

Index Ambiental

Estudo Hidrogeológico

Relatório Final

Setembro

2014

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. ÁREA DE ESTUDO.....	5
3.1. LOCALIZAÇÃO	5
3.2. GEOLOGIA LOCAL	5
3.3. GEOLOGIA LOCAL	7
3.4. HIDROGEOLOGIA REGIONAL	7
3.5. HIDROGEOLOGIA LOCAL.....	9
4. ATIVIDADES EXECUTADAS.....	10
4.1. SONDAgens DE RECONHECIMENTO.....	10
4.2. COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO.....	13
4.3. MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA	14
4.4. ENSAIO DE INFILTRAÇÃO	14
4.5. NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	17
5.1. RESULTADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO	17
5.2. POTENCIOMETRIA DA ÁREA.....	18
5.3. RESULTADO DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	18
6. CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Empreendimento.....	6
Figura 2 – Localização das sondagens de reconhecimento	11
Figura 3 – Perfis pedológicos das sondagens de reconhecimento.....	12
Figura 4 – Modelo do ensaio de permeabilidade pelo método de rebaixamento (Boletim Nº 4 ABGE 1996).....	15
Figura 5 – Mapa Potenciométrico da Área.....	19

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Sondagens de Reconhecimento.....	13
Tabela 2 – Características das Amostras de Solo Coletadas.....	13
Tabela 3 – Resultados do Monitoramento do Nível d’água.....	14
Tabela 4 – Nivelamento topográfico das sondagens de reconhecimento	16
Tabela 5 - Resultados dos Parâmetros Físicos do Solo	17
Tabela 6 – Nível Potenciométrico.....	18
Tabela 7 – Resultados do ensaio de infiltração	20
Tabela 8 – Determinação da Condutividade Hidráulica.....	20

1. INTRODUÇÃO

Este relatório descreve o serviço de Estudo Hidrogeológico, realizado na área da Álcool Paraná Terminais Portuários S.A., situado no município de Paranaguá, Paraná, como subsídio ao Estudo de Impacto de Vizinhança - EIV. Para realização dos estudos, foram executadas as seguintes atividades:

- Caracterização Regional do Meio Físico da área em estudo;
- Execução de 06 (seis) sondagens de reconhecimento até a interceptação do lençol freático;
- Coleta de 02 (duas) amostras (deformada e indeformada) para determinação de parâmetros físico-químicos;
- Realização de 03 (três) ensaios para determinação da condutividade hidráulica para a área avaliada; e
- Nivelamento topográfico.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do presente estudo foi:

Realizar estudo hidrogeológico com intuito de caracterizar a geologia e a hidrogeologia local como subsídio ao EIV para o empreendimento.

Como objetivos específicos, são considerados:

- i. Apresentar caracterização geológica e hidrogeológica da região;
- ii. Caracterizar a geologia e hidrogeologia através de sondagens de reconhecimento;
- iii. Identificar a profundidade do lençol freático e o sentido do fluxo subterrâneo;
- iv. Determinar a condutividade hidráulica através de ensaios realizados *in situ*.

3.ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A presente área de estudo localiza-se no município de Paranaguá, Paraná. Os dados da área são:

- a) **Endereço:** Av. Bento Munhoz da Rocha
- b) **Bairro:** Vila Rute
- c) **Cidade/Estado:** Paranaguá/Paraná
- d) **Coordenadas Geográficas:** 747848.00 m E; 7176235.00 m S

Zona 22J – Datum SAD 69

A **Figura 1** apresenta a localização do empreendimento.

3.2. GEOLOGIA LOCAL

O município de Paranaguá está localizado, no ponto de vista geológico, no Domínio Paranaguá conforme Siga Jr. (1995). A geologia local pode ser dividida basicamente em outros dois domínios principais: rochas do embasamento cristalino, também denominado escudo, e a cobertura sedimentar cenozóica.

O embasamento cristalino é formado por um complexo ígneo o qual inclui uma grande variedade de rochas graníticas com idade variando do Arqueano ao Proterozóico. São localmente recobertos por sequências vulcano-sedimentares, sedimentares e sedimentos inconsolidados.

A cobertura sedimentar cenozóica é constituída por sedimentos de origem continental e costeira. Os sedimentos continentais incluem os pertencentes à Formação Alexandra, os leques e cones aluviais (com idades do Mioceno Inferior ao Holoceno), depósitos associados às vertentes como tálus ou colúvios e depósitos fluviais do quaternário.

Figura 1 – Localização do Empreendimento

Os sedimentos de origem costeira foram divididos por Angulo (2004) em: Planície Costeira com Cordões Litorâneos (Pleistoceno), Sedimentos Paleoestuarinos (Pleistoceno), Planícies de Marés Atuais, Fundos Rasos Atuais, Deltas de Marés Atuais, Dunas (Holoceno), Depressões Intercordões Atuais, e Praias Atuais.

3.3. GEOLOGIA LOCAL

O solo da região foi caracterizado, de acordo com a descrição dos perfis de sondagem como arenoso com coloração variando de marrom nos perfis superficiais à cinza nos perfis mais profundos.

3.4. HIDROGEOLOGIA REGIONAL

Na região de Paranaguá distinguem-se três unidades aquíferas associadas a três unidades estratigráficas: o aquífero fraturado constituído pelas rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, situado a profundidades próximas ou superiores a 100m (FUNPAR 1997).

O aquífero semiconfinado está constituído por sedimentos costeiros de origem continental e marinho, com profundidades superiores a 28m; e o aquífero livre, formado por sedimentos de origem marinha do Quaternário, que atingem em média 28m de profundidades. As águas desses aquíferos são captadas para abastecimento da população e para uso industrial.

O aquífero poroso é formado por sedimentos continentais e marinhos. Na fácies continental, os sedimentos são sub-angulares, de muito mal selecionados a mal selecionados, compostos principalmente por areia argilosa, argila siltosa, argila arenosa e areia silto-argilosa, com teores variáveis de grânulos e seixos, configurando-se um aquífero semiconfinado por aquicludes com permeabilidades de 10^{-4} e 10^{-6} cm/s (FUNPAR 1997).

Segundo Angulo (1992), baseado na classificação de Folk (1954), as principais classes texturais são, lama arenosa pouco cascalhenta (25%), areia lamosa pouco cascalhenta (22%), seguidas de areia lamosa cascalhenta (14%) e argila arenosa (14%). Na fácies costeiras, as análises granulométricas de sedimentos da

planície litorânea, feitas por Angulo (1992), evidenciaram um predomínio dos sedimentos arenosos finos e muito finos com uma média do diâmetro médio de todas as amostras de diâmetro medido de 2,65 mm.

Nas áreas ocupadas por sedimentos arenosos marinhos o aquífero apresenta-se raso com níveis potenciométricos variando de 0,3 m a 12,1 m, configurando aquífero livre com permeabilidade de 10^{-3} cm/s, permitindo que as chuvas diretas quecaem sobre a área se incorporem às águas do aquífero.

As unidades aquíferas, presentes na área de estudo, têm parâmetros de exploração diferentes. As vazões dos poços situados em rochas Pré-Cambrianas, na região litorânea paranaense, estão na faixa de 1,8 a 25,3 m³/h (Giusti 1996), dependendo das características estruturais das rochas. A zona caracterizada pelos sedimentos arenosos pleistocênicos e paleoestuarinos mostra vazões variando de 1,2 a 42,0 m³/h (FUNPAR, 1997).

Segundo FUNPAR (1997), os aquíferos que reúnem os melhores parâmetros para exploração de água subterrânea são aqueles situados em sedimentos costeiros do Quaternário. Envolvem menor metragem de perfuração o que é refletido em custo menor, mas são vulneráveis à contaminação, tanto proveniente de indústrias como por intrusões salina.

Segundo a descrição dos sedimentos recuperados durante a perfuração dos poços analisados em FUNPAR (1997), bem como da colocação dos filtros, existem dois horizontes produtores principais nestes sedimentos, na área de Paranaguá: O horizonte formado por areias médias a grosseiras, quartzosas, esbranquiçadas, mal selecionadas, com granulometria sub-angulosa. Eventualmente registram-se bolas de argila ou silte ou porções de frações mais finas em meio às areias. Nestes horizontes as vazões alcançam valores entre 6,0 a 20,0 m³/h. Este horizonte configura, provavelmente, um depósito continental, de leques aluviais.

O horizonte formado por areias finas a médias, esbranquiçadas, quartzosas, mal selecionadas, eventualmente com seixos centimétricos de quartzo leitoso. As vazões nestas porções alcançam valores entre 4,4 a 9,0 m³/h. Este horizonte representa, provavelmente, uma zona de transição entre sedimentos continentais e marinhos.

A recarga dos aquíferos fraturados ocorre pela drenagem das águas armazenadas nos sedimentos sobrepostos e, em menor quantidade, pela percolação de água através de

fraturas nas imediações da Serra do Mar. Os aquíferos sedimentares são alimentados pela precipitação das chuvas sobre a área de exposição. Os rios que drenam a planície costeira são rios efluentes e não contribuem para a recarga dos aquíferos (FUNPAR1997).

As profundidades do nível freático na região são pequenas, da ordem de 0,5 m a 5,0 m (FUNPAR 1997).

Através de sondagens elétricas verticais na área do Porto de Paranaguá, Ellert & Giusti (1984), identificaram uma camada de areia saturada de água doce com espessura de 18,0m com presença de água salgada a partir dos 20,0m de profundidade. Em uma região situada à SW do porto, Giusti (1989), delimitou a camada arenosa com uma espessura de 6,0m com presença de água salgada aos 11,0 m de profundidade. O contato água doce – água salgada varia conforme o distanciamento da linha de costa, se tornando mais profundo na medida que se avança para o interior do continente. Segundo José et al. (1980), a variação da maré parece indicar uma flutuação do contato água doce/salgada de aproximadamente 0,50 m.

3.5. HIDROGEOLOGIA LOCAL

O aquífero local é livre, apresentando direção de fluxo de sudeste para noroeste, com nível d'água variando de 2,50 a 3,70m, com média de 3,25m de profundidade.

4. ATIVIDADES EXECUTADAS

Os trabalhos de campo, realizados na área do empreendimento, foram executados no dia 12 de agosto de 2014. Durante os trabalhos de campo foram executadas as seguintes atividades:

- Caracterização Regional do Meio Físico da área em estudo;
- Execução de 06 (seis) sondagens de reconhecimento até a interceptação do lençol freático;
- Coleta de 02 (duas) amostras (deformada e indeformada) para determinação de parâmetros físico-químicos;
- Realização de 3 ensaios para determinação da condutividade hidráulica para a área avaliada; e
- Nivelamento topográfico.

4.1. SONDAgens DE RECONHECIMENTO

No dia 12 de agosto foram realizadas 6 sondagens de reconhecimento (ST-01 a ST-06), utilizando trado manual de 4" de diâmetro. Foram perfurados 20,80m. A localização em planta das sondagens executadas é apresentada na **Figura 2**.

Durante as sondagens, foram realizadas as descrições litológicas do perfil do solo local. Segundo descrições dos perfis de sondagens executadas na área do empreendimento, o solo foi caracterizado como arenoso, com coloração variando de marrom nos perfis superficiais à cinza nos perfis mais profundos. Os perfis pedológicos da sondagem são apresentados na **Figura 3**.

A **Tabela 1** apresenta a descrição das sondagens realizadas, com as respectivas profundidades.

Figura 2—Localização das sondagens de reconhecimento

Figura 3 – Perfis pedológicos das sondagens de reconhecimento

Tabela 1 – Sondagens de Reconhecimento

Sondagem	Diâmetro (Pol.)	Profundidade (m)	Entrada d'água (m)	Nível d'água Estabilizado (m)
ST-01	4	3,9	3,8	3,7
ST-02	4	3,5	3,2	3,2
ST-03	4	3,5	3,3	3,3
ST-04	4	2,8	2,5	2,5
ST-05	4	3,2	3,0	3,1
ST-06	4	3,9	3,5	3,7

ST-XX: Sondagem realizada. Pol.:Polegadas; m:metro; (-): NA não interceptado;

4.2. COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO

Para avaliação dos parâmetros físico-químicos do solo, foram coletadas duas amostras de solo uma deformada e outra indeformada. A amostra deformada foi coletada junto ao trado e armazenada em pacotes tipo “zip lock”.A amostra indeformada é coletada através de um dispositivo apropriado (*liner*). Desta forma a porção de solo permanece inalterada, permitindo as resultado confiável para análises.

As amostras supracitadas foram encaminhadas para laboratório, devidamente acreditadas pelo Inmetro, para realização de análises físico-químicas. Os parâmetros analisados na amostra indeformada são densidade real e aparente, porosidade total e efetiva e umidade. Na amostra deformada são analisados a granulometria, pH e carbono orgânico total (COT). A Tabela 2 apresenta as informações das amostras de solo coletadas.

Tabela 2 – Características das Amostras de Solo Coletadas

Sondagem	Prof.de coleta (m)	Tipo da Amostra	Data da coleta
ST-01	0,50	Deformada	12/08/2014
ST-01	1,50	Indeformada	12/08/2014

ST-XX: Sondagem realizada; m: metro.

4.3. MONITORAMENTO DO NÍVEL D'ÁGUA

Após a conclusão das sondagens, no dia 04 de Junho foi realizado o monitoramento do nível d'água em todas as sondagens realizadas. Este monitoramento foi realizado utilizando medidor de nível d'água eletrônico com precisão centimétrica. A Tabela 3 apresenta os resultados do monitoramento.

Tabela 3 – Resultados do Monitoramento do Nível d'água

Sondagem	NA (m)
ST-01	3,7
ST-02	3,2
ST-03	3,3
ST-04	2,5
ST-05	3,1
ST-06	3,7

ST-XX: Sondagem realizada; NA: nível d'água; m: metros; Nível d'água não interceptado.

4.4. ENSAIO DE INFILTRAÇÃO

Os Ensaio de Infiltração executados seguirão as diretrizes da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE em seu Boletim Nº 4: 1996 – “Ensaio de Permeabilidade em Solos”. A metodologia aplicada é apresentada a seguir:

- a) Inicialmente o furo de sondagem é preenchido com água até a superfície, mantendo o furo preenchido por 10 minutos para saturação do solo no entorno da sondagem;
- b) Após atingir a saturação do solo, a entrada de água é fechada;
- c) Registra-se a variação o nível d'água em intervalos pré-definidos

Os dados foram anotados em planilhas. Com os dados da variação do nível d'água ao longo do tempo, é utilizada a seguinte equação:

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta t} \left(\frac{r}{R} \right)^2$$

Onde:

R = Raio de Influência, (determinado pela equação $R^2 + R - h = 0$);

r = Raio do furo de sondagem;

Δh = Variação da coluna d'água;

h = Altura da coluna d'água;

Δt = Variação do tempo;

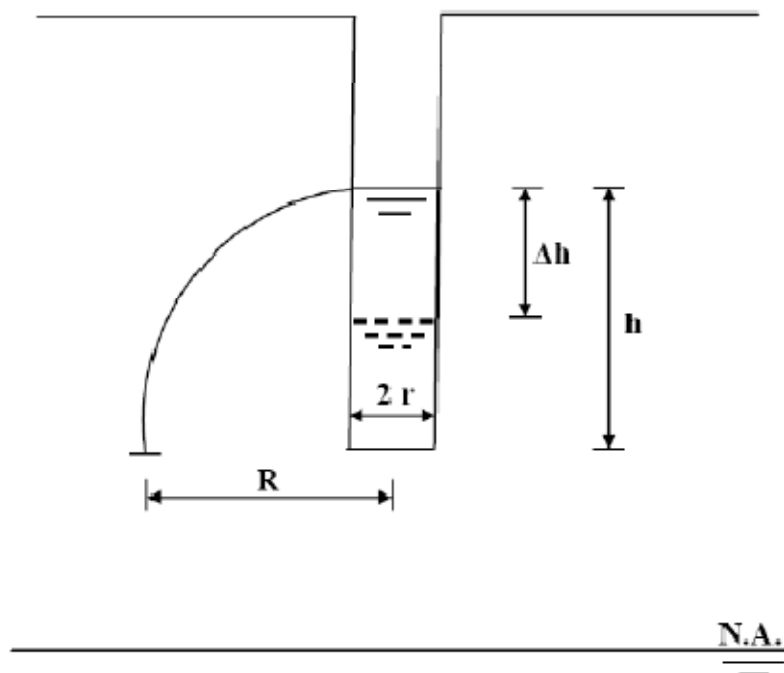


Figura 4 – Modelo do ensaio de permeabilidade pelo método de rebaixamento (Boletim Nº 4 ABGE 1996)

Foram realizados 3 ensaios de infiltração nas sondagens ST-01, ST-02 e ST-03.

4.5. NIVELAMENTO TOPOGRÁFICO

Todas as sondagens foram niveladas para subsidiar o cálculo da potenciometria. O nivelamento topográfico foi realizado através de nível ótico com precisão milimétrica. Para isso, o nível é estacionado em um ponto conveniente, sobre a linha a nivelar ou fora dela. Desta única posição do instrumento são determinadas as leituras na mira colocada, primeiramente num ponto de cota conhecida e, depois, sucessivamente, nos demais pontos.

A visada na primeira estaca, geralmente de cota conhecida, é por convenção chamada de “visada de ré”. Todas as visadas a partir da visada de ré são chamadas “visadas de vante”. A Tabela 4 apresenta os resultados do nivelamento topográfico.

Tabela 4 – Nivelamento topográfico das sondagens de reconhecimento

Sondagem	Nível Altimétrico (m) (Referência 10,000m)
ST-01	10,175
ST-02	10,000
ST-03	11,172
ST-04	11,955
ST-05	11,478
ST-06	11,587

ST-XX: Sondagem de reconhecimento; m: metros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. RESULTADOS DAS AMOSTRAS DE SOLO

Os resultados das amostras de solo coletadas são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados dos Parâmetros Físicos do Solo

	Parâmetros	Resultados dos Parâmetros Físicos do Solo ST-01
DEFORMADA	Areia Muito Grossa ($\geq 2,0\text{mm}$) %	5,3
	Areia Grossa (de 2 a $1,0\text{mm}$) %	7,1
	Areia Média Grossa (de $1,0$ à $0,5\text{mm}$) %	8,7
	Areia Média (de $0,5$ à $0,25\text{mm}$) %	15,4
	Areia Fina (de $0,25$ à $0,125\text{mm}$) %	28,1
	Areia Muito Fina (de $0,125$ à $0,0625\text{mm}$) %	20,5
	Silte (de $0,0625$ à $0,0039\text{mm}$) %	11,2
	Argila (de $0,0039$ à $0,00195\text{mm}$) %	3,7
	pH	6,10
	Carbono Orgânico Total (mg/kg)	450,00
INDEFORMADA	Densidade Aparente do solo (g/cm^3)	2,55
	Densidade de Partículas (g/cm^3)	2,24
	Porosidade Efetiva %	11,93
	Porosidade Total %	28,80
	Umidade %	15,55

mm: milímetro; mg: miligrama; kg: quilograma; cm^3 : centímetro cúbico; pH: potencial hidrogeniônico.

Conforme a distribuição granulométrica apresentada na tabela acima, a amostra de solo pode ser descrita como arenosa. Este resultado está de acordo com o observado em campo, ao longo do decorrer das sondagens de reconhecimento realizadas.

5.2. POTENCIOMETRIA DA ÁREA

A partir dos monitoramentos do nível d'água e também das cotas altimétricas obtidas no nivelamento foi determinado o nível potenciométrico em cada uma das sondagens realizadas. Com estes níveis, foi determinado os níveis e o mapapotenciométrico apresentado na Tabela 6 e na Figura 5, respectivamente. O sentido do fluxo subterrâneo foi definido como sendo de sudeste para noroeste.

Tabela 6 – Nível Potenciométrico

Sondagem	NA (m)	Cota (m)	NP (m)
ST-01	3,7	10,175	6,48
ST-02	3,2	10,000	6,80
ST-03	3,3	11,172	7,87
ST-04	2,5	11,955	9,46
ST-05	3,1	11,478	8,38
ST-06	3,7	11,587	7,89

ST-XX: Sondagem de reconhecimento; NA: Nível d'água; m: metros; NP: Nível Potenciométrico; (-): Não Interceptado.

5.3. RESULTADO DOS ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Os resultados dos ensaios de infiltração são apresentados na Tabela 7 a seguir.

Figura 5 – Mapa Potenciométrico da Área

Tabela 7 – Resultados do ensaio de infiltração

Tempo (s)	Δh (m)		
	ST-01	ST-02	ST-03
0	0,00	0,00	0,00
30	0,02	0,04	0,02
60	0,06	0,05	0,06
90	0,11	0,14	0,14
120	0,18	0,21	0,22
300	0,25	0,31	0,31
600	0,32	0,38	0,41
1200	0,43	0,49	0,49
1800	0,69	0,64	0,67
2400	0,99	0,97	0,99
3600	1,22	1,18	1,23

m: metro; s: segundos; ST-XX: Sondagem de reconhecimento; k: condutividade hidráulica.

A partir destes valores e das equações apresentadas no capítulo 4.4, foi possível determinar o raio de influência de cada sondagem e também a condutividade hidráulica. Estes valores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Determinação da Condutividade Hidráulica

Raio das Sondagens (m)	Raio de Influência (m)			Condutividade Hidráulica (m/dia)		
	ST-01	ST-06	ST-07	ST-01	ST-06	ST-07
0,0508	0,61	0,60	0,62	0,383	0,395	0,392

M: metro; ST-XX: Sondagem de reconhecimento; k: condutividade hidráulica

Os resultados dos ensaios de infiltração apresentaram uma condutividade hidráulica média de 0,390 m/dia. Segundo Fetter, este resultado está associado a solos arenosos. Isso comprova o perfil pedológico das sondagens e também a análise granulométrica do solo.

6. CONCLUSÕES

As conclusões deste estudo hidrogeológico são as seguintes:

- O município de Paranaguá está localizado, no ponto de vista geológico, no Domínio Paranaguá. A geologia local pode ser dividida basicamente em outros dois domínios principais: rochas do embasamento cristalino, também denominado escudo, e a cobertura sedimentar cenozóica.
- Na região de Paranaguá distinguem-se três unidades aquíferas associadas a três unidades estratigráficas: o aquífero fraturado constituído pelas rochas ígneas emetamórficas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, situado a profundidades próximas ou superiores a 100m;
- Foram realizadas 6 sondagens de reconhecimento (ST-01 a ST-06), utilizando trado manual de 4" de diâmetro, totalizando 20,80m perfurados;
- O solo da região foi caracterizado, de acordo com a descrição dos perfis de sondagem como arenoso com coloração variando de marrom nos perfis superficiais à cinza nos perfis mais profundos.
- Para avaliação dos parâmetros físico-químicos do solo, foram coletadas duas amostras de solo uma deformada e outra indeformada;
- O sentido do fluxo subterrâneo foi definido como sendo de sudeste para noroeste.
- Os resultados dos ensaios de infiltração apresentaram uma condutividade hidráulica média de 0,390 m/dia. Segundo Fetter, este resultado está associado

a solos arenosos. Isso comprova o perfil pedológico das sondagens e também a análise granulométrica do solo;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO, R. J. 1992. Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 334p.

ELLERT, N. ; GIUSTI, D. A.. 1984. Locação de um poço tubular profundo para COCAP - Método de eletroresistividade. Curitiba. Relatório Técnico. 12p.

FETTER, C. W. 1994. Applied Hydrogeology. New Jersey: Prentice Hall, 450 p.

FUNPAR, Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura. Estudo de impacto ambiental (EIA) de uma usina termelétrica na Baía de Paranaguá e do porto de desembarque, subestação e linha de transmissão associados. Curitiba. v.2. 1997

GIUSTI, D. A. 1989. Estudo de Impacto Ambiental da Implantação do Terminal Marítimo da Catalline - Porto de Paranaguá. Curitiba. Relatório Técnico. v.1. 50 p.

JOSÉ, C.; GIUSTI, D. A.; CAMARGO, E. C. 1994. Levantamentos geofísicos para dimensionar profundidade e fluxo das águas subterrâneas em Paranaguá - PR. In: Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas 8, Recife, PE. Anais. ABAS, Recife, 1: 336–342.