
147	62	790	1000	43
148	62	590	1000	43
149	63	790	1000	43
150	63	790	1000	43
151	63	790	1000	43
152	64	790	1000	42
153	65	590	1000	42
154	66	790	1000	42
155	66	790	1000	42
156	66	790	1000	42
157	67	790	1000	41
158	67	790	1000	41
159	67	790	1000	41
160	68	330	1000	40
161	69	790	1000	38
162	70	390	1000	36
163	71	790	1000	36
164	71	390	1000	36
165	72	390	1000	36
166	73	790	1000	35
167	73	390	1000	35
168	74	330	1000	34
169	75	390	1000	34
170	76	590	1000	34
171	77	490	1000	34
172	78	330	1000	32
173	79	390	1000	32
174	80	390	1000	30

175	81	490	1000	29
176	82	790	1000	29
177	83	790	1000	28
178	83	790	1000	28
179	83	790	1000	28
180	83	790	1000	28
181	84	390	1000	28
182	85	790	1000	28
183	85	790	1000	28
184	86	790	1000	27
185	86	390	1000	27
186	87	790	1000	27
187	87	390	1000	27
188	88	790	1000	27
189	89	390	1000	26
190	90	790	1000	25
191	90	790	1000	25
192	91	390	1000	25
193	92	790	1000	25
194	92	790	1000	25
195	93	590	1000	25
196	94	590	1000	25
197	95	590	1000	25
198	96	590	1000	25
199	97	790	1000	24
200	97	390	1000	24
201	98	790	1000	24
202	98	790	1000	24
203	99	790	1000	24
204	99	390	1000	24
205	100	790	1000	24
206	100	390	1000	24
207	101	330	1000	24
208	102	590	1000	24
209	103	390	1000	24
210	104	460	1000	23
211	105	330	1000	23
212	106	330	1000	23
213	107	330	1000	23
214	108	330	1000	23
215	109	590	1000	23
216	110	590	1000	22
217	111	470	1000	22
218	112	1090	1000	21
219	112	1090	1000	21
220	113	1150	1000	20
221	113	1150	1000	20
222	113	830	1000	20
223	114	1090	1000	20
224	114	1090	1000	20
225	115	390	1000	19
226	116	490	1000	19
227	117	1090	1000	18



228	117	1090	1000	18
229	118	1090	1000	18
230	118	1090	1000	18
231	119	790	1000	18
232	120	790	1000	18
233	121	460	1000	17
234	122	330	1000	17
235	123	590	1000	17
236	124	1090	1000	17
237	124	1090	1000	17
238	125	1090	1000	17
239	125	490	1000	17
240	126	330	1000	16
241	127	1190	1000	16
242	127	1190	1000	16
243	128	1090	1000	16
244	128	990	1000	16
245	129	330	1000	15
246	130	330	1000	15
247	131	330	1000	15
248	132	590	1000	14
249	133	590	1000	14
250	134	330	1000	14
251	135	330	1000	14
252	136	330	1000	13
253	137	330	1000	13
254	138	790	1000	13
255	139	490	1000	13
256	140	490	1000	13
257	141	1090	1000	13
258	141	990	1000	13
259	142	330	1000	13
260	143	590	1000	12
261	144	390	1000	12
262	145	790	1000	12
263	145	790	1000	12
264	145	790	1000	12
265	146	790	1000	12
266	146	790	1000	12
267	146	790	1000	12
268	147	390	1000	12
269	148	390	1000	12
270	149	390	1000	12
271	150	1090	1000	12
272	150	990	1000	12
273	151	790	1000	11
274	151	490	1000	11
275	152	330	1000	11
276	153	390	1000	11
277	154	990	1000	11
278	155	790	1000	11
279	156	790	1000	11
280	157	790	1000	11

281	158	790	1000	11
282	159	390	1000	11
283	160	390	1000	11
284	161	990	1000	11
285	161	590	1000	11
286	162	390	1000	11
287	163	990	1000	11
288	164	990	1000	11
289	164	990	1000	11
290	164	990	1000	11
291	165	990	1000	11
292	165	990	1000	11
293	165	990	1000	11
294	165	990	1000	11
295	165	990	1000	11
296	165	990	1000	11
297	166	390	1000	11
298	167	590	1000	11
299	168	590	1000	11
300	169	990	1000	11
301	170	590	1000	11
302	171	790	1000	11
303	172	390	1000	11
304	173	590	1000	11
305	174	390	1000	11
306	175	590	1000	10
307	176	590	1000	10
308	177	590	1000	10
309	178	330	1000	10
310	179	390	1000	10
311	180	330	1000	10
312	181	390	1000	10
313	182	390	1000	10
314	183	990	1000	10
315	184	330	1000	10
316	185	790	1000	9
317	185	490	1000	9
318	186	330	1000	9
319	187	390	1000	9
320	188	460	1000	9
321	189	390	1000	9
322	190	390	1000	9
323	191	790	1000	9
324	192	790	1000	9
325	193	790	1000	9
326	193	390	1000	9
327	194	790	1000	9
328	194	390	1000	9
329	195	990	1000	9
330	196	790	1000	9
331	196	390	1000	9
332	197	390	1000	8
333	198	390	1000	8

334	199	490	1000	8
335	200	330	1000	8
336	201	410	1000	7
337	202	410	1000	7
338	203	590	1000	7
339	204	990	1000	7
340	204	590	1000	7
341	205	330	1000	7
342	206	590	1000	6
343	207	590	1000	6
344	208	330	1000	6
345	209	330	1000	6
346	210	330	1000	6
347	211	590	1000	5
348	212	590	1000	5
349	213	390	1000	5
350	214	390	1000	5
351	215	330	1000	5
352	216	590	1000	5
353	217	330	1000	5
354	218	390	1000	5
355	219	790	1000	5
356	219	390	1000	5
357	220	390	1000	4
358	221	390	1000	4
359	222	390	1000	4
360	223	390	1000	4
361	224	790	1000	4
362	224	590	1000	4
363	225	390	1000	4
364	226	390	1000	4
365	227	790	1000	4
366	227	790	1000	4
367	228	390	1000	4
368	229	590	1000	3
369	230	590	1000	3
370	231	330	1000	3
371	232	390	1000	3
372	233	390	1000	3
373	234	390	1000	3
374	235	390	1000	3
375	236	330	1000	3
376	237	590	1000	3
377	238	590	1000	3
378	239	590	1000	2
379	240	790	1000	2
380	241	790	1000	2
381	241	790	1000	2
382	241	790	1000	2
383	241	790	1000	2
384	242	390	1000	2
385	243	790	1000	1
386	244	330	1000	1

387	245	390	1000	1
388	246	390	1000	1
389	247	390	1000	1
390	248	390	1000	1
391	249	590	1000	0
392	250	590	1000	0
393	251	790	1000	0
394	251	790	1000	0
395	251	790	1000	0
396	251	790	1000	0
397	251	790	1000	0
398	251	790	1000	0
399	252	390	1000	0
400	253	590	1000	0
401	254	590	1000	0
402	255	790	1000	0
403	256	790	1000	0
404	257	1090	800	31
405	257	1090	800	31
406	258	790	800	29
407	258	790	800	29
408	259	790	800	29
409	259	790	800	29
410	260	610	800	23
411	261	610	800	23
412	262	790	800	15
413	262	390	800	15
414	263	790	800	15
415	263	390	800	15
416	264	790	800	12
417	265	1090	800	11
418	265	490	800	11
419	266	1090	800	11
420	266	490	800	11
421	267	790	800	11
422	268	790	800	10
423	268	390	800	10
424	269	790	800	10
425	269	390	800	10
426	270	590	800	10
427	271	590	800	10
428	272	390	800	7
429	273	1090	800	7
430	273	1090	800	7
431	273	1090	800	7
432	273	1090	800	7
433	273	1090	800	7
434	273	490	800	7
435	274	1090	800	7
436	274	1090	800	7
437	274	1090	800	7
438	274	1090	800	7
439	274	1090	800	7

```

440 274 490 800 7
441 275 1090 800 7
442 275 1090 800 7
443 276 1090 800 5
444 276 1090 800 5
445 277 1090 800 5
446 277 1090 800 5
447 278 390 800 4
448 279 590 800 3
449 280 1090 800 3
450 280 1090 800 3
451 281 1090 800 2
452 281 1090 800 2;

```

```

#tempo Largura Altura
param NIVEIS:

```

```

1 2 3:=
1 0.58 3200 1200
2 1.73 3200 1200
3 2.88 3200 1200
4 4.03 3200 1200
5 5.18 3200 1200
6 6.33 3200 1200
7 7.48 3200 1200
8 8.63 3200 1200
9 9.78 3200 1200
10 10.93 3200 1200
11 12.08 3200 1200
12 13.23 3200 1200
13 14.38 3200 1200
14 15.53 3200 1200
15 16.68 3200 1200
16 17.83 3200 1200
17 18.98 3200 1200
18 20.13 3200 1200
19 21.28 3200 1200
20 22.43 3200 1200
21 23.58 3200 1200
22 24.73 3200 1200
23 25.88 3200 1200
24 27.03 3200 1200
25 28.18 3200 1200
26 29.33 3200 1200
27 30.48 3200 1200
28 31.63 3200 1200
29 32.78 3200 1200
30 33.93 3200 1200
31 35.08 3200 1200
32 36.23 3200 1200
33 37.38 3200 1200
34 38.53 3200 1200

```

35	39.68	3200	1200
36	40.83	3200	1200
37	41.98	3200	1200
38	43.13	3200	1200
39	44.28	3200	1200
40	45.43	3200	1200
41	46.58	3200	1200
42	47.73	3200	1200
43	48.88	3200	1200
44	50.03	3200	1200
45	51.18	3200	1200
46	52.33	3200	1200
47	53.48	3200	1200
48	54.63	3200	1200
49	55.78	3200	1200
50	56.93	3200	1200
51	58.08	3200	1200
52	59.23	3200	1200
53	60.38	3200	1200
54	61.53	3200	1200
55	62.67	3200	1200
56	63.82	3200	1200
57	64.97	3200	1200
58	3.58	3200	1200
59	4.73	3200	1200
60	5.88	3200	1200
61	7.03	3200	1200
62	8.18	3200	1200
63	9.33	3200	1200
64	10.48	3200	1200
65	11.63	3200	1200
66	12.78	3200	1200
67	13.93	3200	1200
68	15.08	3200	1200
69	16.23	3200	1200
70	17.38	3200	1200
71	18.53	3200	1200
72	19.68	3200	1200
73	20.83	3200	1200
74	21.98	3200	1200
75	23.13	3200	1200
76	24.28	3200	1200
77	25.43	3200	1200
78	26.58	3200	1200
79	27.73	3200	1200
80	28.88	3200	1200
81	30.03	3200	1200
82	31.18	3200	1200
83	32.33	3200	1200
84	33.48	3200	1200
85	34.63	3200	1200
86	35.78	3200	1200
87	36.93	3200	1200

88	38.08	3200	1200
89	39.23	3200	1200
90	40.38	3200	1200
91	41.53	3200	1200
92	42.68	3200	1200
93	43.83	3200	1200
94	44.98	3200	1200
95	46.13	3200	1200
96	47.28	3200	1200
97	48.43	3200	1200
98	49.58	3200	1200
99	50.73	3200	1200
100	51.88	3200	1200
101	53.03	3200	1200
102	54.18	3200	1200
103	55.33	3200	1200
104	56.48	3200	1200
105	57.63	3200	1200
106	58.78	3200	1200
107	59.93	3200	1200
108	61.08	3200	1200
109	62.23	3200	1200
110	63.38	3200	1200
111	64.52	3200	1200
112	65.67	3200	1200
113	66.83	3200	1200
114	67.97	3200	1200
115	8.58	3200	1200
116	9.73	3200	1200
117	10.88	3200	1200
118	12.03	3200	1200
119	13.18	3200	1200
120	14.33	3200	1200
121	15.48	3200	1200
122	16.63	3200	1200
123	17.78	3200	1200
124	18.93	3200	1200
125	20.08	3200	1200
126	21.23	3200	1200
127	22.38	3200	1200
128	23.53	3200	1200
129	24.68	3200	1200
130	25.83	3200	1200
131	26.98	3200	1200
132	28.13	3200	1200
133	29.28	3200	1200
134	30.43	3200	1200
135	31.58	3200	1200
136	32.73	3200	1200
137	33.88	3200	1200
138	35.03	3200	1200
139	36.18	3200	1200
140	37.33	3200	1200

141	38.48	3200	1200
142	39.63	3200	1200
143	40.78	3200	1200
144	41.93	3200	1200
145	43.08	3200	1200
146	44.23	3200	1200
147	45.38	3200	1200
148	46.53	3200	1200
149	47.68	3200	1200
150	48.83	3200	1200
151	49.98	3200	1200
152	51.13	3200	1200
153	52.28	3200	1200
154	53.43	3200	1200
155	54.58	3200	1200
156	55.73	3200	1200
157	56.88	3200	1200
158	58.03	3200	1200
159	59.18	3200	1200
160	60.33	3200	1200
161	61.48	3200	1200
162	62.63	3200	1200
163	63.78	3200	1200
164	64.92	3200	1200
165	66.08	3200	1200
166	67.23	3200	1200
167	68.38	3200	1200
168	69.52	3200	1200
169	70.67	3200	1200
170	71.83	3200	1200
171	72.97	3200	1200
172	15.58	3200	1200
173	16.73	3200	1200
174	17.88	3200	1200
175	19.03	3200	1200
176	20.18	3200	1200
177	21.33	3200	1200
178	22.48	3200	1200
179	23.63	3200	1200
180	24.78	3200	1200
181	25.93	3200	1200
182	27.08	3200	1200
183	28.23	3200	1200
184	29.38	3200	1200
185	30.53	3200	1200
186	31.68	3200	1200
187	32.83	3200	1200
188	33.98	3200	1200
189	35.13	3200	1200
190	36.28	3200	1200
191	37.43	3200	1200
192	38.58	3200	1200
193	39.73	3200	1200



194	40.88	3200	1200
195	42.03	3200	1200
196	43.18	3200	1200
197	44.33	3200	1200
198	45.48	3200	1200
199	46.63	3200	1200
200	47.78	3200	1200
201	48.93	3200	1200
202	50.08	3200	1200
203	51.23	3200	1200
204	52.38	3200	1200
205	53.53	3200	1200
206	54.68	3200	1200
207	55.83	3200	1200
208	56.98	3200	1200
209	58.13	3200	1200
210	59.28	3200	1200
211	60.43	3200	1200
212	61.58	3200	1200
213	62.73	3200	1200
214	63.88	3200	1200
215	65.03	3200	1200
216	66.18	3200	1200
217	67.33	3200	1200
218	68.48	3200	1200
219	69.63	3200	1200
220	70.78	3200	1200
221	71.92	3200	1200
222	73.08	3200	1200
223	74.23	3200	1200
224	75.38	3200	1200
225	76.52	3200	1200
226	77.67	3200	1200
227	78.83	3200	1200
228	79.97	3200	1200
229	0.58	3200	1200
230	1.73	3200	1200
231	2.88	3200	1200
232	4.03	3200	1200
233	5.18	3200	1200
234	6.33	3200	1200
235	7.48	3200	1200
236	8.63	3200	1200
237	9.78	3200	1200
238	10.93	3200	1200
239	12.08	3200	1200
240	13.23	3200	1200
241	14.38	3200	1200
242	15.53	3200	1200
243	16.68	3200	1200
244	17.83	3200	1200
245	18.98	3200	1200
246	20.13	3200	1200

247	21.28	3200	1200
248	22.43	3200	1200
249	23.58	3200	1200
250	24.73	3200	1200
251	25.88	3200	1200
252	27.03	3200	1200
253	28.18	3200	1200
254	29.33	3200	1200
255	30.48	3200	1200
256	31.63	3200	1200
257	32.78	3200	1200
258	33.93	3200	1200
259	35.08	3200	1200
260	36.23	3200	1200
261	37.38	3200	1200
262	38.53	3200	1200
263	39.68	3200	1200
264	40.83	3200	1200
265	41.98	3200	1200
266	43.13	3200	1200
267	44.28	3200	1200
268	45.43	3200	1200
269	46.58	3200	1200
270	47.73	3200	1200
271	48.88	3200	1200
272	50.03	3200	1200
273	51.18	3200	1200
274	52.33	3200	1200
275	53.48	3200	1200
276	54.63	3200	1200
277	55.78	3200	1200
278	56.93	3200	1200
279	58.08	3200	1200
280	59.23	3200	1200
281	60.38	3200	1200
282	61.53	3200	1200
283	62.67	3200	1200
284	63.82	3200	1200
285	3.58	3200	1200
286	4.73	3200	1200
287	5.88	3200	1200
288	7.03	3200	1200
289	8.18	3200	1200
290	9.33	3200	1200
291	10.48	3200	1200
292	11.63	3200	1200
293	12.78	3200	1200
294	13.93	3200	1200
295	15.08	3200	1200
296	16.23	3200	1200
297	17.38	3200	1200
298	18.53	3200	1200
299	19.68	3200	1200

300	20.83	3200	1200
301	21.98	3200	1200
302	23.13	3200	1200
303	24.28	3200	1200
304	25.43	3200	1200
305	26.58	3200	1200
306	27.73	3200	1200
307	28.88	3200	1200
308	30.03	3200	1200
309	31.18	3200	1200
310	32.33	3200	1200
311	33.48	3200	1200
312	34.63	3200	1200
313	35.78	3200	1200
314	36.93	3200	1200
315	38.08	3200	1200
316	39.23	3200	1200
317	40.38	3200	1200
318	41.53	3200	1200
319	42.68	3200	1200
320	43.83	3200	1200
321	44.98	3200	1200
322	46.13	3200	1200
323	47.28	3200	1200
324	48.43	3200	1200
325	49.58	3200	1200
326	50.73	3200	1200
327	51.88	3200	1200
328	53.03	3200	1200
329	54.18	3200	1200
330	55.33	3200	1200
331	56.48	3200	1200
332	57.63	3200	1200
333	58.78	3200	1200
334	59.93	3200	1200
335	61.08	3200	1200
336	62.23	3200	1200
337	63.38	3200	1200
338	64.52	3200	1200
339	65.67	3200	1200
340	66.83	3200	1200
341	8.58	3200	1200
342	9.73	3200	1200
343	10.88	3200	1200
344	12.03	3200	1200
345	13.18	3200	1200
346	14.33	3200	1200
347	15.48	3200	1200
348	16.63	3200	1200
349	17.78	3200	1200
350	18.93	3200	1200
351	20.08	3200	1200
352	21.23	3200	1200

353	22.38	3200	1200
354	23.53	3200	1200
355	24.68	3200	1200
356	25.83	3200	1200
357	26.98	3200	1200
358	28.13	3200	1200
359	29.28	3200	1200
360	30.43	3200	1200
361	31.58	3200	1200
362	32.73	3200	1200
363	33.88	3200	1200
364	35.03	3200	1200
365	36.18	3200	1200
366	37.33	3200	1200
367	38.48	3200	1200
368	39.63	3200	1200
369	40.78	3200	1200
370	41.93	3200	1200
371	43.08	3200	1200
372	44.23	3200	1200
373	45.38	3200	1200
374	46.53	3200	1200
375	47.68	3200	1200
376	48.83	3200	1200
377	49.98	3200	1200
378	51.13	3200	1200
379	52.28	3200	1200
380	53.43	3200	1200
381	54.58	3200	1200
382	55.73	3200	1200
383	56.88	3200	1200
384	58.03	3200	1200
385	59.18	3200	1200
386	60.33	3200	1200
387	61.48	3200	1200
388	62.63	3200	1200
389	63.78	3200	1200
390	64.92	3200	1200
391	66.08	3200	1200
392	67.23	3200	1200
393	68.38	3200	1200
394	69.52	3200	1200
395	70.67	3200	1200
396	71.83	3200	1200
397	15.58	3200	1200
398	16.73	3200	1200
399	17.88	3200	1200
400	19.03	3200	1200
401	20.18	3200	1200
402	21.33	3200	1200
403	22.48	3200	1200
404	23.63	3200	1200
405	24.78	3200	1200

406	25.93	3200	1200
407	27.08	3200	1200
408	28.23	3200	1200
409	29.38	3200	1200
410	30.53	3200	1200
411	31.68	3200	1200
412	32.83	3200	1200
413	33.98	3200	1200
414	35.13	3200	1200
415	36.28	3200	1200
416	37.43	3200	1200
417	38.58	3200	1200
418	39.73	3200	1200
419	40.88	3200	1200
420	42.03	3200	1200
421	43.18	3200	1200
422	44.33	3200	1200
423	45.48	3200	1200
424	46.63	3200	1200
425	47.78	3200	1200
426	48.93	3200	1200
427	50.08	3200	1200
428	51.23	3200	1200
429	52.38	3200	1200
430	53.53	3200	1200
431	54.68	3200	1200
432	55.83	3200	1200
433	56.98	3200	1200
434	58.13	3200	1200
435	59.28	3200	1200
436	60.43	3200	1200
437	61.58	3200	1200
438	62.73	3200	1200
439	63.88	3200	1200
440	65.03	3200	1200
441	66.18	3200	1200
442	67.33	3200	1200
443	68.48	3200	1200
444	69.63	3200	1200
445	70.78	3200	1200
446	71.92	3200	1200
447	73.08	3200	1200
448	74.23	3200	1200
449	75.38	3200	1200
450	76.52	3200	1200
451	77.67	3200	1200
452	78.83	3200	1200;

## B. Fase II

### B.1 454 paletes e 452 alvéolos.MOD

O ficheiro .data desta fase é igual ao da primeira fase.

```
param nPaletes;  
param nNiveis;  
  
set v1:={i in 1.. nPaletes}; # v1 representa Origem  
set v2:={j in 1.. nNiveis}; # v2 representa Destino  
  
param PALETES{i in v1,k in 1..4};  
param NIVEIS{j in v2,k in 1..3};  
  
var x{i in v1,j in v2} binary; # variavel de decisao que define em que alveo  
  
#funcao que minimiza as distancias--- fase 2 -> minimizar tempo  
minimize CustoMovimentacao: sum{i in v1, j in v2} ((NIVEIS[j,1])* x[i,j]) *(P  
  
# Restricoes  
s.t. ArmzPal {i in v1} : sum {j in v2} x[i,j] = 1;  
s.t. OcupNiv {j in v2} : sum {i in v1} PALETES[i,3]*x[i,j] <= NIVEIS[j,2];
```

## C. Fase III

### C.1 10 paletes com 40 alvéolos (.MOD)

```
param nPaletes;
param nNiveis;

set v1:={i in 1.. nPaletes}; # v1 representa Origem
set v2:={j in 1.. nNiveis}; # v2 representa Destino

param PALETES{i in v1,k in 1..4};
param NIVEIS{j in v2,k in 1..3};

var H {j in v2} , >=0; #assim permite que tenhamos H1,H2,H3,H4 .... (alturas
var O {j in v2} , binary;
var y >= 0;

var x{i in v1,j in v2} binary; # variavel de decisao que define em que alveo

var D {i in v1}, >=0;
var L {j in v2}, >=0;
var L1 {j in v2}, >=0;

#funcao que minimiza as distancias--- fase 2 -> minimizar tempo
#minimize CustoMovimentacao: sum{i in v1, j in v2} (PALETES[i,4]* (NIVEIS[j,1]

#funcao objetivo que que minimiza o desperdicio (colocar conjuntos de paletes
#o desperdicio petence a palete-- funcao obj para minimizar desperdicioda alt
minimize desperdicio: sum{i in v1} D[i]+ sum{j in v2} L[j];

# Restricoes
s.t. ArmzPal {i in v1} : sum {j in v2} x[i,j] = 1; #esta palete tem q ser gua
s.t. OcupNiv {j in v2} : sum {i in v1} PALETES[i,3]*x[i,j] <= NIVEIS[j,2]; #c

#todas as paletes, de todos os niveis, cada um dos niveis vai ser maior que a
s.t. altura {i in v1,j in v2} : H[j] >= PALETES[i,2]*x[i,j];

#restricao do desperdicio por palete , no gusek nao funciona, no neoserver fu
#o desperdicio pertence a palete para facilitar o problema
#o alveolo esta a ser usado ou nao esta a ser usado
s.t. desp {i in v1, j in v2}: O[j] >= x[i,j];
```

```

# calculo do desperdicio da altura
s.t. desperdAlt {i in v1, j in v2} : x[i,j] =1 ==> D[i]= H[j] - PALETES[i,2];

# calculo do desperdicio da largura
s.t. desperdLarg {j in v2} : O[j] =1 ==> L[j] >=(3000 - sum {i in v1} PALETES[i,j]);

#restricao para calcular os tempos, definindo uma variavel aux que toma o valor de y
s.t. custoMovAux: y = sum{i in v1, j in v2} (PALETES[i,4]* (NIVEIS[j,1])* x[i,j]);
s.t. tentativa1: y <= 750;
#s.t. tentativa2: y <=1500;
#s.t. tentativa3: y <=750;
#s.t. tentativa4: y <=600;

```

## C.2 10 paletes com 40 alvéolos (.DAT)

```

param nPaletes:=10;
param nNiveis:=40;

#Referencia Altura Largura Taxa de utilização
param PALETES:
1 2 3 4:=
1 1 790 1000 176
2 1 590 1000 176
3 2 470 1000 167
4 3 470 1000 166
5 4 590 1000 157
6 10 1090 800 31
7 11 1090 800 31
8 12 790 800 29
9 13 790 800 29
10 14 790 800 29;

#tempo Largura Altura
param NIVEIS:
1 2 3:=
1 0.58 3200 1200
2 1.73 3200 1200
3 2.88 3200 1200
4 4.03 3200 1200
5 5.18 3200 1200
6 3.58 3200 1200
7 4.73 3200 1200
8 5.88 3200 1200
9 7.03 3200 1200
10 8.18 3200 1200
11 8.58 3200 1200
12 9.73 3200 1200
13 10.88 3200 1200
14 12.03 3200 1200
15 13.18 3200 1200

```



```

16 15.58 3200 1200
17 16.73 3200 1200
18 17.88 3200 1200
19 19.03 3200 1200
20 20.18 3200 1200
21 0.58 3200 1200
22 1.73 3200 1200
23 2.88 3200 1200
24 4.03 3200 1200
25 5.18 3200 1200
26 3.58 3200 1200
27 4.73 3200 1200
28 5.88 3200 1200
29 7.03 3200 1200
30 8.18 3200 1200
31 8.58 3200 1200
32 9.73 3200 1200
33 10.88 3200 1200
34 12.03 3200 1200
35 13.18 3200 1200
36 15.58 3200 1200
37 16.73 3200 1200
38 17.88 3200 1200
39 19.03 3200 1200
40 20.18 3200 1200;

```

### C.3 50 paletes com 40 alvéolos (.DAT)

```

param nPaletes:=50;
param nNiveis:=40;

#Referencia Altura Largura Taxa de utilização
param PALETES:
1 2 3 4:=
1 1 790 1000 176
2 1 590 1000 176
3 2 470 1000 167
4 3 470 1000 166
5 4 590 1000 157
6 5 460 1000 148
7 6 832 1000 144
8 7 330 1000 129
9 8 790 1000 125
10 9 330 1000 124
11 10 330 1000 114
12 11 330 1000 100
13 12 790 1000 96
14 12 790 1000 96
15 12 790 1000 96
16 12 790 1000 96
17 12 790 1000 96
18 12 790 1000 96

```

```

19 12 790 1000 96
20 12 790 1000 96
21 13 790 1000 95
22 13 790 1000 95
23 13 790 1000 95
24 13 790 1000 95
25 13 790 1000 95
26 13 790 1000 95
27 13 790 1000 95
28 13 790 1000 95
29 14 330 1000 95
30 15 790 1000 93
31 15 790 1000 93
32 15 790 1000 93
33 15 790 1000 93
34 15 790 1000 93
35 15 790 1000 93
36 15 790 1000 93
37 15 790 1000 93
38 15 790 1000 93
39 15 790 1000 93
40 15 790 1000 93
41 15 790 1000 93
42 15 790 1000 93
43 15 790 1000 93
44 15 790 1000 93
45 15 790 1000 93
46 15 790 1000 93
47 15 790 1000 93
48 15 790 1000 93
49 15 790 1000 93
50 16 790 1000 93;

```

```

#tempo Largura Altura
param NIVEIS:

```

```

1 2 3:=
1 0.58 3200 1200
2 1.73 3200 1200
3 2.88 3200 1200
4 4.03 3200 1200
5 5.18 3200 1200
6 3.58 3200 1200
7 4.73 3200 1200
8 5.88 3200 1200
9 7.03 3200 1200
10 8.18 3200 1200
11 8.58 3200 1200
12 9.73 3200 1200
13 10.88 3200 1200
14 12.03 3200 1200
15 13.18 3200 1200
16 15.58 3200 1200
17 16.73 3200 1200

```

18	17.88	3200	1200
19	19.03	3200	1200
20	20.18	3200	1200
21	0.58	3200	1200
22	1.73	3200	1200
23	2.88	3200	1200
24	4.03	3200	1200
25	5.18	3200	1200
26	3.58	3200	1200
27	4.73	3200	1200
28	5.88	3200	1200
29	7.03	3200	1200
30	8.18	3200	1200
31	8.58	3200	1200
32	9.73	3200	1200
33	10.88	3200	1200
34	12.03	3200	1200
35	13.18	3200	1200
36	15.58	3200	1200
37	16.73	3200	1200
38	17.88	3200	1200
39	19.03	3200	1200
40	20.18	3200	1200;