

CENTRO UNIVERSITÁRIO TUPY - UNISOCIESC

**DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA DE
PESQUISA OPERACIONAL PARA O PLANEJAMENTO E
SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO DE UMA
EMPRESA DE FUNDIÇÃO DE GRANDE PORTE DE
JOINVILLE**

EGP300

DIEGO FERNANDES FLORISBELO

**ORIENTADOR: PROF DR. MILTON PROCÓPIO DE BORBA
CO-ORIENTADOR: PROF MSc. ÁLVARO PAZ GRAZIANI**



Objetivo Geral

- ▶ Desenvolver uma ferramenta de pesquisa operacional para o planejamento e sequenciamento da produção de uma empresa de fundição de grande porte de Joinville.

Objetivos Específicos

- ▶ Estudar os problemas de restrições da fusão na fundição em estudo;
- ▶ Estudar a aplicação do Solver para resolução de problemas;
- ▶ Desenvolver a ferramenta (modelo matemático) de pesquisa operacional;
- ▶ Analisar os resultados da programação feita através do modelo matemático que será desenvolvido, com a programação feita atualmente;

Problemas

- O MRP não é um sistema adequado para o sequenciamento de processos complexos;
- Número de clientes e variedade de produtos demasiadamente altos;
- Complexidade das restrições e interdependência entres elas.

Justificativas

- ▶ Redução de custos;
- ▶ Melhor aproveitamento dos recursos;
- ▶ Redução de *setups*;
- ▶ Ganho de qualidade;
- ▶ Atingimento das metas de produção;
- ▶ Aumento da confiabilidade na programação;
- ▶ Redução de tempo de reunião de programação;
- ▶ Redução do tempo operacional do sequenciamento;

Metodologia

- ▶ Se caracteriza por ser um estudo de caso;
- ▶ No PCP de uma fundição;
- ▶ A empresa é composta por 2.700 funcionários;
- ▶ Compressores e automotiva;
- ▶ Dois tipos de ferro e suas classes.

Metodologia – Restrições

Item	Caixas	Liga	Data	Destino Acabamento	ºC	Peso Conj. Kg	KG Total
208.260-B	290	0 - 0,020	10/mai	Acab Interno Fundicao I - BR	1340 - 1360	111,00	32.190,0
208.87-B	100	0 - 0,017	10/mai	Mavifer	1400 - 1420	69,60	6.960,0
208.47-B	125	0,020 - 0,025	10/mai	Sometal	1390 - 1410	64,62	8.077,5
14.131-B	100	0,020 - 0,025	10/mai	Sometal	1390 - 1410	47,26	4.726,0
208.136-B	100	0,020 - 0,025	10/mai	Mavifer	1390 - 1410	81,70	8.170,0
208.104-B	100	0 - 0,020	10/mai	Mavifer	1390 - 1410	77,23	7.723,0
16.44-B	35	0,020 - 0,025	10/mai	Acabpeças	1390 - 1410	70,13	2.454,6
14.213-B	100	0,045 - 0,055	10/mai	Acabpeças	1370 - 1390	83,35	8.335,0
14.212-B	100	0,045 - 0,055	10/mai	Acabpeças	1360 - 1380	94,22	8.422,0
14.197-B	100	0,035 - 0,040	10/mai	Acabpeças - BR	1370 - 1390	113,45	11.345,0
305.44-B	100	0,035 - 0,040	11/mai	Sometal - BR	1370 - 1390	143,40	14.340,0
20.80-B	200	0,080 - 0,090	11/mai	Izamac	1390 - 1410	75,45	15.090,0
28.19-B	50	3,2 - 3,3	11/mai	Acab Interno Fundicao I	1390 - 1410	140,40	7.020,0
311.59-B	50	3,2 - 3,3	11/mai	Acab Interno Fundicao I - BR	1370 - 1390	108,00	5.400,0
28.21-B	50	3,2 - 3,3	11/mai	Acab Interno Fundicao I	1410 - 1430	118,60	5.930,0
20.53-B	50	3,2 - 3,3	11/mai	Mavifer - BR	1410 - 1430	30,89	1.544,5
311.62-B	50	3,2 - 3,5	11/mai	Acab Interno Fundicao I - BR	1380 - 1400	131,20	6.560,0
311.50-B	50	3,2 - 3,5	11/mai	Acab Interno Fundicao I - BR	1390 - 1410	120,74	6.037,0
			11/mai				

Desenvolvimento da ferramenta

▶ 1ª etapa:

- Levantar as características dos itens;
- Peso do conjunto, liga, temperatura e destino de acabamento;
- Produção máxima e mínima;
- Inserir no plano mestre.

Item	Peso Unitário da Peça	Peso unitário do Conjunto	Número de figuras	Sn + Cu		Destino Acabamento	Temperatura		Mínimo se tiver demanda	Máximo
08.14-B	17,35	156	6	0,045	0,055	Sometal	1390	1410	50	150
08.15-B	15,85	144,36	6	0,045	0,055	Sometal	1390	1410	50	150
14.151-B	22,05	148,5	4	-	0,010	Acab Interno Fundicao I	1410	1430	50	100
14.197-B	18,02	113,45	4	0,035	0,040	Acab Interno Fundicao I - BR	1370	1390	50	100
14.199-B	50,47	190,05	2	-	0,015	Acab Interno Fundicao I - BR	1390	1410	50	100
14.207-B	10,8	67,5	3	0,020	0,025	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	50	200
14.226-B	11,53	149,13	7	0,015	0,020	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	200
14.227-B	10,03	130,74	8	0,015	0,020	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	200
14.228-B	9,95	122	8	0,015	0,020	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	200
14.238-B	43,15	116,18	2	0,040	0,050	Mavifer	1370	1390	50	100
14.239-B	27,3	156	4	0,040	0,050	Sometal	1370	1390	50	100
14.240-B	11,8	113,55	6	-	0,015	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	100	100
14.241-B	42,9	136	2	0,020	0,025	Acab Interno Fundicao I - BR	1360	1380	50	100
14.245-B	30,5	106	2	0,040	0,050	Acabpeças - BR	1370	1390	50	100
14.247-B	30,9	142,65	2	0,045	0,055	Acab Interno Fundicao I	1400	1420	30	100
14.248-B	30,9	142,65	2	0,045	0,055	Acab Interno Fundicao I	1400	1420	30	100
14.251-B	20,7	96	3	0,035	0,040	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	50	100
14.252-B	21,3	174,65	6	0,040	0,050	Acab Interno Fundicao II	1370	1390	50	100
14.253-B	16,57	137	6	0,040	0,050	Acab Interno Fundicao II	1360	1380	50	100
14.74-B	6,87	101,57	10	0,020	0,025	Acab Interno Fundicao II	1390	1410	50	100
14.76-B	5,72	109,24	9	0,020	0,025	Sometal	1390	1410	50	200
14.77-B	8,8	118,38	8	0,020	0,025	Acab Interno Fundicao I	1380	1400	50	150
16.20-B	9,45	103	6	-	0,015	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	200	400
16.21-B	10,32	89	6	-	0,015	Acab Interno Fundicao I - BR	1390	1410	200	400
16.61-B	31,59	179,3	4	0,025	0,030	Acab Interno Fundicao I	1390	1410	50	100

Desenvolvimento da ferramenta

▶ 2ª etapa:

- Gerar um plano mestre de produção;
- Determinar o horizonte de planejamento;
- Estudar e testar o PMP na ferramenta.

Plano Mestre W37

		Semana	Data					
		ATRASO	HOJE	37	38	39	40	Total
Liga	Item							
Cinzento	19.02-B	44			52		35	131
	19.03-B	148				186	38	372
	19.09-B	213				774		987
	20.72-B	77	27	10	27	53	81	275
	20.74-B					25	33	58
	20.79-B	135		116		116	116	483
	311.25-B			19	25	32	26	102
	311.63-B	114		87	83	83	66	433
	34.02-B	116					138	254
	35.01-B	81	52		52	52	52	289
	35.09-B	82		33		33	33	181
	35.11-B	138	47	180	139	137	180	821
	Nodular	08.14-B					32	
14.226-B		90	99	297	99	644	326	1555
14.227-B		121		169	157	173	149	769
14.240-B		216	26	94	112	95	77	620
14.252-B				39	65		33	137
14.76-B			31	118	154	108	153	564
14.77-B		55	23	141	164	118	133	634
16.20-B		179	112	568	637	572	562	2630
16.21-B				44	622	492	491	1649
16.63-B		101	99	741	612	715	579	2847
16.64-B				175	234	268	212	889

Desenvolvimento da ferramenta

- ▶ 3ª etapa:
 - Customizar o plano mestre;
 - Reduzir o horizonte de planejamento;
 - Separar os tipos de ferros;
 - Testar o PMP na ferramenta.

Plano Mestre W37

		Semana	Data			
		ATRASO	HOJE	37	38	
Liga	Item			09/09	16/9/2013	17/9/2013
Nodular	08.14-B					
	08.15-B	20				
	14.227-B	121		33	58	25
	14.240-B	216	26	17	35	17
	14.241-B					
	14.247-B	11				12
	14.253-B					9
	16.20-B	179	112	112	112	218
	16.68-B					
	16.73-B					20
	16.74-B	34	26	50	21	30
	16.75-B	42	38	74	38	43
	16.77-B				35	35
	17.09-B					51
	17.10-B					8
	17.15-B					
	208.112-B					
	208.129-B					
	208.130-B					
	208.150-B	96				
	208.151-B	86				
	208.160-B				9	97
	208.161-B					

Desenvolvimento da ferramenta

▶ 4ª etapa:

- Ajustar a demanda dia do plano, com a capacidade do dia;
- Completar a carga do dia com o % de atraso;
- Converter demandas baixas dos itens do plano para a produção mínima de cada item para o dia;
- Reduzir a carga do dia com o % da conversão.

Plano mestre W37						Mínimo provisório 1					Mínimo provisório 2				Mínimo provisório 3				10		11				
						amanhã	depois	+depois	máx	pos.	amanhã	depois	+depois	Mín	pos.	amanhã	depois	+depois	Mín	pos.	Total/3 dias	Mín/dia	Max/dia		
		Semana	Data Prod.																						
		ATRASSO	HOJE	35	36																				
Item	Peças/Molde		29/08	30/08	02/09																				
14.226-B	8	157	99	99	99	21	126	114	126	2	21	126	114	21	1	21	126	114	21	1	355	50	200		
14.227-B	8	22	29	33	66	36	69	2	69	2	36	69	2	2	3	36	69	2	2	3	121	50	200		
307.14-B	4					0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	200		
307.15-B	5	15				2	2	1	2	1	50	0	0	50	1	50	0	0	50	1	15	50	100		
307.17-B	1		41			0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	300		
311.07-B	1	3	78			0	0	0	0	1	50	0	0	50	1	50	0	0	50	1	3	50	100		
311.08-B	1		10			0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	150		
311.37-B	2			7		7	0	0	7	1	50	0	0	50	1	50	0	0	50	1	7	50	100		
311.55-B	1	325	90		90	45	57	121	121	3	45	57	121	121	3	45	57	121	121	3	415	50	75		
311.58-B	1	236		55		87	41	23	87	1	87	41	23	87	1	87	41	23	87	1	291	50	100		
311.64-B	1	137				19	24	13	24	2	19	24	13	24	2	19	24	13	24	2	137	50	100		
311.65-B	1	139				19	24	13	24	2	19	24	13	24	2	19	24	13	24	2	139	50	100		
311.66-B	6					0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	50	100		
311.73-B	1			2		2	0	0	2	1	50	0	0	50	1	50	0	0	50	1	2	50	100		
33.03-B	2	300	45	14	14	21	55	67	50	67	2	55	67	50	67	2	55	67	50	67	2	349	50	200	
36.02-B	5				94		0	94	0	94	2	0	94	0	94	2	50	0	50	50	1	94	50	100	
36.04-B	6	32		19	26		23	5	29	29	3	23	5	29	29	3	50	50	0	50	1	77	50	100	
Total		4846	1639	1723	1543	1926																			
Percentual			0,157	0,140	0,177	0,098																			
Diferença			761	677	857	474																			
Meta Dia			2400	2400	2400	2400																			

Desenvolvimento da ferramenta

▶ 5º etapa:

- Classificar os itens pelo tipo de liga, de forma crescente até a metade da quantidade de itens programados, depois de forma decrescente;
- Da mesma forma para o grau de temperatura.

Classificação das ligas			Mínimo			5 6 8 9 3 10 11											Mínimo			Máximo	
			amanhã	depois	+depois	Máximo	Item	SnCu_m	SnCu_M	Tmin	Tmax	Kg_molde	Min	Max	amanhã	depois	+depois	por dia	Máximo		
24	54	9 24	0	0	50	1	14.74-B	0,02	0,025	1390	1410	101,57	50	100	0	0	50	50	50		
25	13	10 25	0	50	50	82	208.245-B	0,02	0,025	1390	1410	135	50	100	0	50	50	82	100		
26	53	11 26	67	122	66	255	27.09-B	0,025	0,03	1360	1380	225,74	34	34	34	34	34	34	255		
27	14	12 27	0	50	50	87	208.163-B	0,025	0,03	1380	1400	197,44	50	100	0	50	50	87	100		
28	52	1 28	50	0	0	3	311.07-B	0,03	0,035	1360	1380	78	50	100	50	0	0	50	50		
29	15	2 29	50	0	0	7	311.37-B	0,03	0,035	1370	1390	166	50	100	50	0	0	50	50		
30	51	3 30	50	50	50	137	311.64-B	0,03	0,035	1380	1400	159	50	100	50	50	50	100	150		
31	16	4 31	0	50	50	89	16.76-B	0,035	0,04	1380	1400	230	50	100	0	50	50	89	100		
32	50	1 32	50	50	0	77	36.04-B	0,04	0,05	1370	1390	186,19	50	100	50	50	0	77	100		
33	17	2 33	0	70	0	67	208.210-B	0,045	0	1390	1410	142	70	140	0	70	0	70	70		
34	49	3 34	50	0	50	99	208.271-B	0,045	0,055	1380	1400	148	50	100	50	0	50	99	100		
35	18	4 35	50	50	50	128	14.252-B	0,04	0,05	1370	1390	174,65	50	100	50	50	50	100	150		
36	48	1 36	50	50	50	139	311.65-B	0,03	0,035	1380	1400	175,8	50	100	50	50	50	100	150		
37	19	2 37	50	0	50	74	208.38-B	0,03	0,035	1380	1400	144	50	100	50	0	50	74	100		
38	47	3 38	50	0	50	94	36.02-B	0,03	0,035	1360	1380	166,7	50	100	50	0	50	94	100		
39	20	4 39	50	0	0	2	311.73-B	0,03	0,035	1350	1370	220	50	100	50	0	0	50	50		
40	46	5 40	50	50	0	57	16.73-B	0,025	0,03	1380	1400	210	50	80	50	50	0	57	100		
41	21	1 41	114	114	121	349	33.03-B	0,02	0,025	1390	1410	137,44	50	200	114	114	121	200	349		
42	45	2 42	50	0	0	21	208.235-B	0,02	0,025	1390	1410	116	50	100	50	0	0	50	50		
43	22	3 43	50	50	50	122	208.46-B	0,02	0,025	1380	1400	99,44	50	100	50	50	50	100	150		
44	44	4 44	0	0	100	98	208.29-B	0,02	0,025	1380	1400	127,59	100	200	0	0	100	100	100		
45	23	5 45	50	0	0	6	208.213-B	0,02	0,025	1380	1400	130	50	200	50	0	0	50	50		
46	43	6 46	48	53	72	173	16.74-B	0,02	0,025	1380	1400	118	50	100	50	53	72	100	175		
47	24	7 47	90	81	82	253	14.77-B	0,02	0,025	1380	1400	118,38	50	150	90	81	82	150	253		
48	42	8 48	50	0	50	76	16.68-B	0,02	0,025	1370	1390	208	50	50	50	0	50	50	100		
49	25	9 49	109	108	198	415	311.55-B	0,02	0,025	1360	1380	235,21	50	75	75	75	75	75	415		

Desenvolvimento da ferramenta

▶ Parâmetros do Solver;

Minimizar $\sum |Csa - Cv|$

Sujeito a:

$$\left\{ \begin{array}{l} Cs \leq Cpm \\ Cs \geq Dpv \\ Cs = NI \\ \sum Csa \leq 2500 \end{array} \right.$$

Onde:

Csa – Caixas solucionadas pelo Solver acumuladas.

Cv – Caixas que poderiam ser moldadas com metal disponível.

Cs – Caixas solucionados pelo Solver.

Cpm – Capacidade máxima por dia de cada item.

Dpv – Demanda prévia prevista por dia de cada item.

NI – Números inteiros

Desenvolvimento da ferramenta

▶ 6ª etapa:

- Tela principal do Solver;
- Foram inseridos a hora, turno e a parcial de metal que está sendo vazada, assim como a de disponível no forno;
- Células variáveis: É quantidade a ser produzida no dia, solucionada pelo Solver;
- Célula objetivo: Visa o menor resultando da soma das diferenças de caixas. Obtendo o melhor aproveitamento de metal.

		Célula objetivo 50900																	
Tempo		Diferença de Caixas			Solução	Demanda				Restrições/Informações				Diferença de Peso					
Hora	Turno	Dif. Caixas	Cxs possí.	Cxs acum.	Cxs-Solver	Item	Amanhã	Depois	+depois	Máx/dia	Peso molde	Liga		Temperatura		Peso total	Peso acum.	Peso disp.	Dif. Peso
0 h 20	1	29	63	34	34	27.12-B	34	34	34	34	222	-0,015	0	1360	1380	7548	7548	4080	3468
0 h 20	1	29	63	34	0	307.15-B	0	0	0	50	20	0	0,01	1390	1410	0	7548	4080	3468
0 h 20	1	29	63	34	0	16.21-B	0	0	200	200	10,32	0	0,015	1390	1410	0	7548	4080	3468
0 h 41	1	31	99	68	34	27.10-B	0	34	0	34	126	0	0,02	1370	1390	4284	11832	8160	3672
2 h 41	1	154	114	268	200	16.20-B	200	200	200	400	9,45	0	0,015	1390	1410	1890	13722	32160	18438
3 h 37	1	233	128	361	93	307.09-B	93	93	93	200	17,55	0	0,01	1380	1400	1632	15354	43320	27966
3 h 37	1	233	128	361	0	27.16-B	0	0	0	50	0	0,01	0,02	1370	1390	0	15354	43320	27966
3 h 37	1	233	128	361	0	27.31-B	0	0	0	50	0	0,015	0,02	1370	1390	0	15354	43320	27966
3 h 37	1	233	128	361	0	27.28-B	0	50	0	50	0	0,015	0,02	1370	1390	0	15354	43320	27966
4 h 25	1	301	141	442	81	302.183-B	81	50	87	150	18,63	0,015	0,02	1380	1400	1509	16863	53040	36177
4 h 55	1	347	145	492	50	14.226-B	50	130	118	200	11,53	0,015	0,02	1390	1410	577	17440	59040	41600
5 h 16	1	370	156	526	34	302.178-B	34	34	34	34	38,98	0,015	0,02	1380	1400	1325	18765	63120	44355
6 h 17	1	454	175	629	103	302.182-B	103	56	99	150	22,1	0,015	0,02	1380	1400	2276	21041	75480	54439
6 h 47	1	485	194	679	50	17.10-B	50	0	0	81	45,53	0,015	0,02	1370	1390	2277	23318	81480	58162
7 h 17	1	516	213	729	50	17.09-B	50	0	0	100	45,53	0,015	0,02	1370	1390	2277	25594	87480	61886
7 h 38	1	500	263	763	34	208.151-B	34	0	0	34	175	0,02	0,025	1350	1370	5949	31543	91560	60017
7 h 38	1	500	263	763	0	208.290-B	0	0	0	50	0	0,02	0,025	1370	1390	0	31543	91560	60017
9 h 38	2	676	287	963	200	208.30-B	200	100	106	200	14,7	0,02	0,025	1380	1400	2940	34483	115560	81077
9 h 38	2	676	287	963	0	208.213-B	0	0	0	50	14,93	0,02	0,025	1380	1400	0	34483	115560	81077
9 h 38	2	676	287	963	0	208.245-B	0	0	0	82	30,6	0,02	0,025	1390	1410	0	34483	115560	81077
10 h 15	2	714	311	1025	62	33.03-B	62	73	57	200	45,75	0,02	0,025	1390	1410	2837	37320	123000	85680
10 h 15	2	714	311	1025	0	208.275-B	0	0	0	50	39,4	0,02	0,025	1380	1400	0	37320	123000	85680
10 h 45	2	753	322	1075	50	16.74-B	50	50	57	100	25,23	0,02	0,025	1380	1400	1262	38581	129000	90419
10 h 45	2	753	322	1075	0	16.64-B	0	50	50	50	54,88	0,02	0,025	1370	1390	0	38581	129000	90419
10 h 45	2	753	322	1075	0	14.241-B	0	50	0	60	42,9	0,02	0,025	1360	1380	0	38581	129000	90419
11 h 5	2	748	361	1109	34	27.09-B	34	34	34	34	140,1	0,025	0,03	1360	1380	4762	43343	133080	89737
11 h 5	2	748	361	1109	0	208.38-B	0	50	0	74	28,78	0,03	0,035	1380	1400	0	43343	133080	89737

Comparações das programações

▶ Antes do Solver;

- Sequenciamento manual e lento;
- Características dos itens ocultas;
- Falta de balanceamento das ligas e temperaturas;
- Não aproveitamento total dos fornos.

▶ Depois do Solver;

- Sequenciamento automático e ágil;
- Demonstração das características dos itens;
- Balanceamento das ligas e temperaturas;
- Máximo aproveitamento dos fornos.

Conclusão

- ▶ Criação do modelo matemático utilizando o Solver;
- ▶ Forneceu um sequenciamento coerente com as necessidades da empresa;
- ▶ Customização devido ao número de restrições;
- ▶ Se limita à empresa em estudo ou à empresas com processos similares;

Conclusão

- ▶ Permite se caso aplicado:
- ▶ Melhor planejamento e aproveitamento dos recursos empresariais;
- ▶ Uma antecipação das áreas, quantos aos materiais necessários, evitando gargalos;
- ▶ Redução do número de horas extras;
- ▶ Diminuição de perdas de produção e desperdícios;
- ▶ Diminuição de defeitos por falta de qualidade como rechupe e solda fria.

Conclusão

- ▶ Ferramenta de análise de processo;
- ▶ Sugestões para próximos trabalhos:
 - Testar o modelo matemático na ferramenta Maple;
 - Testar o modelo matemático na ferramenta Arena.

Referências

BOUZADA, Marco Aurélio Carino; JUNIOR, Eugênio Correa de Souza; SANTOS, Ricardo França. A aplicação da programação inteira na solução logística do transporte de carga: o solver e suas limitações na busca pela solução ótima. **Revista Produção On-line**, v. 12, n. 1, p. 185-204, jan/mar. 2012.

GRAZIANI, Álvaro Paz. Planejamento, **Programação e Controle da Produção**. Palhoça: UnisulVirtual, 2012.

Referências

LANDMANN, Raul. **Um modelo heurístico para a programação da produção em fundições com utilização da lógica Fuzzy**. Florianópolis: UFSC, 2005. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em engenharia de produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert; HARLAND, Christine; HARRISON, Alan. **Administração da Produção**. 1.ed. São Paulo: Atlas, 1997.

VOLLMANN, Thomas E.; BERRY, William; WHYBARCK, Clay; JACOBS, Robert. **Sistemas de planejamento e controle da produção para o gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 1. ed. São Paulo: Bookman, 2005.